

Упрочнение конструкционных сталей комбинированными методами обработки, включающими термодиффузионное борирование

Дашкевич В.Г., Ушеренко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Определены особенности структурообразования диффузионных слоев полученных по комплексной технологии, включающей предварительную активацию сверхглубоким проникновением порошковых частиц в стальную матрицу из стали У8 и последующее термодиффузионное низкотемпературное борирование в порошковых средах. Проведена оценка фактора хрупкости и адгезионных свойств.

Текст доклада:

Износ, в разных его проявлениях, является важным обстоятельством обеспечивающим необходимость проведения дополнительных обработок с целью защиты широкого спектра материалов. Химико-термическая обработка (ХТО) в этом занимает центральное место и, совершенно точно, в настоящее время, не утратила своей привлекательности в вопросах повышения износостойкости, коррозионной стойкости и т.д.

Уже больше века ученые и инженеры разных стран применяют различные способы борирования, как разновидность ХТО для защиты стальных изделий от механического изнашивания. Даже в современных реалиях, когда перечень всевозможных высокотвердых покрытий и слоев огромен, боридные слои, имеющие чрезвычайно высокую твердость (по некоторым данным до 22 000 МПа) и износостойкость показывают свою эффективность [1].

Термодиффузионное борирование в порошковых средах менее распространенный процесс, но имеющий ряд преимуществ по сравнению с другими способами, такими как электролизное, в растворах электролитов. Выбор способа проводится с учетом характера обрабатываемых изделий, условий их работы, массовости изготовления и т. д. В большинстве случаев наиболее выигрышным является борирование в жидких средах. Но если рассматривать борирование в рамках комплексной технологии, то акценты могут смещаться, например, если проводится предварительная обработка поверхности, ее модификация способами пластической деформации, активацией сверхглубоким проникновением порошковых частиц в металлическое тело, электроискровой обработкой.

В работе рассматривается процесс предварительной активации сверхглубоким проникновением порошковых частиц в стальную матрицу из стали У8 и последующее термодиффузионное низкотемпературное борирование в порошковых средах, а также оценка фактора хрупкости и адгезионных свойств полученных слоев. Углеродистая инструментальная сталь, упрочненная борированием, представляет интерес для изготовления, например, деталей золотниковой группы гидрораспределителей. Повышенная хрупкость и опасность скалывания диффузионного слоя на таких сталях, наиболее острая проблема, сдерживающая активное применение такого рода упрочнения.

Повышение адгезионной связи и снижение хрупкости ключевые задачи повышения функциональных возможностей диффузионных боридных слоев на углеродистых сталях, в нашем случае марки У8. Известно, что борированные слои могут самопроизвольно «шелушиться» под действием термических напряжений, отделяясь фрагментарно, чешуйками по межфазной границе (рисунок 1, а) или полностью всем диффузионным слоем.

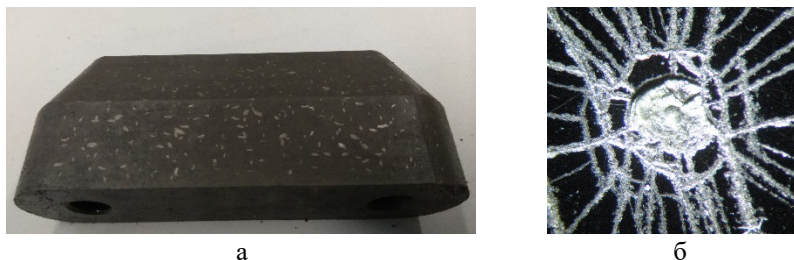


Рисунок 1 – Внешний вид участков разрушения борированных изделий (а – разрушение за счет термических и структурных напряжений; б – отпечаток поверхности при испытании на твердоме Роквелла)

В общем случае адгезия может быть оценена механическими методами, такими как испытание при вдавливании индентером на твердоме Роквелла (шкала С), склерометрией, микроиндентированием, испытанием на ударную вязкость, склонностью к отслаиванию при определении относительного удлинения. Хрупкость боридных слоев исследуется часто тоже на основе измерения микротвердости и твердости по методу Виккерса алмазной пирамидой, по бальной шкале. Наиболее распространённой и достоверной методикой определения хрупкости боридных диффузионных слоев является методика, основанная на определении напряжения скола, т.е. минимального напряжения в образце, вызывающем скол диффузионного слоя [2].

Исследование адгезии с использованием твердомера вызывает повреждение слоя, прилегающего к месту отпечатка (рисунок 1, б). По площади разрушения, плотности трещин, характеризуют хрупкость слоя и, косвенно, адгезионную составляющую.

Термодиффузионное борирование проводили в порошковой среде при печном нагреве в герметичном контейнере с плавким затвором. Режим обработки: температура 650 °С, время 4 ч. Для проведения процесса использована шахтная электрическая печь с селитовыми нагревателями.

Активацию проводили динамической обработкой в режиме сверхглубокого проникновения на специальном пушечном ускорителе, позволяющем обрабатывать образцы цилиндрической формы. Обработка проводилась порошковой композицией состоящей из SiC+Al+ПГ10Н04 при скорости частиц порядка 300-1000 м /с.

В качестве насыщающей смеси использовали порошковую среду разработки сотрудников научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий БНТУ, полученную металлотермическим способом (торговая марка «Besto-Bor»). В состав смеси в качестве основного компонента входил оксид бора, восстановитель – порошок алюминия. Восстановленную смесь размалывали, просеивали, обеспечивая требуемый granulometric состав (0,3 – 0,5 мм), и для дальнейшего использования при термодиффузионном насыщении добавляли активатор AlF_3 .

Известно, что при борировании реализуется, прежде всего, зернограничная диффузия, т.е. бор выступает как горофильный элемент. Структура слоя иглоподобная, состоящая из зон низкобористой (Fe_2B) и высокобористой (FeB) фаз. В таком слое характерным является присутствие пористости, как правило, на межфазной границе, что способствует описанной ранее высокой хрупкости и низкой адгезии (рисунок 2, а). Природа этой пористости это вакансионный механизм диффузии и затруднительная встречная диффузия железа [2, 3].

Формирующиеся при процессах активации каналы зоны в результате процесса активации являются ничем иным как дефектом кристаллической структуры, которые способны интенсифицировать диффузию по телу зерна, т.е. развить объемную диффузию, что приводит к формированию более компактного слоя (рисунок 2, б). Кроме снижения пористости, было установлено снижение и хрупкости. Площадь зоны трещинообразования при формировании отпечатка от вдавливания на твердомере Роквелла снижается на 25...40%. Как уже отмечалось ранее, такие показатели косвенно свидетельствуют об увеличении адгезионных сил. Если предполагать, что полученные активацией каналы в стальной матрице имеют глубину проникновения больше чем толщина слоя, то формирующиеся в про-

цессе термодиффузионного борирования в этих каналах кристаллы обес­печивают более высокую адгезию слоя, поскольку фрагментарно входят в матричный материал на значительно большую глубину, чем основной слой.

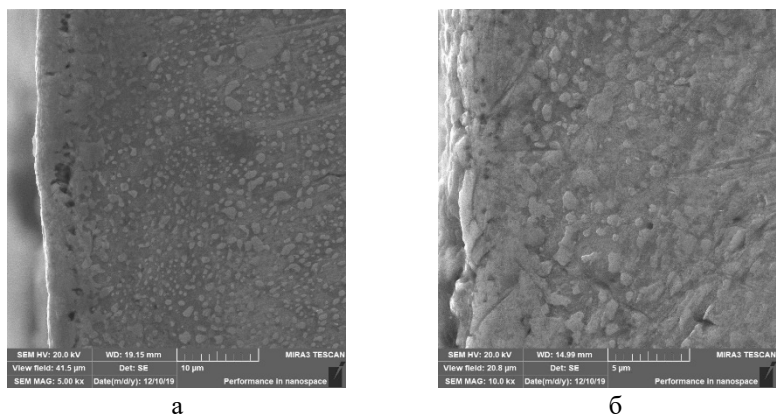


Рисунок 2 – Микроструктура образцов стали У8 после низкотемпературного борирования в порошковой среде Besto-Bor (а – без активации; б – с активацией)

В результате выполненной работы исследованы особенности структу­рообразования диффузионных слоев полученных по комплексной техно­логии, включающей термодиффузионное низкотемпературное борирова­ние с предварительной обработкой, заключающаяся в динамической про­шивке порошковой композицией поверхности образца. С такой обработ­кой диффузионный слой получился более компактный, снижается хруп­кость и повышается адгезия, определенная по отпечатку от вдавливания алмазного наконечника твердомера.

Литература

1. Eric J. Mittemeijer. Thermochemical surface engineering of steels / Eric J. Mittemeijer, Marcel A. J. Somers // Woodhead publishing series in metals and surface engineering: Number 62. – Elsevier. 2015. – 792 p.
2. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.
3. M. Kulka, Current trends in boriding: Techniques: Springer Nature, Switzerland, 2019. – 282 с.