

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

Е. А. Кошелева

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

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, титанирование 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.

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.

В работе были решены следующие задачи:

1. Исследованы структуры стали и фазовый состав полученных диффузионных слоев и их физико-механических свойств после проведенного комплексного насыщения бором и хромом.

2. Изучен характер износа упрочненных слоев для выяснения особенностей разрушения диффузионных покрытий в процессе эксплуатации в различных условиях.

3. Изучено влияние параметров режима насыщения при диффузионном борохромировании (состав стали, состав смеси, температура процесса, длительность насыщения) на структуру и физико-механические свойства поверхностных слоев стали.

4. Определено оптимальное сочетание компонентов насыщающей смеси для проведения процесса упрочнения, а также определены предварительные ограничения для содержания каждого компонента в обмазке в процентах от общей массы.

5. Установлены аналитические зависимости (математические модели), связывающие компоненты насыщающей смеси с механическими свойствами сталей после диффузионного борохромирования.

6. На основе изученных представлений о поведении сталей с диффузным покрытием, и, исходя из полученных математических моделей, разработан новый состав обмазки для диффузионного борохромирования сталей в изотермических и термоциклических условиях насыщения.

Изучено влияние температуры насыщения на толщину и микроструктуру диффузионных слоев после борохромирования. Экс-

перименты показывают, что изменения температуры насыщения в интервале от 950 °С до 1150 °С на вид микроструктуры диффузионных слоев сказываются довольно слабо, изменяется только их толщина. Исключение составляет температура 1150 °С, при которой образовался пористый, очень хрупкий слой. Высокая температура насыщения приводит к росту зерна сердцевинны детали, что отрицательно сказывается на комплексе физико-механических свойств, уменьшается ударная вязкость, пластичность стали.

Немаловажное влияние на физико-механические свойства получающихся диффузионных слоев оказывает химический состав насыщаемого материала – стали. В зависимости от марки стали при прочих равных условиях, микроструктура диффузионных слоев, их толщина и фазовый состав изменяются в довольно значительных пределах.

Диффузионный слой, полученный на стали У8, имеет толщину от 200–250 мкм. Верхняя часть слоя состоит преимущественно из карбидов хрома $Cr_{23}C_6$ и Cr_7C_3 и боридов железа (преимущественно Fe_2B). Темные включения в диффузионном слое являются боридами хрома и имеют высокую микротвердость – до 37000 МПа. Наряду с высокой твердостью данные включения имеют и высокую пластичность – сколов и трещин не обнаружено при нагрузке на индентор вплоть до 1,92 Н и расстоянии между отпечатками вплоть до 0,7 диагонали отпечатка. На границе раздела хорошо видны перистые выделения, представляющие собой бористый цементит состава типа $Fe_3(C,B)$, по литературным данным – $Fe_3C_{0,8}B_{0,2}$ и борид железа Fe_2B . Несколько меньшая толщина диффузионного слоя, примыкающего к темным включениям, вызвана, по всей вероятности тем, что весь бор уходил на образование боридов хрома.

При борохромировании стали Ст3, на ее поверхности происходит преимущественно процесс насыщения хромом. Толщина диффузионного слоя достигает 250 мкм, микротвердость его незначительна (3000–4000 МПа) в сравнении со слоем после борирования (до 22500 МПа). Химический состав слоя от поверхности к сердцевине следующий: 1) твердый раствор железа в хrome с массовым содержанием хрома до 60–70 %; 2) твердый раствор хрома в железе с массовой долей хрома 35–40 % и включения карбидов хрома состава $Cr_{23}C_6$; 3) внутренний слой, прилегающий к границе раздела, представляет собой механическую смесь твердого раствора хрома в железе с содержанием хрома около 20 % и кар-

бидов хрома состава $Cr_{23}C_6$ или Cr_7C_3 . По всей толщине диффузионного слоя заметны следы бора в виде твердого раствора, также бор легирует карбиды хрома.

Диффузионный слой, образующийся на стали 30Х, более сложный по строению, чем слой на стали Ст3. Верхняя часть слоя состоит из смеси твердого раствора железа в хrome (белые иглы) и боридов хрома и железа (темные иглы) с преобладанием диборида хрома CrB_2 . Под игольчатой частью слоя находится рабочий подслой, представляющий собой механическую смесь, состоящую из твердого раствора железа в хrome, карбидов, боридов и карбоборидов хрома и железа. Микротвердость данного подслоя достигает 650–700 МПа при микротвердости сердцевинны, не превышающей 280 МПа. Граница раздела также претерпевает изменения – появляются боридные иглы размером 15–25 мкм. Общая толщина диффузионного слоя достигает 300 мкм, а толщина рабочего слоя 70–90 мкм, что достаточно для работы большинства инструмента и деталей машин.

Диффузионный слой, образующийся при борохромировании стали 30ХМ, изменяется еще значительнее. Его можно разделить на три зоны: 1) верхний слой – механическая смесь твердого раствора железа в хrome и боридов хрома; 2) средний подслой – преимущественно диборид хрома, легированный боридами железа и карбидами хрома, а также карбоборидами железа и хрома; 3) нижний (рабочий слой) состоит из боридов железа, в значительной степени легированных хромом. В данном слое можно наблюдать текстурованность структуры, характерную для боридных слоев. Граница раздела между диффузионным слоем и основным металлом представлена в виде игл, характерных для боридных слоев, длиной 20–40 мкм.

Можно сделать вывод о том, что по мере увеличения степени легированности насыщаемой стали, диффузионный слой претерпевает изменения, как в химическом, так и в морфологическом составе. По мере увеличения степени легированности упрочняемого материала преимущество в адсорбции находится у бора, так как размер атомов бора намного меньше размера атомов хрома. Кроме того, значительную роль играет и тот факт, что бор является неметаллом и может образовывать химические соединения, как с хромом, так и с железом, в результате чего скорость отвода захваченных атомов бора с поверхности упрочняемого материала значительно ускоряется.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

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 преимущественно 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 тетраборат 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 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, а 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 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.

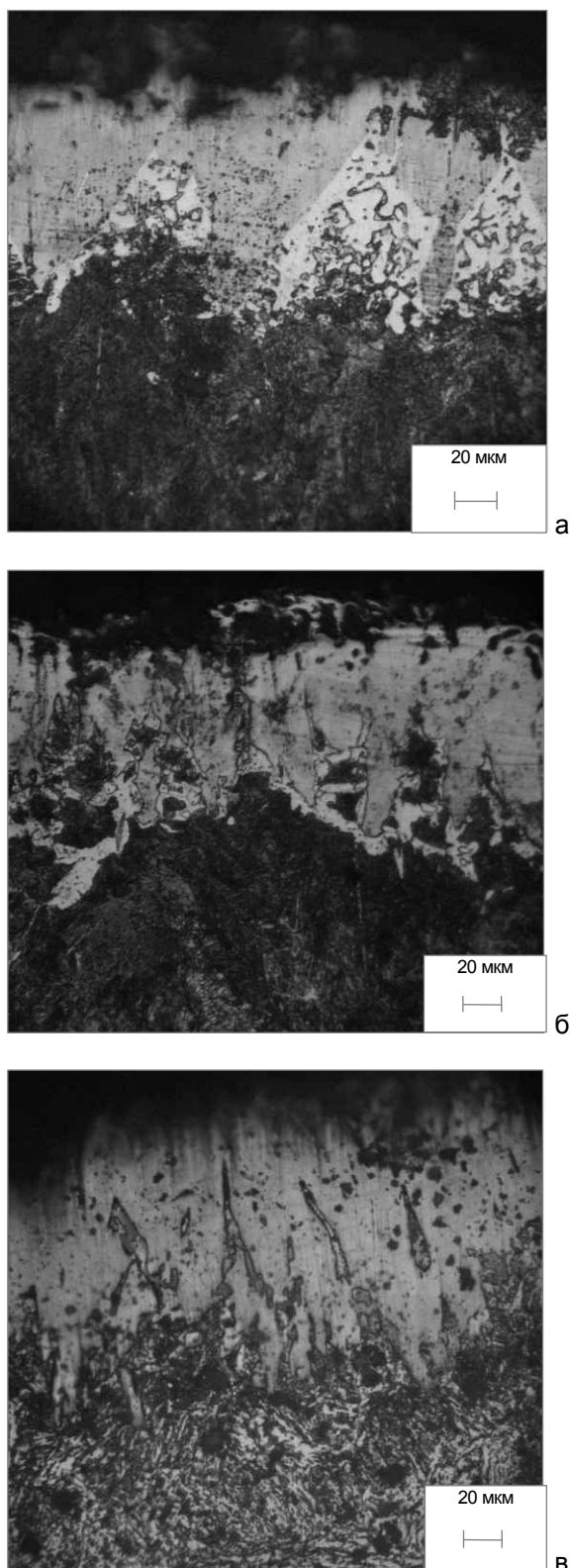


Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного слоя после борохромирования в термоциклических условиях: а – сталь У8, б – сталь 30Х, в – сталь 30ХМ

Температура при обоих процессах насыщения не изменялись (950°C). Для термоциклического насыщения дополнительно вводились следующие параметры: минимальная температура и время цикла. В качестве минимальной температуры цикла была принята температура 550°C , время цикла было выбрано в районе 1 часа. Выбор минимальной температуры в цикле осуществлялся для возможности охлаждения всего образца в насыщающей обматке ниже температур фазовых превращений. Выдержки при минимальной температуре цикла не осуществляли.

При замене изотермического процесса насыщения на циклический, 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. Микротвердость ХТЦО слоя несколько ниже, чем у изотермически обработанного, однако ее распределение более благоприятно в связи с возросшей компактностью. Наряду с незначительно снизившейся микротвердостью самого диффузионного слоя, микротвердость переходной зоны возросла в гораздо большей степени. 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.

При химико-термоциклическом насыщении получают более дисперсные структуры, имеющие перистое строение (рисунок 1). При «цветном» травлении четко определяется, 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 аустенитными прослойками указывают на то, что прослойки цементита расположены под разными углами к плоскости рисунка. Темные точки представляют собой включения карбоборидов $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$, как правило, глобулярной

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

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.

Для создания насыщающей смеси были выбраны следующие вещества: карбид бора (B_4C), феррохром ($FeCr$), мелкодисперсный графит, фторид аммония (NH_4F) и бентонит; наложены следующие ограничения на содержание каждого вещества в смеси: B_4C – 40–80 %, $FeCr$ – 10–30 %, мелкодисперсный графит – 10–20 %, бентонит – 5–10 %, NH_4F – 2–5 %.

Для аналитического описания зависимости состав-свойство в многокомпонентных системах более удобен метод симплексных решеток, позволяющий получать математическую модель исследуемой зависимости и не требующий большого объема экспериментов. Данный метод был применен при изучении влияния химического состава пятикомпонентной насыщающей среды на толщину и износостойкость борохромированных покрытий сталей.

В качестве упрочняемых деталей способом диффузионного борохромирования при изотермических условиях были использованы штамповые вставки для горячего деформирования из стали 5ХНМ. Предварительно насыщающая смесь разводилась в воде до пастообразного состояния. Приготовленная таким образом обмазка наносилась на упрочняемую поверхность детали слоем 4–6 мм, после чего была произведена сушка деталей на воздухе до получения твердой корки. Далее производилось насыщение поверхности детали из обмазки в термической печи при нагреве до температуры 1050 °С. Время процесса насыщения – 6 ч. Затем было проведено охлаждение непосредственно с температуры насыщения в масле с температурой 40 °С и последующий отпуск при 480 °С в течение 1 ч. Обмазка была отделена от поверхности детали. На деталях было получено равномерное покрытие. Износостойкость определялась ресурсом упрочненной штамповой вставки по количеству выштампованных деталей. Режим работы штамповой вставки:

горизонтально-ковочная машина с рабочим усилием 30 т, скорость движения ползуна порядка 30 мм/с, температура штампуемого изделия «серьга» 450–500 °С.

Поскольку задача создания насыщающих смесей подобного рода является многофакторной, в ее основу должна быть положена определенная система. Так как в данном случае на содержание каждого компонента в смеси были наложены ограничения, то зависимость свойств борохромированных слоев от состава насыщающей обмазки необходимо изучать не во всей области изменения концентрации компонентов, а только на ее локальном участке. Изучаемая локальная область представляет собой неправильный симплекс, поэтому для получения уравнения регрессии были составлены симплекс-решетчатые планы {5, 2} относительно псевдокомпонентов, представляющих собой полный план, и, соответственно, исходных компонентов насыщающей смеси. Были получены коэффициенты уравнения регрессии в координатах псевдокомпонентов, проверена адекватность реализованного плана. Произведен перевод координат из одной системы в другую и получены уравнения регрессии в исходных координатах.

После анализа полученных уравнений регрессии были установлены оптимальные пределы содержания каждого вещества в обмазке для диффузионного борохромирования в изотермических условиях, которые составили следующие величины:

- 1) 15–25 масс. % феррохрома, так как при данном содержании образуются упрочненные слои с наиболее высоким ресурсом;
- 2) 50–60 масс. % карбида бора, при этом содержании образуются диффузионные слои с наибольшей пластичностью и износостойкостью;
- 3) 10–15 масс. % мелкодисперсного графита, что обеспечивает легкое отделение обмазки и достаточную толщину диффузионных слоев;
- 4) 5–7 масс. % бентонита обеспечивает необходимую жесткость обмазке в процессе насыщения и предотвращает осыпание обмазки в процессе сушки;
- 5) 2–3 масс. % фторида аммония обеспечивает необходимую активность насыщающей смеси, что приводит к формированию диффузионных слоев с оптимальными пластичностью и износостойкостью.

Для решения задачи по определению оптимального состава насыщающей смеси использовалась программа Microsoft Excel,

входящая в состав Microsoft Office, в частности надстройка Excel «Поиск решения».

В качестве функции оптимизации было принято полученное уравнение регрессии для износостойкости упрочненной штамповой вставки. Значение этой функции должно стремиться к максимуму. Уравнение регрессии для толщины диффузионного слоя на стали, полученного борохромированием, было принято за ограничение. Толщина диффузионного слоя на стали после борохромирования должна принимать значение в интервале 70–120 мкм. На содержание компонентов в насыщающей обмазке были наложены ограничения, равные найденным оптимальным пределам концентрации каждого вещества.

В результате поиска решений было получено следующее оптимальное соотношение компонентов в насыщающей смеси, которое можно взять за рецептурную формулу насыщающей смеси (обмазки) для комплексного диффузионного борохромирования при изотермических условиях:
52 % V_4C +25 % $FeCr$ +3 % NH_4F +15 % графита+5 % бентонита.

Для подтверждения возможности использования разрабатываемой насыщающей смеси для диффузионного упрочнения стали бором и хромом и в условиях циклического изменения температуры были построены уравнения, описывающие зависимость свойств получаемых слоев от состава смеси.

В качестве упрочняемых деталей способом диффузионного борохромирования были использованы стандартные образцы из стали 30ХМ, упрочнение которых проводилось по указанной выше методике ХТЦО. За параметры оптимизации были выбраны толщина получаемого при упрочнении диффузионного слоя и его микротвердость.

Построение уравнений регрессии производилось по указанной выше методике. Уравнения регрессии второго порядка, описывающие зависимость физико-механических свойств (микротвердости и толщины диффузионного слоя) от химического состава насыщающей смеси, имеют следующий вид:

После анализа полученных уравнений регрессии были установлены оптимальные пределы содержания каждого вещества в обмазке для диффузионного борохромирования в термоциклических условиях, которые совпадают с представленными выше для диффузионного борохромирования в изотермических условиях.

Исходя из полученных результатов можно сделать выводы, что разработанный со-

став 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.

Испытания упрочненных по разработанной технологии штамповых вставок из стали 5ХНМ показали, что использование разработанной технологии диффузионного упрочнения позволяет улучшить эксплуатационные свойства данной детали в 2,5 раза в сравнении с ранее используемой, а также уменьшить трудоемкость процесса упрочнения в 3,0 раза без применения специального сложного оборудования. Сравнение результатов экспериментов, проведенных для получения аналитических зависимостей, подтверждает вероятность замены стали 5ХНМ на сталь 30ХМ, упрочненную разработанным способом борохромирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев А. М., Козлов Э. В., Игнатенко Л. Н., Попова Н. А. Физические основы термоциклического бороирования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.-216 с.
2. Федюкин В. К., Смагоринский М. Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние. 1989. – 255 с.
3. Ситкевич М. В., Бельский Е. И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 156с.: ил.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Гурьев, А. М. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железуглеродистых 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.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

8. Кошелева, Е. А. Разработка методов микро-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.

9. 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.

10. 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.

11. 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 // Inter-

national scientific conference "Nowadays, future and faced problems of metallurgy and machinery field". Ulaanbaatar, 19-21 September, 2008. – P. 179-183.

12. 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.

13. 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.

14. Кошелева, Е. А. Технология многокомпонентного диффузионного упрочнения поверхности деталей машин и инструмента для энергетического машиностроения из смесей на основе карбида бора / Е. А. Кошелева, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, Е. А. Нестеренко, М. А. Гурьев, С. А. Земляков, О. А. Власова, А. Г. Иванов // Ползуновский вестник, № 1, 2010. - С. 76-84.