

**Исследование структуры и свойств стальных деталей после боросилицирования и борокарбозотирования**

Ситкевич М.В., Старовойтова Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Процесс боросилицирования проводился при температурах 900-950°C в специально разработанных порошковых смесях, которые после засыпки ими образцов эффективно функционируют в окислительной воздушной печной среде без использования каких либо защитных средств. Следует отметить, что описанные в научной литературе порошковые смеси для ХТО при проведении диффузионного насыщения в воздушной среде требуют тщательной герметизации контейнеров.

В качестве исследуемых образцов были использованы как сравнительно дешевые стали 45 и 40Х, так и высоколегированные стали, которые могут быть использованы при изготовлении некоторых деталей инструмента и технологической оснастки.

В результате исследований установлено, что в структуре боросилицированных слоев сталей 45 и 40Х присутствует преимущественно фаза  $Fe_2B$  с небольшим количеством фаз  $Fe_3Si$  и  $FeB$ . Практика эксплуатации деталей, упрочненных высокотвердыми боридными фазами показывает, что наиболее эффективная толщина боридных слоев 90-110 мкм. При существенном увеличении размеров зон боридного упрочнения весьма вероятно их скалывание в процессе изнашивания. Исследования показывают, что на сталях 40Х, 45 при температуре ХТО 920°C, боросилицированные слои указанной толщины формируются за 7 часов.

Результаты исследований микротвердости, коррозионной стойкости, износостойкости образцов сталей 45, 40Х, Х12М после боросилицирования при 920°C в течение 7 часов представлены в табл. 1.

Износостойкость определялась в условиях трения скольжения образцов исследуемых сталей по контртелу из нормализованной стали 45 при давлении 20 МПа на пути трения 1 км. Коррозионная стойкость оценивалась по потере

массы на единицу площади исследуемых образцов, после выдержки в водопроводной воде в течении 100 часов.

Таблица 1

Процесс упрочняющей обработки	Марка стали	Тверд. поверх. слоев, ГПа	Износ, мг/см <sup>2</sup>	Потеря массы в воде, мг/дм <sup>2</sup>
B-Si, 920 <sup>0</sup> C, 7 ч.	45	14,1	102	42
B-Si, 920 <sup>0</sup> C, 7 ч.	40X	13,8	105	44
B-Si, 920 <sup>0</sup> C, 7 ч.	X12M	13,5		
B-C-N, 550 <sup>0</sup> C, 8 ч.	45	5,9	285	11
B-C-N, 550 <sup>0</sup> C, 8 ч.	40X	8,4	165	10
B-C-N, 550 <sup>0</sup> C, 8 ч.	X12M	13,2		
Зак.+ отп. 550 <sup>0</sup> C	45	1,9	675	68
Зак.+ отп. 550 <sup>0</sup> C	40X	2,7	583	65
Зак.+ отп. 550 <sup>0</sup> C	X12M	5,1		

Как видно из представленных данных микротвердость боросилицированного слоя на сталях 40X и 45 в пределах 13,8-14,1 ГПа. Несколько меньше она на высокохромистой стали X12M. В тоже время на образцах без ХТО на сталях 40X и 45 микротвердость 2,7 и 1,9 ГПа соответственно, что более чем в 5 раз ниже. Вследствие высокой твердости боросилицированных слоев износостойкость образцов после этого процесса возрастает примерно в 6 раз. После боросилицирования повышается также и коррозионная стойкость в воде, правда не столь существенно-всего в 1,5 раза.

В случае борокарбозотирования для деталей, работающих в условиях длительного изнашивания целесообразно получать диффузионные слои толщина которых должна достигать максимально возможных значений. Как показывают ранее проведенные исследования, применительно к различным углеродистым и легированным сталям наиболее приемлемой толщиной борокарбозотированного слоя следует считать примерно 200 мкм. Применительно к сталям 45 и 40X при температуре борокарбозотирования 550<sup>0</sup>C такую толщину слоя можно получить за 8 часов. Следует отметить, что микротвердость борокарбозотированных слоев, в отличие от

боросилицированных, плавно уменьшается по мере удаления от поверхности к сердцевине, что обеспечивает прочное их сцепление с металлической основой и предотвращает скалывание даже при относительно высоких динамических нагрузках.

Исследования показывают, что структура борокарбозотированных слоев кардинально отличается от боросилицированных. Так, вблизи поверхности исследуемых сталей 45 и 40Х находится светлая полоска  $\epsilon$ -фазы. Эта фаза состава  $Fe_{2-3}(N,C,B)$  с гексагональной решеткой. Под ней располагается зона гетерогенного строения в которой наряду со структурными составляющими основного материала присутствуют включения борокарбонитридов железа, концентрация которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности, что вызывает уменьшение микротвердости. Установлено, что в случае присутствия в составе сталей таких легирующих элементов как хром, вольфрам, ванадий, титан и др. наряду с борокарбонитридами железа в структуре диффузионного слоя появляются и борокарбонитриды указанных элементов. Их микротвердость существенно превышает твердость борокарбонитридов железа, что приводит к повышению микротвердости всего диффузионного слоя. Причем, чем больше легирующих элементов в стали, тем выше твердость. Из таблицы 1 видно, что вблизи поверхности после борокарбозотирования стали 45 микротвердость достигает 5,9 ГПа, в случае стали 40Х с 1% хрома микротвердость уже 8,4 ГПа, а при повышении содержания хрома до 12% (сталь Х12М) микротвердость уже 13,2 ГПа. В то же время без ХТО твердость сталей 45 и 40Х всего на уровне 2-2,5 ГПа. Повышение твердости поверхностных слоев после борокарбозотирования сталей 45 и 40Х приводит к повышению износостойкости в 2,5-3 раза, что ниже, чем в случае боросилицированных образцов (табл.1), однако коррозионная стойкость после борокарбозотирования повышается примерно в 6 раз, что превышает подобный показатель после боросилицирования (табл.1).

**Заключение.** Таким образом, в настоящей работе исследованы два процесса ХТО - боросилицирование и борокарбозотирование. Каждый из этих процессов имеет

свои специфические особенности и в плане выполнения температурных параметров технологических операций, и по получаемым после ХТО свойствам поверхностных слоев упрочняемых деталей. Так, процесс боросилицирования проводится при температурах 900-950°C и требует существенных энергозатрат, но на углеродистых и низколегированных сталях формируются диффузионные слои повышенной твердости (свыше 13 ГПа) вследствие чего износостойкость при определенных параметрах испытаний возрастает более чем в 6 раз. Процесс борокарбозотирования более энергосберегающий, так как проводится при температурах 500-600°C, но на углеродистых и низколегированных сталях типа 45, 40Х формируются диффузионные слои с микротвердостью до 8-8,5 ГПа, что хотя и значительно выше, чем в сталях 40Х и 45 без ХТО (около 2-3 ГПа), но ниже, чем в случае боросилицирования. Следует отметить, что если твердость после низкотемпературной обработки требуется на более высоком уровне (выше 12 ГПа), можно пойти на использование сталей повышенной легированности типа Х12М, Р6М5, 4Х5МФС, 38ХМЮА и др. При этом важной особенностью этого процесса является значительная коррозионная стойкость поверхностных слоев деталей во влажной среде (увеличивается более, чем в 6 раз). В связи со сказанным, процесс борокарбозотирования можно рекомендовать к использованию не только для повышения долговечности деталей машин и оборудования, эксплуатирующихся в условиях изнашивания во влажной среде, но и повышения стойкости металлообрабатывающего инструмента из быстрорежущих сталей типа Р6М5 (сверла, метчики, фрезы, развертки, зенкеры и др.), деформирующей оснастки из легированных штамповых сталей, а также для повышения коррозионной стойкости и улучшения фрикционных показателей резьб (вследствие уменьшения коэффициента трения) крепежных деталей (болты, гайки, шпильки и др.). Данные виды изделий широко используются на производственных участках промышленных предприятий.