# НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИФФУЗИОННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ БОРОМ СОВМЕСТНО С ТИТАНОМ И ХРОМОМ

Гурьев А.М. [1], Лыгденов Б.Д. [1,2], Иванов С.Г . [1], Власова О.А. [1], Гармаева И.А.[2], Кошелева Е.А. [1], Гурьев М.А. [1]

[1]*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,*

*Барнаул, Россия.*

[2]*Восточно-Сибирский государственный технологический университет,*

*Улан-Удэ, Россия.*

Высокая износостойкость - это основное свойство, ради которого проводят борирование металлов и сплавов. Износостойкость борированной стали 45 в условиях сухого трения- скольжения выше в 4-6 раз износостойкости цементированных, 1,5-3 раза нитроцементированных, в 3-8 раз цианированных, в 2 раза хромосилицированных, в 4 раза закаленной низкоотпущенной стали 45 [1].

В настоящее время накоплен большой опыт промышленного использования борирования. Борирование повышает долговечность: пальцев и втулок гусениц трактора и других гусеничных машин в 5-17 раз, втулок буровых и грязевых насосов –в 3-4 раза, дисков трубы турбобура – 4-5 раз, пальцев черпаковой цепи земснаряда – в 6-7 раз, деталей металлургического оборудования –в 3-5 раз, матриц и пуансонов штампов холодной штамповки – в 2-13 раз, деталей штампов горячей штамповки – в 1,5-3 раза, деталей прессформ литья под давлением алюминиевых сплавов – в 2-15 раз, деталей прессформ фарфорофаянсового производства – в 2-3 раза, ножей для холодной резки металлов – в 3-4 раза, деталей технологической оснастки –в 1,5-5 раз и т.д. [1].

Это далеко неполный перечень изделий, которые можно упрочнять борированием, свидетельствует о широких возможностях и перспективности широкого промышленного использования этого процесса химико-термической обработки (ХТО).

Диффузионное насыщение поверхности сталей и сплавов чаще всего проводят при высокотемпературной изотермической или изотермически-ступенчатой выдержке с полной перекристаллизацией стали в аустенитное состояние. Это приводит к перегреву – структура и механические свойства, кроме твёрдости и износостойкости, ухудшаются. Недостатками процессов традиционной ХТО являются также их высокая энергоёмкость и продолжительность.

**Указанные недостатки можно устранить при диффузионном насыщении поверхности сплава в режиме термоциклирования (ТЦО) [2 - 3]. Известен целый ряд способов предварительной термоциклической обработки [2], но выбор режимов ТЦО до сих пор ведется эмпирическим путем. Недостатками этих способов является то, что повышение прочности не сопровождается необходимым уровнем высокой пластичности стали, а также то, что все известные способы достаточно трудоемки и длительны. Противоречивое понимание взаимного влияния различных параметров термоциклирования (температура в цикле, скорости нагрева и охлаждения, количество циклов, время выдержки и др.) создало предпосылки для применения широкого спектра способов ТЦО, отличающихся не только принципом воздействия, но и самое главное, различающихся до 20 – 50 раз энергозатратами для получения необходимого результата. Поэтому необходимо дальнейшее, более глубокое изучение известных и разработка новых оптимальных способов упрочнения.**

**Ранее нами исследованы и описаны основные закономерности и механизмы борирования ферритоперлитных сталей [3 - 5]. Показано, что циклический нагрев и охлаждение значительно ускоряют кинетику процесса ХТО железоуглеродистых сплавов. Установлено, что термоциклирование при борировании приводит к увеличению толщины слоя до 80% на углеродистых сталях, с увеличением степени легированности эффект снижается с 70% (литая сталь 5ХНМ) до 20% (сталь Х12М). С увеличением содержания углерода в стали снижается глубина борированного слоя, как после изотермического высокотемпературного борирования, так и после термоциклического борирования. Установлено, что формирующиеся в ходе борирования новые границы зерен и субзерен выполняют тройную роль. Во-первых, они служат основным каналом насыщения атомами бора и углерода основных глубинных слоев. Во-вторых, на них локализована большая часть карбоборидов. В-третьих, на них расположена значительная часть атомов бора и углерода, еще не образовавшихся карбоборидов. Установлено, что диффузия по границам зерен является главным механизмом карбоборирования за исключением наружного слоя, где решающим фактором является реакционная диффузия.**

Борирование и другие методы однокомпонентного диффузионного насыщения металлами и неметаллами (цементация, азотирование, хромирование и т.д.) получили наибольшее распространение в промышленности. Многокомпонентное же насыщение практически не используется, не смотря на то, что многокомпонентные диффузионные слои позволяют

комбинировать свойства однокомпонентных, и, следовательно, позволяет в большей степени повысить эксплуатационные качества инструмента и деталей машин.

**В настоящей работе исследованы структуры диффузионных слоев инструментальных сталей, полученных в условиях изотермического насыщения и в условиях, когда насыщение велось при циклическом изменении температуры. Проводили диффузионное боротитанирование в смеси, содержащей в качестве насыщающих компонентов диборид титана и карбид бора. В результате были получены диффузионные слои толщиной 50–60 мкм. При повышении температуры насыщения образуются более плотные слои с лучшими характеристиками.**

**Полученные слои исследовали по микротвердости на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50г. Толщина полученных слоев измерялась на металлографическом микроскопе.**

Проведены экспериментальные исследования по боротитанированию и борохромированию при циклически изменяющихся температурах. Оба процесса проводили при температуре 1050°С, время цикла при ХТЦО – 30 мин. Для боротитанирования было выбрано количество циклов, равное четырем, для борохромирования – шести. Установлено, что толщина полученных диффузионных слоев не уступает изотермическим слоям, полученным при той же температуре и времени выдержки 4 часа при боротитанировании и 6 часов при борохромировании соответственно.

Установлено, что ТЦО приводит к благоприятным изменениям структуры и повышению таких критичных для работоспособности параметров, как пластичность и ударная вязкость материала. ТЦО позволяет избежать обязательного для высокотемпературных способов насыщения роста зерна сердцевины, повышает сцепляемость диффузионного слоя с подложкой и ударную вязкость обрабатываемого металла.

Исследования показали, что применение термоциклирования в процессе насыщения позволило в 2 раза сократить время процесса насыщения. Микротвердость слоев, полученных термоциклическим способом, несколько уступает изотермическим. В пользу способа диффузионного насыщения по методу химико-термоциклической обработки, можно заметить, что при меньшей длительности процесса ХТЦО (в 2 раза), чем изотермической ХТО, толщина диффузионных слоев отличается незначительно. Таким образом, ХТЦО позволяет получить упрочнённый диффузионный слой необходимой толщины за более короткое время, а новые, разработанные нами способы ХТО и ХТЦО, позволяют реализовывать их на стандартном оборудовании любого термического участка.

Положительным моментом ХТЦО также является получение более однородных по физико-химическим свойствам слоев, что повышает их износостойкость. Так как меньшая их твердость компенсируется более высокой пластичностью, а следовательно, большей устойчивостью к ударным нагрузкам.

**Показано, что использование ТЦО и ХТО в одном технологическом процессе исправляет перегрев (крупнозернистость) и другие дефекты структуры, получаемые обычно при высокотемпературной ХТО. При термоциклировании с многократными фазовыми превращениями происходит образование избыточных дефектов кристаллического строения – повышается плотность дислокаций и концентрация вакансий. При этом наиболее интенсивно это происходит на первых 3-5 термоциклах; в дальнейшем наблюдается стабилизация уровня дефектов, что подтверждают данные рентгеноструктурного анализа термоциклированных сталей. Следовательно, 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.**

**Новые способы ХТО и ХТЦО совмещены с закалкой в последнем цикле, последующий отпуск дает необходимую твёрдость, как «сердцевины», так и поверхности детали, т.е. формирует окончательные свойства изделия.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

**1. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. М.: Металлургия, 1978. - 239 с.**

**2.Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин.–Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989.–255 с.**

**3. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 216 с., ил.**

**4. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д. // Изв. Вузов. Физика №11. - 2000.- Т.43.- С. 269 - 270.**

5. 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. Chernykh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, №2.- 2004.- С.54 – 60.