

УДК 621.785.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА КАРБОНИТРИРОВАННОЙ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Канд. техн. наук, доц. ПРОТАСЕВИЧ В. Ф., инж. СТАСЕВИЧ Г. В.

Белорусский национальный технический институт

Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения сталей является борирование. Усилия многих отечественных и зарубежных ученых направлены на совершенствование этого процесса, о чем свидетельствуют сотни публикаций, обобщенных в монографии [1]. Повышенный интерес к процессу борирования обусловлен возможностью получения в поверхностной зоне обрабатываемых изделий моно- или многофазных боридных слоев, характеризующихся уникальным комплексом физико-химических свойств и его приемлемостью для обработки широкой гаммы конструкционных

и инструментальных сталей и сплавов. Прежде всего это высокая твердость боридных покрытий, которая в 1,5–2,0 раза превосходит твердость стали после термообработки, что обуславливает высокую износостойкость борированных слоев в различных условиях трения и износа. Поэтому борирование значительно повышает износостойкость инструмента для холодной деформации металлов, а также пар трения, работающих без смазки или с ограниченной ее подачей.

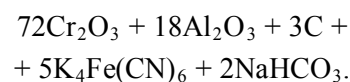
Однако у боридных слоев есть существенный недостаток – повышенная хрупкость. Малоуглеродистые сплавы железа, упрочненные борированием, могут применяться лишь тогда, когда в процессе эксплуатации не испытывают больших удельных давлений. В противном случае происходит продавливание боридного слоя и его выкрашивание. В связи с этим возникает задача создать под боридным слоем подложку, обладающую достаточной твердостью и прочностью для предотвращения продавливания боридного слоя и создания возможности его применения в условиях высоких контактных нагрузок. Для решения этой задачи

используют комплексное насыщение бором совместно с другими элементами, из которых особый интерес представляют азот и углерод [2–5].

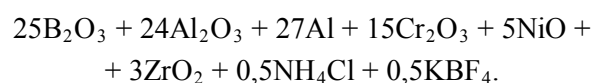
В ряде работ уменьшения хрупкости боридных покрытий добивались комплексным насыщением сплавов бором и азотом. В [4, 5] изучали процесс последовательного и одновременно бороазотирования железа и сталей (2Х9В6, 4Х3ВМФ) в псевдоожигенном слое. Бороазотированные диффузионные слои состояли из светлой боридной зоны, имеющей фазовый состав FeB и Fe₂B с микротвердостью 16000 и 14000 МПа соответственно. Бороазотирование привело к снижению микрохрупкости боридов FeB и Fe₂B.

Цель исследований авторов статьи – получение и анализ фазового состава, строения и свойств боридных покрытий на предварительно карбонитрированной стали 20.

Для достижения поставленной цели предварительно карбонитрированные образцы из стали 20 подвергали борированию при температурах насыщения: 800, 850, 900 и 950 °С. Карбонитриацию осуществляли в шахтной печи при температуре 800 °С в течение четырех часов в порошковой среде следующего состава (% по массе):



Для двухфазного борирования использовали насыщающую среду, полученную в процессе внепечной алюмотермии из порошковой смеси (% по массе):



В ходе металлографических и дюротри-

ческих исследований были определены микротвердость и микрохрупкость диффузионных боридных слоев.

ДюрOMETрический анализ проводили на приборе ПМТ-3 по ГОСТ 9650–76 при нагрузке 0,980 Н. Замеры микротвердости боридов осуществляли на поперечных шлифах от поверхности вглубь вдоль оси боридных игл. Первый замер делали у поверхности в фазе FeB, далее вдоль иглы, затем замеры проводили по фазе Fe₂B от основания иглы на границе двух фаз и до вершины иглы на границе с основой.

Исследование микрохрупкости осуществляли по методике, описанной в [6]. Суммарный балл хрупкости оценивали в зависимости от числа отпечатков с дефектами и характера дефектов вокруг отпечатка.

В результате борирования стали 20 с предварительной карбонитрацией и без нее были получены двухфазные боридные слои. В табл. 1 указаны фазовый состав и толщина борированного слоя в зависимости от температуры борирования и вида обработки. Борированный слой состоит из боридов FeB, Fe₂B и переходной зоны. Толщина переходной зоны (зона с повышенным содержанием бора, углерода и азота) для карбонитрированных образцов растет от 70 до 1700 мкм в зависимости от температуры борирования. При последующей термической обработке переходная зона должна служить твердой и прочной подложкой для боридного слоя. После предварительной карбонитрации толщина сформированного боридного слоя при всех режимах борирования ниже, чем у стали без предварительной обработки, что соответствует закономерностям формирования боридных покрытий на низко- и высокоуглеродистых сталях [1]. Максимальная толщина боридного слоя с предварительной карбонитрацией (190 мкм) получена при температуре борирования 900 °С.

Таблица 1

Толщина борированного слоя в зависимости от вида обработки и температуры борирования

Вид обработки	Температура борирования, °С	Толщина слоя, мкм			
		FeB	Fe ₂ B	Боридная зона	Переходная зона
Борирование	800	60	50	110	–
	850	80	80	160	100
	900	140	90	230	1300
	950	70	140	210	1500
Карбонитра-	800	30	40	70	70

ция + борирование	850	30	90	120	600
	900	100	90	190	1700
	950	50	130	180	700

Микроструктуры боридных слоев, полученных на стали 20, представлены на рис. 1. Предварительная карбонитрация изменяет строение борированного слоя. С ростом температуры борирования зона Fe₂B становится менее плотной, иглы бориды более разрозненными. Чем выше температура борирования, тем грубее структура подборидной зоны. Укрупнение подборидной зоны для карбонитрированной стали начинается с 900 °С, до этой температуры переходная зона сохраняет мелкозернистую структуру. Для образцов без предварительной обработки укрупнение переходной зоны начинается с более низкой температуры борирования (850 °С).

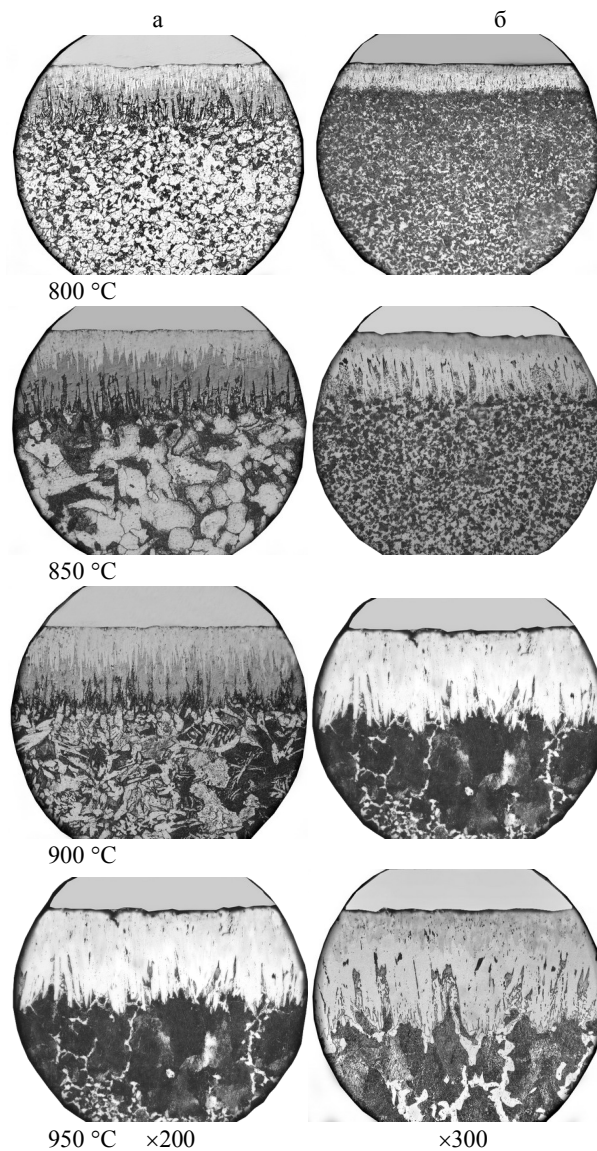


Рис. 1. Микроструктуры боридных слоев на стали 20:
 а – без предварительной обработки;
 б – предварительная карбонитрация

Повышение температуры борирования приводит к формированию в подборидной зоне крупных зерен перлита с ферритом по границам. Толщина перлитно-ферритной зоны составляет 200 мкм при 900 °С и 450 мкм при 950 °С. Микротвердость феррита – 1400 МПа, перлита – 2000–2300 МПа.

Результаты исследования микротвердости боридного слоя представлены в табл. 2 и на рис. 2. Как видно из приведенных данных, в зависимости от температуры борирования наблюдаются две закономерности изменения величины микротвердости по толщине боридного слоя. При 950 °С на границе фаз FeV, Fe₂V происходит скачкообразное изменение значений микротвердости до 3000 МПа.

Таблица 2

Изменение микротвердости по толщине боридного слоя в зависимости от вида обработки при температуре борирования 800 °С

Вид обработки	Микротвердость, МПа · 10 ⁻¹		Микротвердость под слоем, МПа · 10 ⁻¹
	FeV	Fe ₂ V	
Борирование	1260	780	150
Карбонитрация + борирование	1350	1370	200

В то же время при температурах борирования 850 и 900 °С имеет место плавное изменение микротвердости по толщине боридного слоя от поверхности к основе, отсутствует резкое различие на границе фаз между значениями микротвердости боридов FeV и Fe₂V, как при 950 °С.

Микротвердость FeV на карбонитрированных образцах выше микротвердости борида FeV, полученного без предварительной обработки для всех температур борирования, кроме 850 °С. С понижением температуры обработки микротвердость FeV уменьшается.

Значения микротвердости борида Fe₂V снижаются по толщине слоя до 12000 МПа на границе с основой при температуре борирования 900 °С (рис. 2б) для карбонитрированной стали и стали без предварительной обработки. При 950 °С снижение микротвердости до 11000 МПа (рис. 2в) происходит для борированной

стали без предварительной обработки. Для предварительно карбонитрированных образцов после борирования при 800; 850 и 950 °С микротвердость Fe₂V сохраняется постоянной до основы и достигает 13700 МПа (800 °С); 14200 МПа (850 °С) и 13600 МПа (950 °С). Таким образом, предварительная карбонитрация способствует стабилизации значений микротвердости Fe₂V на всем протяжении слоя и ее значения выше на 2000–3000 МПа по сравнению с образцами без предварительной обработки.

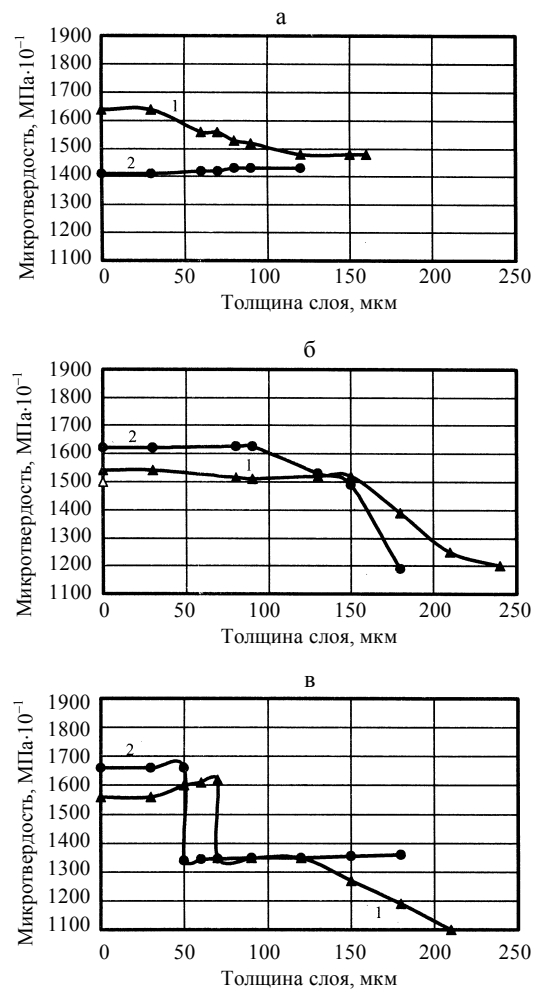


Рис. 2. Изменение микротвердости по толщине слоя в зависимости от вида обработки и температуры борирования: а – 850 °С; б – 900 °С; в – 950 °С; 1 – без предварительной обработки; 2 – предварительная карбонитрация

В табл. 3 представлены данные по хрупкости боридов FeV и Fe₂V для всех температур борирования. Из двух боридов борид FeV имеет наибольшую хрупкость. Максимальные значения суммарного балла хрупкости FeV от 18 до 34 зафиксированы в поверхностной зоне бо-

ридного слоя как для предварительно карбонитрированных образцов, так и борированных без предварительной обработки. Исключением является температура борирования 950 °С, где Z варьируется в пределах от 7 до 13.

Таблица 3

Изменение суммарного балла хрупкости в зависимости от температуры борирования и вида обработки

Температура борирования, °С	Вид обработки	Суммарный балл хрупкости Z			
		FeV		Fe ₂ V	
		У поверхности	На границе боридов	На границе боридов	На границе с основой
800	Б	33	–	–	32
	К + Б	34	–	–	0
850	Б	18	–	–	23
	К + Б	25	–	–	2
900	Б	25	30	16	12
	К + Б	22	13	4	8
950	Б	7	29	17	20
	К + Б	13	13	16	10

Примечание. Б – борирование; К + Б – карбонитрация + борирование.

В борированном слое на границе двух боридов также зафиксированы высокие значения суммарного балла хрупкости для образцов без предварительной обработки: 29–30 – для FeV; 16–17 – для Fe₂V. Предварительная карбонитрация уменьшает хрупкость на границе боридов и значения Z снижаются до 13 баллов для FeV и 4 баллов для Fe₂V.

Карбонитрация также значительно снижает хрупкость боридного слоя на границе с основой. Так, суммарный балл хрупкости боридного слоя, полученного без предварительной обработки, на границе с основой изменяется в интервале от 32 до 12 баллов в зависимости от температуры борирования. В то же время для предварительно карбонитрированного слоя суммарный балл хрупкости в этой зоне находится в пределах 0–10.

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность формирования двухфазных боридных слоев на предварительно карбонитрированной стали 20 толщиной от 70 до 190 мкм в зависимости от температуры борирования. Определено влияние карбонитрации на фазовый состав, строение и структуру борированного слоя на малоуглеродистой стали.

2. Установлены два типа закономерностей изменения микротвердости боридов FeV и Fe₂V по толщине боридного слоя в зависимости от температуры борирования стали 20. Предварительная карбонитрация повышает микротвердость боридов FeV и Fe₂V, изменяет характер распределения микротвердости боридов Fe₂V по слою, сохраняя ее значения вдоль слоя на одном уровне. Микротвердость боридов Fe₂V предварительно карбонитрированной стали на 2000–3000 МПа выше по сравнению с образцами без предварительной обработки.

3. Установлено, что предварительная карбонитрация уменьшает хрупкость боридов FeV и Fe₂V в середине слоя и приводит к значительному снижению хрупкости боридов Fe₂V на границе с основой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование стали / Л. Г. Ворошнин, Л. С. Ляхович. – М.: Metallurgy, 1978. – 239 с.
2. Лыгденев, Б. Д. Повышение износостойкости углеродистой феррито-перлитной стали / Б. Д. Лыгденев, И. Б. Обунеев, А. М. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2003. – № 3–4. – С. 105–107.
3. Иванов, А. С. Исследование двухслойных боридоцементованных покрытий на низкоуглеродистых мартенситных сталях / А. С. Иванов, А. П. Быкова // Физика металлов и материаловедение. – 2005. – Т. 100, № 1. – С. 57–64.
4. Баландин, Ю. А. Бороазотирование штамповых сталей / Ю. А. Баландин // МиТОМ. – 2004. – № 9. – С. 25–27.
5. Баландин, Ю. А. Комплексное насыщение стальных поверхностей бором, азотом и медью / Ю. А. Баландин // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – № 9. – С. 39–42.
6. Глазов, В. М. Микротвердость металлов / В. М. Глазов, В. Н. Вигдорович. – М.: Metallurgy, 1969. – 247 с.

Поступила 26.06.2011