

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ БОРИДОВ В БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЯХ

И. М. Спиридонова, д. т. н, проф., В. И. Мостовой,
Л. И. Федоренкова, В. Д. Колочая, О. А. Мамотенко

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

Вводная часть и постановка задачи. Работы по улучшению качества боридных покрытий ведутся с 70-х годов XX века. Это обусловлено тем, что при высокой твёрдости боридов ($HRC=75$ и более), они обладают низкими значениями показателей сопротивления хрупкому разрушению. Так, в работе [1] говорится, что причиной образования трещин в боридных фазах, особенно при термообработке, является разность коэффициентов линейного расширения. Фаза FeB обладает растягивающими остаточными напряжениями и скальвается в превую очередь. Фаза Fe₂B имеет сжимающее остаточное напряжение и поэтому возможна её модификация с целью повышения прочностных свойств. Появлению дефектов, по мнению авторов [1] способствуют Cr, Ni, Si. В сталях с молибденом содержание его на поверхности боридного слоя FeB меньше исходного, а в бориде Fe₂B примерно равно исходному. Переходная зона обогащена молибденом. Следовательно, молибден в процессе борирования оттесняется из зоны боридов в основной металл. В принципе, легирующие элементы, близкие к подгруппе железа (Ni, Co, Mn), концентрируются в фазе Fe₂B как в фазе с меньшей дозой ковалентности. [1] «Молибден, так же как и хром, электронным аналогом которого он является, должен концентрироваться в бориде Fe₂B, однако из-за его меньшей диффузионной подвижности этот эффект должен быть менее ярко выражен... Условия для растворимости кремния в бориде железа крайне неблагоприятны. Он, как и алюминий, оттесняется в подборидную зону.» А при комплексном насыщении бора с алюминием (или бора с кремнием) образует в превую очередь на поверхности покрытия из алюминидов (или силицидов), с огромной сеткой трещин.

Авторы [1] классифицировали легирующие металлы по силе замедляющего влияния на скорость роста боридного слоя: Ni, Co, Mn, Si, Cr, Al, W, Mo. Никель, кобальт, марганец, как легирующие элементы, находящиеся в составе стали, расширяющие γ -область железа, слабо влияют на изменение толщины боридного слоя. Si, Cr, Al, W, Mo уменьшают толщину боридного слоя. Эти элементы активируют диффузию бора только в твёрдом растворе B в железе, но не влияют на скорость роста боридного слоя [2]. В работе [3] приведена зависимость балла хрупкости боридного слоя от микротвёрдости (стр.37), при этом элементы Si, Al, Ni, W, Cu, Mn снижают значение микротвёрдости H_c с 1600 до 1400кг/мм².

Насыщение поверхности стали одновременно несколькими компонентами (бором и алюминием, бором и молибденом, бором и кремнием,

титаном и хромом, алюминием и хромом, алюминием и кремнием) изучали в работе [4]. Насыщение вольфрамом и молибденом приводит к повышению износо- и коррозионной стойкости боромолибденированного слоя и меньшей хрупкости борвольфрамиррованного слоя, по сравнению с борированным. Однако в интервале температур 850-950°C толщина боридных покрытий неудовлетворительна, а при более высоких температурах ХТО происходит деборирование стали. Исследование одновременного насыщения борированной стали хромом и титаном (по Е.В.Коссу) показывает, что толщина легированного боридного покрытия (10-15мкм) является недостаточной, хотя микротвёрдость $H_{\mu}^{100}=2800\text{кг/мм}^2$ приемлема для решения вопросов по повышению качества боридного слоя. Одновременное насыщение хромом и титаном несколько замедляет явление деборирования стали, наблюдающееся при боротитанировании. Хром, растворяясь в бориде железа ((Fe, Cr)₂B) стабилизирует эту фазу. Одновременное насыщение алюминием и хромом повышает жаростойкость покрытия лучше, чем нержавеющая сталь. При этом алюминиды образуют сетку мелких трещин в два раза меньшую, чем при чистом бороалитировании. Борохромированные стали имеют меньшую хрупкость боридов хрома по сравнению с боридами железа, но это можно объяснить меньшей микротвёрдостью [4]. Бориды могут снижать общую пластичность стали (например, стали 04X14T3P1Ф по сравнению со сталью 12X18H10T) [5]. Деформация способствует локализации напряжений в многофазной частице, приводит к образованию микротрещин и их распространению по границам фаз, что облегчает дальнейшее разрушение боридов. Увеличение дисперсности позволяет уменьшить отрицательное воздействие этого явления. Авторы [5] проводят дробление частиц, применяя горячую деформацию.

Целью данной работы было исследование способов повышения прочности боридного покрытия (повышения микротвёрдости, при сохранении или увеличении пластичности), основанных на модифицирующем воздействии легирующих элементов (из среды насыщения) на бориды стали.

Материалы и методика исследования. Исследования проведены на образцах, изготовленных из стали 20 и из среднеуглеродистой стали 45, в нормализованном состоянии, размерами 10x10x10мм. Процесс был осуществлён в твердофазных средах при температурах $T=900-1050^{\circ}\text{C}$ в течении времени, обеспечивающем формирование на поверхности деталей сопоставимого по толщине боридного слоя. Изучение морфологии и кинетики образования диффузионного слоя, а также микроструктуры поверхности обработанных образцов проводили с помощью металлографического анализа на приборах ПМТ-3 и микроскопе Neophot21.

Результаты исследований и их обсуждение. При насыщении одновременно бором и никелем толщина боридного слоя 260-280мкм, микротвёрдость 13-15ГПа. При одновременном насыщении бором и молибденом толщина слоя 160мкм, микротвёрдость 13-15(25-27)ГПа. На образцах с насыщением бором, молибденом и никелем получаем порывтие с

толщиной диффузионного слоя 180-200мкм и повышенной микротвёрдости $H_{\mu}=13-15$ ГПа, с меньшими хрупкостью и интенсивностью износа в широком диапазоне температур. Морфология слоя показывает, что образованные соединения никеля и молибдена в основном концентрируются в пределах борированного слоя. Это обусловлено тем, что образование боромолибденированного слоя происходит при относительно низких температурах, замедляющих диффузию молибдена за границы боридного слоя. При осуществлении ХТО методом одновременного насыщения бором и никелем слой боридов характеризуется меньшей игольчатостью и большей толщиной, чем при традиционном борировании. Одновременное насыщение поверхности бором и молибденом сохраняет игольчатость боридов Fe_2B , а также в подслое под иглами появляются микрокристаллические выделения карбоборидов типа $(Fe, Mo)_3(C, B)$. Диффузионное борирование, осуществляемое с помощью модифицирования боридов дополнительно никелем и молибденом позволяет сохранить или увеличить толщину боридного слоя при увеличении его микротвёрдости.

Анализ прочностных характеристик разных способов упрочнения боридов показал следующее (рис.1, рис.2).

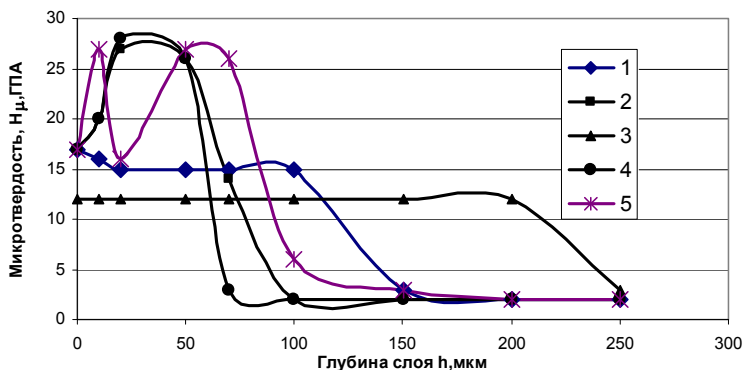


Рис. 1. Распределение микротвердости в глубину для разных способов борирования: 1 – традиционное борирование, 2 – борирование с модифицированием молибденом, 3 - борирование с модифицированием никелем, 4 – предлагаемое авторами источников [3, 4], 5 – борирование с модифицированием никелем и молибденом

Как видно из графика на рисунке 1, предлагаемые авторами [1-5] способы упрочнения боридов позволяют получать слои с большей микротвёрдостью, однако при этом происходит ухудшение их пластических свойств. При упрочнении одновременно никелем и молибденом по предлагаемому нами способу (кривая №4) в слое боридов появляется фаза микрокристаллических размеров с микротвёрдостью 26-27 ГПа.

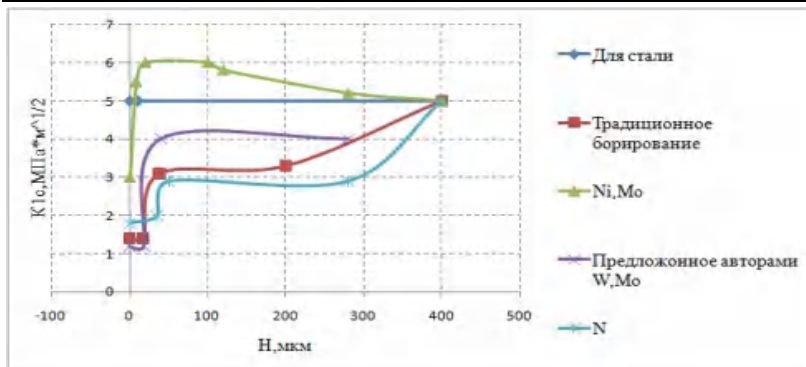


Рис. 2. Распределение критических коэффициентов интенсивности напряжения 1-го рода для разных способов борирования.

Однако (рис.2) пластические свойства, критический коэффициент интенсивности напряжения 1-го рода не только не ухудшаются по сравнению с традиционным борированием, но и превышают показатели трещиностойкости в 2-2,5 раза

Выводы.

Исходя из проведенного анализа можем утверждать, что модифицирующее легирование боридов железа позволяет более качественно решать проблему повышения прочности боридных покрытий. Так одновременное насыщение поверхности стали бором, никелем и молибденом позволяет повысить критический коэффициент интенсивности напряжения 1-го рода для фазы Fe_2B в 2-2,5 раза, при наличии в боридном слое коагулированных микрокристаллических фаз с твердостью 26-27ГПа и сохранения традиционно получаемой толщины боридного слоя.

Использованная литература

1. Борирование стали // Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович _ М «Металлургия» _ 1978
2. Многокомпонентные диффузионные покрытия // Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Г.Г. Панич, Э.Д. Щербаков _ Минск «Беларусь» _ 1974
3. Борирование промышленных сталей и чугунов // Л.Г. Ворошнин _ Минск «Беларусь» _ 1981
4. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов // Г.В. Земсков, Р.Л. Коган _ М «Металлургия» _ 1978
5. Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. Под общей редакцией доктора технических наук профессора В.И. Большакова. При поддержке главного управления образования и науки областной государственной администрации. Вып. 58. Серия: Стародубовские чтения 2011 // _ Днепрпетровск _ 2011