УДК 621.791

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ПАСТ ПРИ ГАЗОПЛАМЕННОМ НАГРЕВЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.М. Гурьев, А.Г. Иванов, Г.А.Околович, В.А Марков

Описаны свойства и структура упрочненных одновременным насыщением бором совместно с хромом и бором совместно с титаном покрытий, полученных при газопламенном нагреве углеродистой стали.

Ключевые слова: упрочняющее покрытие, бор, хром, структура, сталь.

Для работы в сложных условиях эксплуатации применяются специальные стали, их производство и номенклатура постоянно увеличиваются. Методы улучшения эксплуатационных свойств сталей за счет объемного легирования дает возможность получать стали с заданными свойствами [1]. Однако данный способ повышения свойств является неэкономичным, а в ряде случаев и неосуществимым из-за почти полной потери сталями таких важных свойств как пластичность и вязкость. Поэтому в последнее время все большее внимание уделяется методам поверхностной обработки сталей [2, 3].

К методам поверхностного упрочнения сталей относятся: упрочнение поверхности посредством механической обработки, различные способы нанесения покрытий.

Одним из основных, наиболее перспективных и практически повсеместно осуществимым способом нанесения покрытий является химико-термическая обработка (ХТО) [2]. Ее применение особенно эффективно, когда необходимо получить детали с заранее заданными свойствами. Это экономически более выгодно, чем получение объемнолегированной стали с аналогичными свойствами и, как правило, может производиться на любом предприятии, имеющем стандартное термическое оборудование.

К перспективным методам упрочнения поверхности относятся борирование, хромирование, силицирование, титанирование и совмещенные процессы: борохромирование, хромосилицирование, боротитанирование [3, 4]. Эти способы ХТО более эффективны, чем традиционно используемые цементация, азотирование и цианирование практически по всем параметрам свойств поверхностных слоев материала. Так, например, боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью [3, 4], силицидные – кислотостойкостью [3], хромирование придает жаростойкость [5], соответственно комбинированные покрытия совмещают в себе в некоторой степени исходные свойства однокомпонентных покрытий.

Известно, что борохромированные слои позволяют снизить хрупкость поверхностных слоев, повысить их жаростойкость по сравнению с борированными при практически одинаковой их твердости. Износостойкость покрытий из борида титана несколько выше, чем боридных, а коррозионная стойкость в бескислородных кислотах выше, чем у слоев из борида хрома [6].

В настоящее время в народном хозяйстве страны сформировался новый сегмент – предприятия малого бизнеса, численность рабочих в которых колеблется от 1–2 до 15 человек. Таким предприятиям достаточно сложно организовать термический участок для упрочнения используемых изделий в соответствии со своими потребностями. Большим же предприятиям, работающим в режиме серийного производства, как правило, тяжело подстраиваться под запросы малых предприятий ввиду незначительного объема заказа, что влечет удорожание конечной продукции. Однако, в общей доле рынка доля мелких предприятий довольно высока (в среднем около 20%) и в некоторых регионах достигает 40-60%.

Для мелких предприятий особый интерес представляет способ нанесения упрочняющего покрытия, который бы позволил с одной стороны, получать готовое изделие, обладающее высокими эксплуатационными свойствами с минимальными затратами и позволяющий производить это упрочнение низкоквалифицированным или неквалифицированным персоналом по возможности в «полевых условиях» с другой стороны.

Наиболее полно перечисленным условиям отвечает способ нанесения покрытий с использованием газового пламени (оборудование для газопламенной обработки мобильно, достаточно дешево и для его эксплуатации не требуется высокой квалификации персонала). Газопламенная обработка сталей широко применялась в 40–60 г. г. прошлого века в советской промышленности, особенно большое применение она получила при проведении ремонтно-восстановительных работ в полевых условиях. Однако в начале 70-х годов она была вытеснена более высокопроизводительными и эффективными процессами нагрева в заводских условиях. Тем не менее, возможности газопламенной обработки далеко не исчерпаны – довольно широкое распространение в настоящее время получили способы газопламенной наплавки и напыления различных покрытий, как на металлические, так и на неметаллические материалы в силу высокой мобильности оборудования и довольно низкой себестоимости процесса нанесения покрытий. В то же время применяемые сегодня способы газопламенного нанесения покрытий включают только напыление либо наплавку порошковых композиций, содержащих в своем составе такие дефицитные и дорогостоящие компоненты как никель и карбиды хрома, ванадия, вольфрама. Стоимость порошков для нанесения покрытий газопламенным способом составляет от 15 до 190 долларов США в зависимости от состава в случае импортных материалов и от 150 до 6000 рублей – для отечественных наплавочных материалов.

Указанных недостатков лишен способ газопламенной химико-термической обработки. Основная цель настоящей работы – разработка высокоэффективного состава насыщающей смеси и технологии нанесения упрочняющего покрытия на сталь при газопламенном нагреве.

Для этого необходимо решить следующие задачи: – исследовать возможность получения многокомпонентных упрочняющих покрытий на основе бора из насыщающих обмазок на сталях в условиях нагрева газовым пламенем; – изучить влияние основных параметров процесса насыщения на состав и свойства получающихся покрытий.

Для упрочнения поверхности методом ХТО в условиях газопламенного нагрева использовали пропан-кислородную горелку. Обработку производили путем нагрева образцов в насыщающей обмазке до температуры начала процесса насыщения (температуру контролировали пирометром, а также визуально – по цветам свечения образцов) и выдержки в течение времени, необходимого для получения диффузионного слоя требуемой толщины. По истечении времени выдержки образцы охлаждали на воздухе, или осуществляли закалку непосредственно с температуры насыщения в масло. После закалки детали подвергали низкому отпуску также с помощью газопламенного нагрева. Ранее [7, 8, 9] исследования на предмет возможности получения боридных покрытий в процессе кратковременного газопламенного нагрева. В качестве объекта исследований была выбрана сталь Ст3 как наиболее простая и часто применяемая марка конструкционной стали. Насыщение производили из обмазки на основе карбида бора. Температуру образцов контролировали с помощью инфракрасного измерителя температуры АКИП 9306, позволяющего бесконтактно измерять температуру различных объектов в пределах от –50 до +1500ºС с разрешением в 0,1ºС и погрешностью 2%. Температура нагрева была выбрана в пределах от 980 до 1070ºС. Время выдержки составляло 1, 3, 5, 10 и 15 минут.

Предварительные эксперименты показали принципиальную возможность получения упрочняющего покрытия достаточной толщины на поверхности стальных изделий в условиях нагрева газовым пламенем [9].

Отдельно стоит обратить внимание на сердцевину образца. При времени выдержки, превышающем 8 минут в результате циклических колебаний температуры образца происходит измельчение зерна, что выгодно отличает газопламенное насыщение от печного изотермического. Борированные газопламенным способом изделия имеют в 1,2–1,7 раз большую ударную вязкость, чем борированные в изотермических условиях, и это позволяет им работать в более экстремальных условиях. Тем не менее, наряду с положительным эффектом увеличения ударной вязкости, газопламенное насыщение имеет и отрицательную сторону – нестабильную толщину слоя, а при несоблюдении рекомендуемых режимов даже так называемый «пятнистый» слой.

Изучение влияния состава пламени показало, что в случае окислительного пламени (когда отношение пропан/кислород находится в пределах 1:5,2–1:6) процессы насыщения значительно ускоряются, чем в случае нейтрального (объемное отношение пропана к кислороду 1:5), и уж тем более восстанови-

тельного (объемное отношение пропана к кислороду 1:3,5–1,48).

Ускорение процесса борирования при нагреве окислительным пламенем можно объяснить смещением равновесия в протекании химических реакций в сторону распада компонентов смеси с образованием большего количества диффузионно-активных атомов вследствие повышения парциального давления кислорода:

$$B_4C+3O_2 \leftrightarrow 2B_2O_3+CO_2$$

$$3B_4C+B_2O_3+6NaF \leftrightarrow 3Na_2B_4O_7+3CO+2BF_3$$

$$7B_2O_3+6NaF \leftrightarrow 3Na_2B_4O_7+2BF_3.$$

Таким образом, кислород играет исключительно важную роль в инициации реакций распада компонентов насыщающих смесей на основе карбида бора, и следовательно, в сильной степени влияет на скорость образования диффузионно-активных фторидов бора, которые по реакциям диспропорционирования и обмена поставляют атомы диффузионно-активного бора на поверхность стали.

Уже незначительное отклонение соотношения кислорода в сторону окислительного пламени, может ускорять протекание целевых реакций в более сильной степени, нежели изменение фактора (рисунок 1, условия эксперимента – время насыщения 900 секунд, температура на поверхности образца 920°С; на каждую точку кривой приходилось не менее 5 измерений).

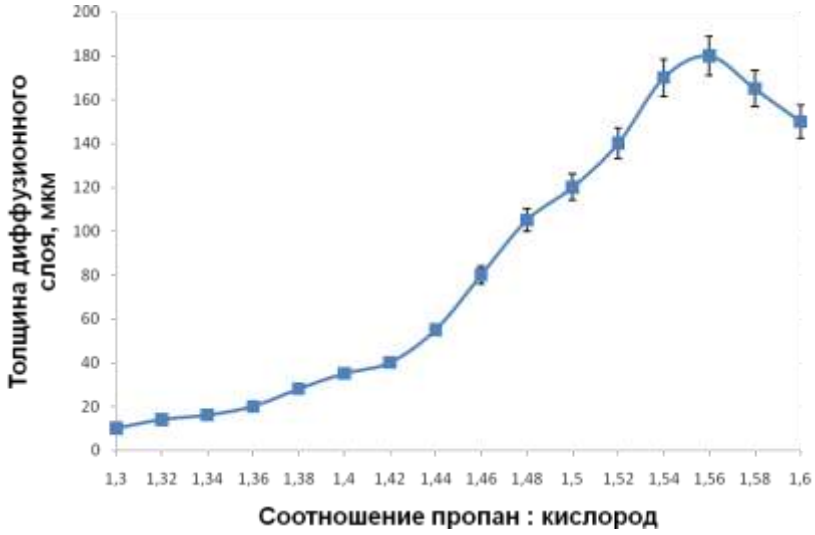
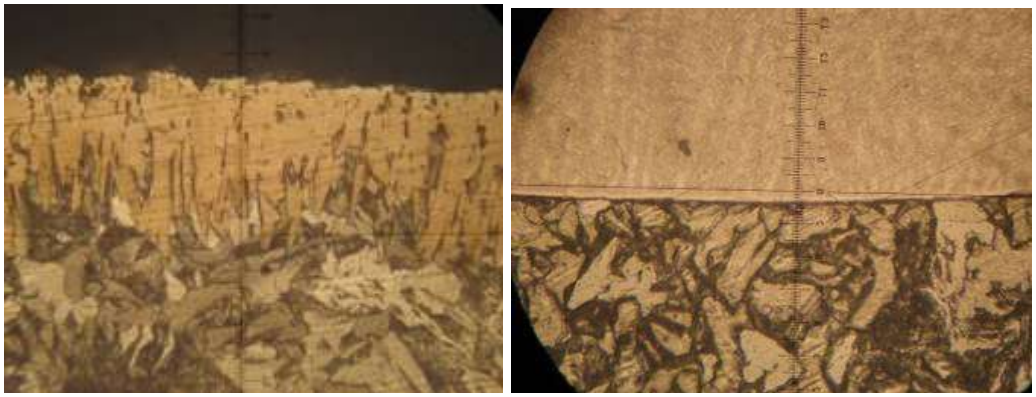


Рисунок 1 – Зависимость толщины покрытия от соотношения пропана и кислорода в пламени

Из представленного рисунка видно, что наиболее интенсивное образование диффузионноактивных атомов бора приходится на случай, когда пламя имеет незначительный окислительный характер. В случае более высокого содержания кислорода вследствие его диффузии в насыщающую обмазку, происходит ее окисление с образованием более толстой пленки стеклообразных оксидов бора и других соединений, что приводит к выводу активных атомов из целевых реакций и выгоранию обмазки.

На рисунке 2 представлены микроструктуры покрытий, получаемых ХТО и наплавкой соответственно. Хорошо видны принципиальные отличия диффузионных и наплавленных слоев: диффузионный слой обладает ярко выраженной игольчатостью по сравнению с гладким наплавленным слоем. Такая особенность позволяет диффузионным боридным слоям хорошо противостоять воздействию касательных напряжений, при которых слои, имеющие гладкую границу контакта с основным материалом начинают разрушаться.



а б

Рисунок 2 – Микроструктура боридного покрытия, полученное: ХТО (а) и наплавленное (б)

Для ООО «ИВКОМ» была изготовлена опытная партия ножей из стали У10 для измельчения полипропиленовых корпусов АКБ с применением одновременного комплексного насыщения бором и хромом в условиях газопламенного нагрева. Насыщение производили из обмазки, содержащей борид хрома, карбид бора, фторид натрия, мелкодисперсный графит, в качестве связующего – вода. Насыщение вели при температуре 950ºС в течение 0,3ч при соотношении кислорода и пропана 1,7 к 1. После насыщения упрочняемые детали подвергли закалке в масле непосредственно с температуры насыщения. После чего обмазку удалили, а изделия промыли в моющем растворе. Упрочненные таким образом изделия передали на испытания. По результатам испытаний износостойкость упрочненных деталей повысилась в 1,8 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейин, М. И. Специальные стали. Учебник для вузов [Текст] / М. И. Гольдштейин, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М: Металлургия, 1985. – 408с.

2. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов [Текст] / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. 256 с.

3. Ворошнин, Л.Г. Многокомпонентные диффузионные покрытия [Текст] / Л. Г. Ворошнин. – Минск: Наука и техника, 1981. – 296с.

4. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов [Текст] / Л. Г. Ворошнин. - Минск: Беларусь, 1981. – 205 с.

5. Защитные покрытия на металлах. Вып. 6. Киев: Наукова думка. – 1972. С 17–37.

6. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие покрытия [Текст] / Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. – М.: Металлургия, 1976.– 559с.

7. Кошелева, Е. А. Технология многокомпонентного диффузионного упрочнения поверхности деталей машин и инструмента для энергетического машиностроения из смесей на основе карбида бора [Текст] / Е. А. Кошелева, С. Г. Иванов, Е. А. Нестеренко, М. А. Гурьев, С. А. Земляков, О. А. Власова, А. Г. Иванов // Ползуновский вестник – 2010. – №1 – С.106–113.

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

9. Гурьев, А. М. Повышение эксплуатационных свойств стальных изделий в полевых условиях [Текст] / А. М. Гурьев, А. Г. Иванов, П. А. Марков, С. Г. Иванов // Ползуновский альманах – 2010. – №1. – С.205–206.

10. Гурьев, М. А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжелонагруженных деталей машин и инструмента [Текст] / М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, Е.А. Кошелева, А. Г. Иванов, А. Д. Грешилов, А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Г. А.Околович // Ползуновский вестник – 2010. – №1. – С.114–121.

11. Гурьев, М. А. Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок [Текст] / М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев // Успехи современного естествознания – №3.– 2010.– С.123–124.

12. Гурьев, М. А. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования [Текст] / М. А. Гурьев, А. М. Гурьев, А. Г. Иванов, С. Г. Иванов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – №5.– 2010. – С. 155

***Гурьев А.М.**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой НГиГ,*

***Иванов А.Г.**, аспирант,*

***Околович Г.А.**, д.т.н., ВПО АлтГТУ*

***Марков В.А.**, д.т.н., проф., проф. кафедры МТиО, тел. 8(3852)290-765*

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»