

Microhardness and microfragility of boride layers, received as a result of thermodiffusion strengthening, are studied and connection between microhardness, microfragility and degree of load at testings is established in this article.

В. Ф. ПРОТАСЕВИЧ, В. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, БНТУ

УДК 621.785.539

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОТВЕРДОСТИ И МИКРОХРУПКОСТИ БОРИДНЫХ СЛОЕВ

Одним из путей повышения стойкости инструмента, деталей машин, технологической и инструментальной оснастки является создание на поверхности изделий боридных диффузионных покрытий. Для оценки боридных покрытий важно знать их механические свойства и, в частности, микротвердость.

В настоящей работе исследованы микротвердость и микрохрупкость боридных слоев, полученных в результате термодиффузионного насыщения, и установлена связь между микротвердостью, микрохрупкостью и величиной нагрузки при испытаниях.

Исследования проводили на стали У8 с боридными покрытиями. Борирование осуществляли в порошковых средах в контейнерах с плавким затвором при температуре 950°C в течение 4 ч [1]. В результате насыщения на образцах были получены одно- и двухфазные боридные слои. Толщина однофазного слоя, состоящего из Fe₂B, составляла ~100 мкм. Общая толщина двухфазного слоя достигала ~200 мкм при толщине поверхностной зоны FeV ~100 мкм.

Микротвердость и микрохрупкость покрытий измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузках на индентор от 0,4 до 2,0 Н. Испытания на вдавли-

вание проводили по двум схемам: 1) по поверхности образца вдоль оси боридных игл; 2) по слою на поперечных шлифах на расстоянии 30 мкм от поверхности образца. Шлифы для определения микротвердости готовили по стандартной методике: грубая шлифовка, затем чистовая шлифовка на шкурках и полировка на сукне с оксидом хрома. При измерении микротвердости и микрохрупкости проводили 40 замеров при одной нагрузке.

Исследование микрохрупкости осуществляли по методике, описанной в работе [2]. Микрохрупкость оценивали в зависимости от числа отпечатков с дефектами и характера дефектов вокруг отпечатка. Суммарный балл хрупкости рассчитывали по формуле

$$Z=0n_0+1n_1+2n_2+3n_3+4n_4+5n_5,$$

где Z – суммарный балл хрупкости; $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$ – количество отпечатков из общего числа с данным баллом хрупкости.

В ходе исследований была проведена статистическая обработка результатов измерений. Исключены грубые ошибки – промахи.

Результаты измерения микротвердости поверхности по первой схеме для одно- и двухфазного боридного слоя приведены в табл. 1.

Таблица 1. Микротвердость поверхности слоев FeV и Fe₂B

Нагрузка, Н	FeV		Fe ₂ B	
	микротвердость поверхности, МПа	среднеквадратичная ошибка (S _n), МПа	микротвердость поверхности, МПа	среднеквадратичная ошибка (S _n), МПа
0,4	14800	3900	9900	3400
0,5	13900	2900	9400	2900
1,0	16100	2150	15700	2200
2,0	16500	1300	17200	1600

Измерения микротвердости поверхности боридных фаз одно- и двухфазного боридного слоя показали, что микротвердость поверхности меняется в зависимости от величины нагрузки на индентор (рис. 1).

Как видно из рисунка, выделяются три участка изменения микротвердости. На первом участке (нагрузка менее 0,5 Н) значения микротвердости повышаются при уменьшении нагрузки от 0,5 и ниже. На этом участке значения среднеквад-

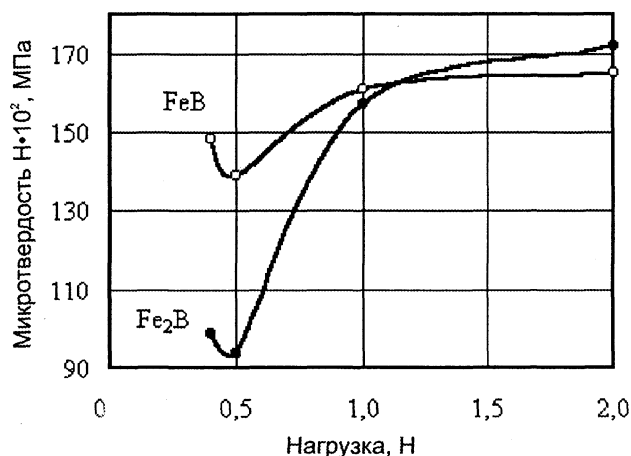


Рис. 1. Изменение микротвердости поверхности боридных слоев в зависимости от нагрузки

ратичной ошибки достигают для фаз FeB и Fe₂B 3900 и 3400 МПа соответственно (табл. 1). Установленную закономерность – повышение микротвердости при малых нагрузках наблюдали и в работе [3] при измерении микротвердости металлов: Ni, Fe, Sb, Cr, Si и Ge. Микротвердость этих металлов при уменьшении нагрузки ниже 0,5 Н возрастала и тем в большей степени, чем тверже материал.

При увеличении нагрузки в интервале 0,5–1,0 Н (участок 2) происходит рост значений микротвердости с одновременным падением среднеквадратичной ошибки (табл. 1). На участке от 1,0 Н

и выше микротвердость не зависит от нагрузки. Ошибка измерений на третьем участке достигает минимума и составляет 1300–1600 МПа соответственно для фаз FeB и Fe₂B.

Из табл. 1 видно, что в проведенных исследованиях ошибка измерений микротвердости меняется в зависимости от нагрузки на индентор и величины значений микротвердости. При переходе к малым нагрузкам значительно возрастает погрешность измерений.

Как показано в работе [2], при замере микротвердости на приборе ПМТ-3 относительная ошибка измерений зависит от величины диагонали отпечатка. Если длина диагонали отпечатка составляет 20, 10 и 5 мкм, то ошибка соответственно будет равняться 5, 10 и 20%. В наших исследованиях при измерении микротвердости размер диагонали отпечатка изменялся от 6 до 16 мкм, что соответствовало ошибке от 16 до 6%.

Измерение микротвердости поверхности по схеме 1 вдоль оси боридных игл показало, что все отпечатки не имели дефектов и суммарный балл хрупкости Z=0.

На следующем этапе работы исследовали изменения микротвердости и микрохрупкости фаз FeB и Fe₂B при испытании на вдавливание по второй схеме вдоль слоя на поперечных шлифах. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2. Микротвердость и микрохрупкость фаз FeB и Fe₂B вдоль слоя

Нагрузка, Н	FeB				Fe ₂ B			
	микротвердость слоя, МПа	среднеквадратичная ошибка (S _{ср}), МПа	суммарный балл хрупкости Z	количество отпечатков с дефектами	микротвердость слоя, МПа	среднеквадратичная ошибка (S _{ср}), МПа	суммарный балл хрупкости Z	количество отпечатков с дефектами
0,4	1310	370	36	19	1230	430	16	12
0,5	1250	370	65	30	1160	280	53	26
0,6	1300	300	74	32	1300	300	41	25
0,7	1340	250	73	33	1330	290	35	19
0,8	1390	240	75	31	1600	300	45	27
1,0	1490	180	76	33	1620	310	83	37
1,1	1540	220	105	37	1530	280	95	38
1,2	1600	240	68	32	1500	260	105	39
1,3	1720	220	85	31	1430	270	100	39
1,5	1440	160	145	40	1470	250	138	40

Изменения микротвердости боридного слоя на поперечных шлифах в зависимости от величины нагрузки можно разделить на три участка (рис. 2–5). При малых нагрузках (менее 0,5 Н) наблюдаются повышение значений микротвердости с уменьшением величины нагрузки и самый низкий суммарный балл хрупкости – 36 и 16 соответственно для FeB и Fe₂B. Количество отпечатков с дефектами составляет 19 и 12. Отпечатки с дефектами относятся к 1–3-му баллу хрупкости и имеют одну или две трещины у угла отпечатка. Среднеквадратичная ошибка измерений на первом участке достигает максимума – 3700 и 4300 МПа соответственно для фаз FeB и Fe₂B.

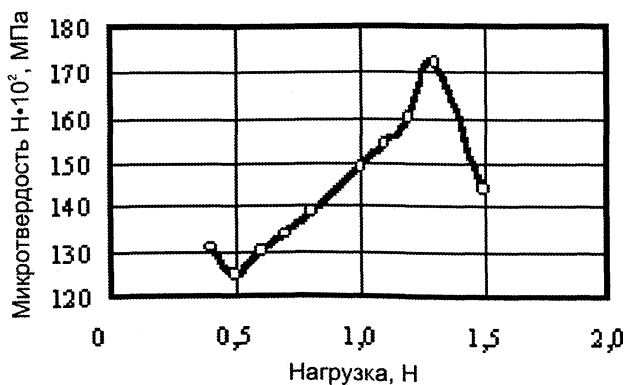


Рис. 2. Изменение микротвердости бориды FeB в зависимости от нагрузки

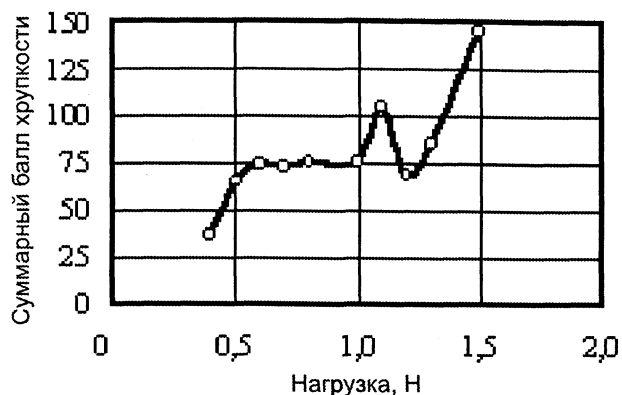


Рис. 3. Изменение микрохрупкости борида FeV в зависимости от нагрузки

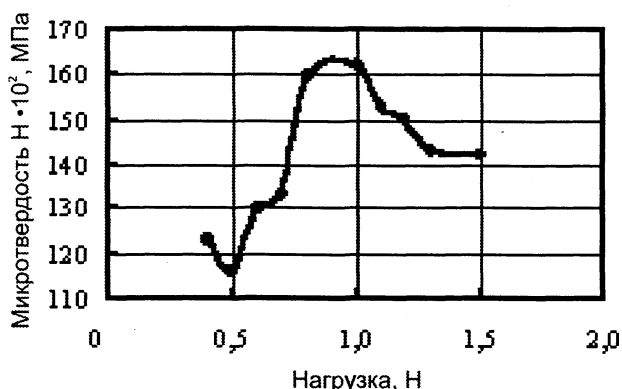


Рис. 4. Изменение микротвердости борида Fe₂V в зависимости от нагрузки

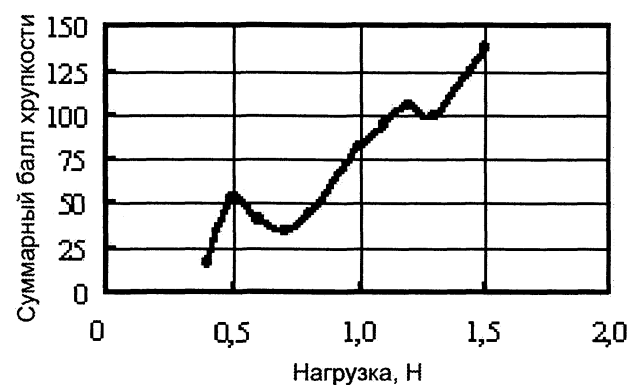


Рис. 5. Изменение микрохрупкости борида Fe₂V в зависимости от нагрузки

Следующий участок – это от 0,5 до 1,0 Н. На этом участке установлено повышение значений микротвердости при одновременном увеличении суммарного балла хрупкости ~ в 2–3 раза по сравнению с первым участком и снижение относительной ошибки измерений (табл. 2). Количество отпечатков с дефектами на данном участке колеблется в пределах 30. Отпечатки с дефектами относятся к 1–4-му баллу хрупкости.

Третий участок – нагрузка более 1 Н. Идет дальнейшее повышение микрохрупкости. Количество отпечатков с дефектами приближается к 40. При нагрузке 1,5 Н суммарный балл хрупкости повышается в 2 раза по сравнению со вторым участком. Количество отпечатков с дефектами достигает 40. Появляются отпечатки, соответствующие 5-му баллу хрупкости (разрушение формы отпечатка). Более половины отпечатков имеют 4-й балл хрупкости (один–два скола у сторон отпечатка). Значение микротвердости уменьшается и составляет 14 400 и 14 200 МПа для FeV и Fe₂V соответственно.

Выводы

Установлена связь между микротвердостью боридного слоя и величиной нагрузки на индентор. Изменения микротвердости поверхности боридных слоев для фаз FeV и Fe₂V от нагрузки идентичны. Кривые имеют три участка: повышение микротвердости при уменьшении нагрузок менее 0,5 Н; значительный рост микротвердости при увеличении нагрузки от 0,5 до 1,0 Н и практически отсутствие зависимости микротвердости от нагрузки в интервале 1–2 Н.

Суммарный балл хрупкости вдоль оси боридных игл Z=0, что подтверждает анизотропию микрохрупкости боридов FeV и Fe₂V.

Литература

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справ. / Г.В. Борисенко, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин и др. М.: Металлургия, 1981.
2. Глазов В.М., Вигдорович В.И. Микротвердость металлов. М.: Металлургия, 1969.
3. Хижняк В.Г., Лоскутов В.Ф., Евтушенко О.В. О микротвердости и микрохрупкости карбидных покрытий на инструментальных сталях // Защитные покрытия на металл. Киев: Наукова думка, 1982. Вып. 16. С. 74–76.