

## ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДИФФУЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.А. Кошелева, С.Г. Иванов, Е.А. Нестеренко, М.А. Гурьев,  
С.А. Земляков, О.А. Власова, А.Г. Иванов

*Проводимые исследования воздействия насыщающих сред в виде обмазок при химико-термической обработке показали, что соединения бора с титаном, бора с хромом в качестве добавки к карбиду бора, значительно увеличивает срок службы инструмента, а также более экономично в сравнении с другими способами ХТО при получении покрытий с заданными свойствами. Проведены экспериментальные исследования по боротитанированию и борохромированию при циклически изменяющихся температурах. Исследования показали, что применение термоциклирования в процессе насыщения позволило в 2 раза сократить время процесса насыщения. При термоциклировании с многократными фазовыми превращениями происходит образование избыточных дефектов кристаллического строения – повышается плотность дислокаций и концентрация вакансий. Образование при ТЦО дополнительных границ раздела (увеличение величины межфазных и межзеренных поверхностей) и повышение плотности дефектов кристаллического строения способствуют интенсификации процесса диффузионного насыщения стали – увеличению толщины диффузионного слоя.*

*Ключевые слова: химико-термическая обработка, химико-термоциклическая обработка, борирование, борохромирование, боротитанирование, износостойкость, упрочнение, эксплуатационная стойкость инструмента.*

В процессе эксплуатации стальных деталей и инструмента наиболее интенсивным внешним воздействиям подвергаются их поверхностные слои, поэтому нередко структура и свойства именно поверхностных слоев оказывают определяющее влияние на работоспособность изделий в целом. Одним из перспективных способов упрочнения поверхности стальных изделий является химико-термическая обработка (ХТО).

Диффузионное упрочнение стали экономически более выгодно, чем получение легированной стали с аналогичными свойствами и, как правило, может производиться на любом предприятии, имеющем термическое оборудование. Также возможно совмещение термической и химико-термической обработки в единый процесс. В отдельных случаях, когда требуется упрочнение не всей поверхности, а только отдельных участков деталей, химико-термическая обработка из обмазок является практически единственно возможной в сравнении с другими способами.

Исследования воздействия насыщающих сред в виде обмазок при ХТО показали, что использование соединений бора с хромом в качестве добавки к карбиду бора, значительно увеличивает срок службы инструмента. Борирование, хромирование, титани-

рование и совмещенные процессы: борохромирование и боротитанирование эффективнее, чем традиционно используемые цементация, азотирование и др. практически по всем параметрам свойств поверхностных слоев материала. Так, например, боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью, хромирование придает жаростойкость, а комбинированные покрытия совмещают в себе исходные свойства однокомпонентных. Работоспособность борохромированных слоев в 1,50–1,75 раза выше, чем борированных. Однако, известные методы получения таких покрытий несовершенны и достаточно трудоемки.

Диффузионное борирование является одним из распространенных методов ХТО железа и сплавов на его основе. Получающиеся при этом покрытия имеют характерное игольчатое строение. Микроструктура боридного слоя представляет собой совокупность тонких игл, плотно прижатых друг к другу. Благодаря развитой поверхности раздела между слоем боридов и переходной зоной, диффузионный слой хорошо удерживается на металле и, при соблюдении рекомендуемых параметров процесса насыщения и режимов работы, разрушения и скалывания слоя не происходит. Однако у боридных сло-

ев есть недостаток – высокая хрупкость, ограничивающая их широкое распространение.

Исследования показывают, что проблема хрупкости боридного слоя может быть решена путем создания многокомпонентных покрытий на основе бора: борохромированием, боротитанированием и т. д. Введение второго компонента в покрытие позволяет не только в 1,5–2 раза снизить хрупкость боридного слоя, но и ускорить процесс насыщения, а также повысить его служебные свойства.

Традиционно многокомпонентное насыщение на основе бора проводят в несколько стадий и процесс насыщения, таким образом, требует много времени. В данной работе были разработаны насыщающие среды, позволяющие произвести процессы борохромирования и боротитанирования в одну стадию.

Дальнейшее развитие технологии и расширение фронта внедрения разработанных методов упрочняющих технологий требуют систематизации, унификации различных методов и выработки практических рекомендаций по эффективному применению их в конкретных эксплуатационных условиях.

Повышение работоспособности деталей машин и механизмов, инструмента и технической оснастки, их надежности и долговечности обеспечивается в определенной мере оптимизацией технологии нанесения борсодержащих покрытий, а также собственно химического состава насыщающей смеси.

Проведена экспериментальная работа по выяснению эффективности различных компонентов насыщающей среды при комплексном борохромировании. Как поставщик бора применялся карбид бора –  $B_4C$ . В качестве поставщиков хрома изучались хлорид хрома, феррохром ФХ850, диборид хрома, оксид хрома. В качестве активаторов смеси исследованы хлорид хрома, фторид аммония, фторид натрия.

При использовании хлорида хрома, хлор, находящийся в этом соединении может выступать в качестве, как поставщика хрома, так и активатора процесса. Тем не менее, при экспериментах обнаружилось, что из-за низкой температуры плавления хлорида хрома процесс борирования не идет, так как расплавленная соль препятствует доступу кислорода, который участвует в обменных реакциях. Дополнительно, после охлаждения образцов возникли сложности с отделением обмазки от образца. К тому же соединения хрома токсичны.

Эксперименты показали, что использование оксида хрома приводит преимущест-

венно к процессу борирования. Причем вид активатора существенных отличий не выявил. Это объясняется тем, что химическая связь хрома и кислорода очень сильна, и активатор не может ослабить ее настолько, чтобы она распалась. С карбидом бора и другими компонентами насыщающей смеси оксид хрома также, вплоть до температур около  $1200^\circ C$ , не реагирует.

Наиболее экономичным и безопасным поставщиком атомов хрома следует признать диборид хрома. Самый удачный активатор в данном случае – фторид натрия. При взаимодействии фторида натрия и диборида хрома преимущественно образуются фториды хрома, а бор и натрий, взаимодействуя с кислородом воздуха, диффундирующим через обмазку, превращаются в тетраборат натрия (буру) и, продиффундировав к поверхности обмазки, испаряются во внешнюю среду. Частично тетрафторборат натрия реагирует с карбидом бора, в ходе таких реакций получают углекислый натрий, борный ангидрид и свободный атомарный бор, который, диффундируя к поверхности упрочняемой детали и вступая с ней в реакцию, образует упрочненный диффузионный слой. Использование в качестве активатора фторида аммония в сочетании с диборидом хрома снижает эффективность насыщающей среды примерно на 7–10 %, а угар элементов вследствие образования неразрушимых при температуре насыщения соединений хрома и бора и испарения бора с поверхности обмазки возрастает в среднем на 3–8 %. Это связано с тем, что при нагреве свыше  $140^\circ C$  фторид аммония распадается на аммиак и фтористый водород, который, в последствии, частично реагирует с феррохромом и карбидом бора с образованием полезных реагентов – фторидов хрома и бора, и частично уходит в окружающую среду, так как практически все полезные реакции начинаются только при нагреве свыше  $700^\circ C$ . Аммиак, образующийся при распаде фторида аммония, практически весь уходит в атмосферу, разрыхляя при этом обмазку. Поры, образованные выходящим аммиаком в обмазке в дальнейшем служат каналами доступа кислорода воздуха к упрочняемой детали, также с их помощью повышается угар бора и хрома.

При использовании в качестве поставщика атомов хрома феррохрома марки ФХ850 наилучшим активатором оказался фторид аммония. При использовании в качестве активатора фторида натрия наблюдалось незначительное (на 3–5 мкм или 10–12 %) снижение толщины слоя. Тем не менее, микротвердость его при

## ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

этом возросла на 2–5 %. Но также следует учесть тот факт, что применение феррохрома в качестве поставщика атомов хрома в насыщающей среде дает возможное накопление чрезмерно большого количества железа и углерода, что ведет к отравлению насыщающей среды и снижает кратность ее использования до 5–12 раз. При использовании даже части насыщающей среды свыше 10 раз возможны «прикипания» обмазки к упрочняющим деталям, что нарушает их геометрическую точность и может привести к браку. В толще насыщающей среды вероятно образование включений боридов железа и хрома, что отрицательно сказывается на насыщающей способности обмазки, которую в таком случае приходится полностью заменять. Такая смесь пригодна только для однократного применения.

Для обеспечения достаточной толщины диффузионных слоев и легкого отделения обмазки после процесса насыщения в состав насыщающей смеси был введен мелкодисперсный графит. Бентонит был предложен как компонент насыщающей смеси для обеспечения необходимой жесткости обмазке в процессе насыщения и предотвращения осыпания обмазки в процессе сушки.

Перспективным методом ХТО является химико-термоциклическая обработка (ХТЦО), которая является наиболее эффективным способом ускорения процесса насыщения и улучшения качества покрытия. Следует отметить, что насыщение методом ХТЦО возможно только в случае применения в качестве насыщающей среды обмазок, так как в данном случае обеспечивается очень низкая тепловая инерционность системы «упрочняемое изделие-насыщающая среда» по сравнению с методом насыщения из порошков.

Зависимость толщины и микроструктуры слоя от режима насыщения показаны на рисунке 1. Температура при обоих процессах насыщения составила 950 °С. Время насыщения при ХТО составило 6 часов, при ХТЦО – 3 ч. Для термоциклического насыщения дополнительно вводились следующие параметры: минимальная температура и время цикла. В качестве минимальной температуры цикла была принята температура 550 °С, время цикла было выбрано в районе 1 часа. Выбор минимальной температуры в цикле осуществлялся для возможности охлаждения всего образца в насыщающей обмазке ниже температур фазовых превращений. Выдержки при минимальной температуре цикла не осуществляли.

Как видно из рисунка 1, при замене изотермического процесса насыщения на цикли-

ческий, толщина диффузионного слоя несколько уменьшилась, на 10–15 %. Однако плотность и компактность диффузионного слоя, полученного по методу ХТЦО значительно возросли, на 40–50 %. Строение боридных игл также усложнилось, что должно сказаться на повышении адгезии диффузионного слоя. Несмотря на то, что средняя микротвердость обработанного по технологии ХТЦО диффузионного слоя оказывается на 1–3% ниже чем у изотермического слоя, это компенсируется возросшей на 15–20% пластичностью и более устойчивой микроструктурой диффузионного слоя, имеющего ступенчатое строение (рисунок 3).

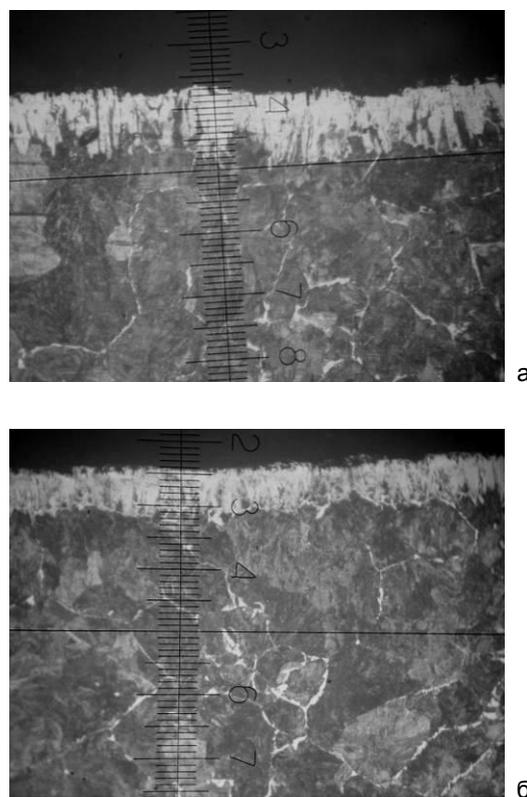


Рисунок 1 – Микроструктура диффузионных слоев после борохромирования стали 30Х, в зависимости от условий процесса насыщения:  
а – изотермическое насыщение,  
б – термоциклическое насыщение  
(цена малого деления шкалы 10 мкм)

Необходимо также отметить тот факт, что, при замене изотермической ХТО на химико-термоциклическую обработку со временем цикла, равным 1 часу при том же общем времени насыщения, действительный размер зерна уменьшился в 2,5–3,0 раза.

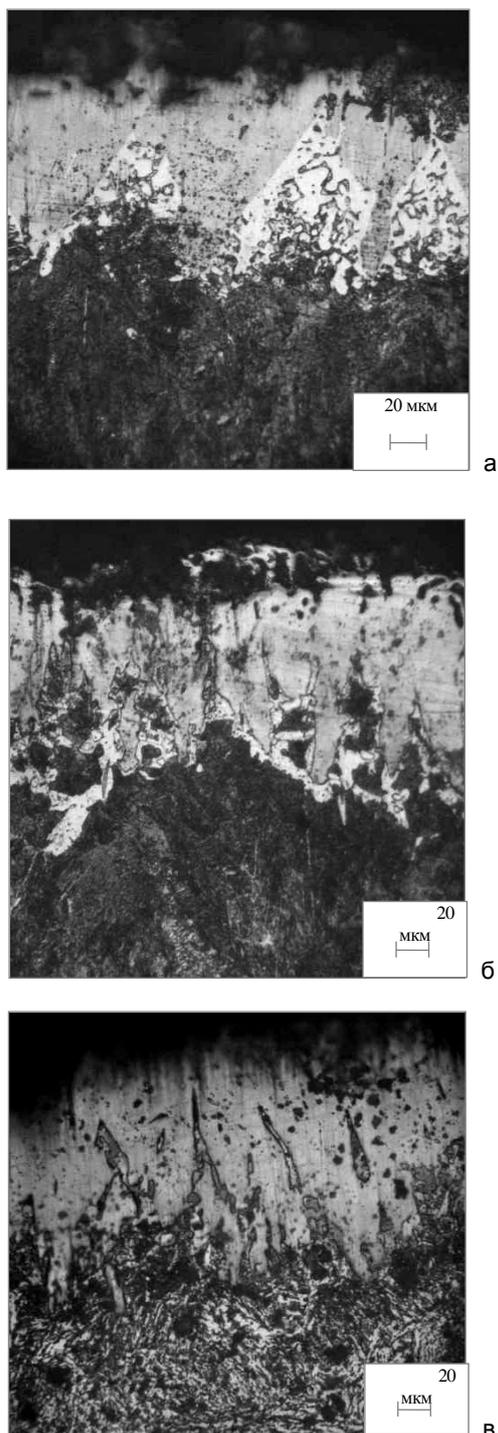


Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного слоя после борохромирования в термоциклических условиях:  
а – сталь У8, б – сталь 30Х, в – сталь 30ХМ

При химико-термоциклическом насыщении получают более дисперсные структуры, имеющие перистое строение (рисунок 2). При «цветном» травлении четко определяет-

ся, что между боридными иглами находятся значительные выделения механической смеси боридов, карбидов и карбоборидов, легированных хромом. Фаза FeV отсутствует полностью. Боридные иглы представляют собой  $Fe_2B$ , фазу более благоприятную для служебных характеристик.

Переходная зона диффузионных слоев на всех представленных сталях полностью состоит из перлита. Отчетливо выделяется конгломерат перлитных зерен, выросших из большого аустенитного зерна при его превращении.

Различные расстояния между цементитными прослойками указывают на то, что прослойки цементита расположены под разными углами к плоскости рисунка. Темные точки представляют собой включения карбоборидов  $Fe_3(C,B)$ , как правило, глобулярной формы. Рост карбоборидов происходит на цементитных пластинах. Серые участки – карбобориды, обогащенные хромом. Их микротвердость на 10–15 % выше микротвердости окружающих участков. Местами наблюдается нарушение типичного строения микроструктуры, которое, по-видимому, представляет собой следы выхода дислокаций, в результате чего нарушается периодичность решетки и сетка цементитных пластин. После проведения процесса ХТЦО получается больше зернистых (глобулярных) включений на единицу площади, поэтому уровень пластичности растет. ХТЦО приводит к изотропности свойств за счет диспергирования фаз.

Исходя из полученных результатов были сделаны выводы, что разработанный состав насыщающей смеси для комплексного диффузионного борохромирования возможно использовать как в изотермических, так и термоциклических условиях. Метод ХТЦО, в сравнении с ХТО, позволяет добиться нужных и даже лучших результатов за менее продолжительный период времени.

По результатам исследований и оптимизации химического состава насыщающих смесей разработаны новые насыщающие среды и технология для комплексного поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента из штамповых, конструкционных и инструментальных сталей, на которые были получены соответствующие патенты на изобретения.

Испытания упрочненных по разработанной технологии штамповых вставок из стали 5ХНМ показали, что использование разработанной технологии диффузионного упрочнения позволяет улучшить эксплуатационные свойства от 2,5 до 4,35 раз в сравнении с ранее используемой технологией упрочнения, а

## ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

также уменьшить трудоемкость процесса упрочнения в 3,0 раза без применения специального сложного оборудования. Сравнение результатов экспериментов, проведенных для получения аналитических зависимостей, подтверждает высокую вероятность замены в большинстве случаев стали 5ХНМ на сталь 30ХМ, упрочненную разработанным способом борихромирования.

Данное предположение обосновывается тем, что сталь 5ХНМ является штамповой сталью и чаще всего применяется для горячей штамповки. Поэтому преобладающим видом износа для данной стали является образование так называемых разгарных трещин на поверхности штампа. Боридные слои на поверхности штамповых сталей кроме высокой изно-

состойкости обладают также свойством «залечивать» зарождающиеся разгарные трещины и таким образом значительно продлевать ресурс работы всего изделия в целом. При борировании стали 5ХНМ возможно получение диффузионного слоя толщиной до 70 мкм так как слои большей толщины обладают высокой хрупкостью и поэтому неработоспособны, тогда как при борировании 30ХМ толщина слоя может быть увеличена до 120–150 мкм и такой слой все еще будет рабочим. В итоге, износостойкость борированной стали 30ХМ относится соответственно к износостойкости борированной и неборированной стали 5ХНМ как (0,95-1,3):1:(0,37-0,54) – в качестве эталона здесь принята сталь 5ХНМ, подвергнутая закалке и отпуску (рисунок 3).

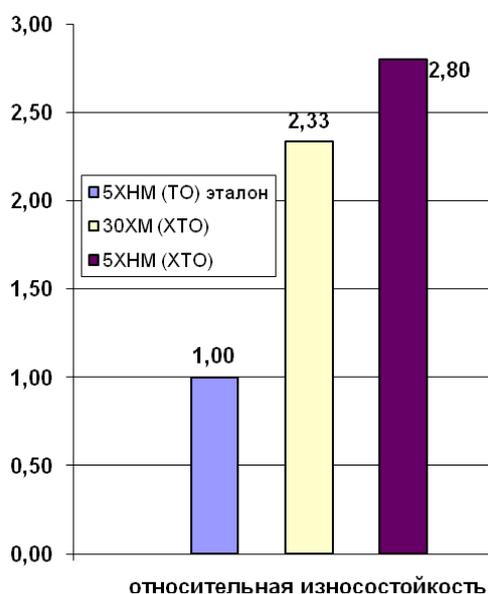


Рисунок 3 – Износостойкость борихромированных сталей 5ХНМ и 30ХМ относительно стали 5ХНМ, подвергнутой закалке и низкому отпуску (5ХНМ (ТО) эталон)

Себестоимость изготовления изделия из стали 30ХМ, подвергнутого борированию равноценно себестоимости изготовления неборированного изделия из стали 5ХНМ. Борирование удорожает стоимость изделия еще на 30%. Таким образом в некоторых случаях возможна замена стали 5ХНМ на более дешевую сталь 30ХМ, упрочненную борированием. При этом износостойкость может быть повышена в 1,15–2,34 раза при уменьшении затрат на изготовление на 12–25%.

На рисунке 4 приведены результаты испытаний на износостойкость образцов из ста-

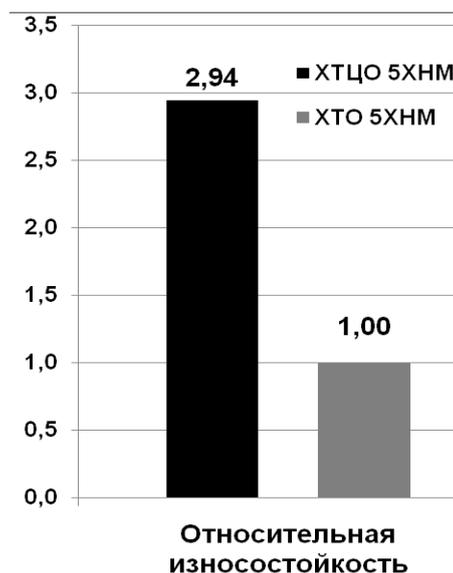


Рисунок 4 - Относительная износостойкость стали 5ХНМ, подвергнутой химико-термической обработке в различных режимах: изотермической ХТО (эталон) и термоциклической ХТО (ХТЦО)

ли 5ХНМ, упрочненной ХТО и ХТЦО способами. Режимы насыщения были выбраны следующим образом: ХТО заключалась в 6 часовой выдержке при температуре насыщения, затем охлаждение в масле с последующим низким отпуском при температуре; ХТЦО заключалось в нагреве до температуры насыщения с выдержкой при этой температуре в течение 30-40 минут, затем образец охлаждался ниже температуры фазовых превращений без выдержки при этой температуре, после чего цикл повторялся. Число циклов нагрева-охлаждения было выбрано в количестве 4,

при этом продолжительность цикла была подобрана таким образом, что общее время процесса составило 3 часа. С последнего цикла нагрева осуществлялась закалка в масло, после чего осуществляли низкий отпуск. Распределение микротвердости полученных диффузионных слоев представлено на рисунке 5.

Износостойкость измерялась на машине Амслера при нагрузке на образцы 420Н в течение времени 60 минут, пройденный при этом путь составил 3000м. В качестве контртела использовали закрепленные абразивные частицы размером 100–120 мкм. Износ измеряли по потере массы, замеренной с помощью лабораторных весов типа ВЛР–200 с точностью до  $10^{-6}$  кг. В качестве эталона в данном случае был выбран образец с меньшей износостойкостью. Наименьшей износостойкостью в данном случае обладал образец, подвергнутый изотермическому насыщению в течение 6 часов.

Данный факт объясняется распределением микротвердости, показанной на рисунке 5 и возросшими свойствами диффузионного слоя в результате термоциклической обработки. Диффузионный слой состоит из 2 частей: самого диффузионного слоя, представляющего твердый раствор или химическое соединение, причем концентрация насыщающего элемента в данном случае – преимущественная либо близка к предельной; и второй зоны – переходной, которая является буферной между диффузионным слоем и основным металлом. В случае химико-термоциклической об-

работки верхние слои переходной зоны, прилегающие к боридному, оказываются значительно больше обогащенными насыщающими элементами, чем при изотермическом насыщении, однако недостаточно для того, чтобы изменилась микроструктура.

В результате многократных фазовых превращений, температурного и концентрационного градиентов, диффузия при циклически изменяющихся температурах протекает значительно интенсивнее. В результате этого кроме непосредственно диффузионного слоя, значительную роль начинают играть и верхние слои переходной зоны, более обогащенные насыщающими элементами по сравнению с изотермическим насыщением.

Немаловажную роль в процессе диффузии играют границы зерна, так как именно они имеют наибольшее количество дефектов кристаллического строения, облегчающих диффузию и способствующих ей. Так как при термоциклической обработке рост зерна происходит значительно медленнее, а иногда даже наблюдается дробление зерна, то суммарная площадь межзеренных границ будет больше, соответственно диффузия вглубь материала будет происходить более интенсивно и на большую глубину. Кроме того, циклическая обработка значительно повышает пластичность как сердцевины изделия так и непосредственно диффузионного боридного слоя. При режиме ХТЦО пластичность непосредственно диффузионного слоя возрастает на 15–20%, а пластичность сердцевинки возрастает на 50–70%.

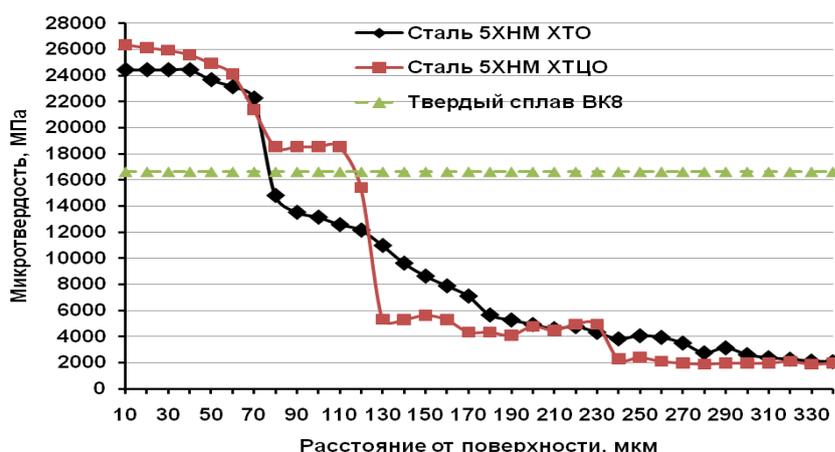


Рисунок 5 -  
Микротвердость стали  
5 ХНМ относительно  
твердого сплава ВК8

## ВЫВОДЫ

Повышение износостойкости упрочненных деталей обеспечивается снижением хрупкости диффузионных слоев. Это достигается комплексным насыщением поверхностно-

стей стальных деталей одновременно бором и хромом, либо бором и титаном и увеличением толщины получаемых диффузионных слоев до 75–95 мкм (в зависимости от химического состава сталей), образованных при

## ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

насыщении из обмазки. Повышение ресурса упрочненных деталей достигается повышением пластичности и коррозионной стойкости диффузионных слоев за счет введения феррохрома или диборида титана, мелкодисперсного графита и бентонита.

Повышение экономичности процесса упрочнения при диффузионном борохромировании и боротитанировании обусловлено:

- во-первых, тем, что процесс упрочнения осуществляется с использованием термических печей любого принципа действия, имеющихся на каждом металлообрабатывающем предприятии;

- во-вторых, отсутствием необходимости применения дорогостоящего муфеля, изготавливаемого из высоколегированных сталей;

- в-третьих, многократным использованием насыщающей обмазки – до 10–15 раз.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. М.: Металлургия, 1978. – 239 с.
2. Ворошнин Л.Г. Многокомпонентные диффузионные покрытия. – Минск: Наука и техника, 1981. – 296с.
3. Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. М.: Металлургия, 1981. 424с., ил.
4. Бельский Е.И., Ситкевич М.В., Понкратин Е.И., Стефанович В.А. Химико-термическая обработка инструментальных материалов. Мн.: Наука и техника, 1986. – 247с.
5. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. - 216с.
6. Гурьев А.М. Новые материалы и технологии для литых штампов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. -216с., ил.
7. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние. 1989. – 255 с.
8. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 156с.: ил.
9. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей: пат. 2345175 Рос. Федерация: / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев – № 2007112368/02: заявл. 03.04.2007: опубл. 27.01.2009. Бюл. № 3.
- 10.Способ упрочнения деталей из штамповых сталей: пат. 2360031 Рос. Федерация: / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, С. А. Земляков, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев – №

2007127587/02: заявл. 18.07.2007: опубл. 27.06.2009. Бюл. № 18.

11.Гурьев, А. М. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя/ А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев, И. А. Гармаева // Ползуновский вестник. - 2007.- № 3. - С. 28-34.

12.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. - № 1.- Т.4. - С. 26-32.

13.Гурьев, А. М. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов/ А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев, С. А. Земляков // Ползуновский альманах. - 2008. - № 3. - С. 10-16.

14.Кошелева, Е. А. Разработка методов химико-термоциклической обработки деталей машин и инструмента / Е. А. Кошелева, О. А. Власова, Е. А. Нестеренко, А. М. Гурьев // XIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т.2.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - С. 92-93.

15.Иванов, С. Г. Комплексное насыщение сталей бором и хромом - борохромирование/ С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, Е. А. Кошелева, О. А. Власова, М. А. Гурьев // Ползуновский альманах. - 2008. - № 3. - С. 53-54.

16.Гурьев, А. М. Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом/ А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, О. А. Власова, И. А. Гармаева, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев // Успехи современного естествознания. - 2007. -№ 10. - С. 89-91.

17.Guriev, A. M. Complex saturation of steels by boron and chrome / A. M. Guriev, S. G. Ivanov, O. A. Vlasova, E. A. Kosheleva, M. A. Guriev // International scientific conference "Nowadays, future and faced problems of metallurgy and machinery field". Ulaanbaatar, 19-21 September, 2008. – P. 179-183.

18.Кошелева, Е. А. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном упрочнении инструментальных сталей [Текст] / Е. А. Кошелева, Е. А. Нестеренко, А. Г. Иванов, А. М. Гурьев // Труды VI Международной научной школы-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение» / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – С. 179-183.

19.Кошелева, Е. А. Разработка технологии диффузионного упрочнения поверхности сталей бором и хромом / автореф. дис... канд. техн. наук / Е. А. Кошелева – Барнаул: АлтГТУ, 2009. – 18 с.

20.Guriev, A.M. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of fer-

rite-pearlite steels Under the thermocyclic conditions / A. M. Guriev, E. V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernykh // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2004. № 2.- С.54.

21.Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В. Физические основы химикотермоциклической обработки сталей. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008.-250с.

22.Гурьев, А.М. Влияние циклического теплового воздействия на формирование структуры и фазового состава диффузионных боридных слоев инструментальных сталей / А. М. Гурьев, А. Д. Грешилов // *Фундаментальные проблемы совре-*

*менного материаловедения*. 2009. Т. 6. № 3. С. 70-84.

23.Гурьев, А.М. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, О.А. Власова // *Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты*. 2009. № 1. С. 14-15.

**Кошелева Е.А.,**  
*Бурятский научный центр СО РАН, Улан-Удэ,*  
**Иванов С.Г., Нестеренко Е.А.,**  
**Гурьев М.А., Земляков С.А.,**  
**Власова О.А., Иванов А.Г.,**  
*АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул*