

Н. Ф. НЕВАР, БГПА

## СВОЙСТВА СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БОРА

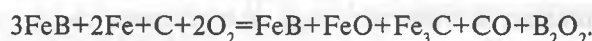
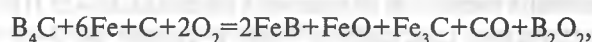
УДК 669.141.25

Решение проблемы повышения долговечности машин и оборудования в условиях интенсификации производства требует создания материалов с высокими эксплуатационными свойствами. Особенно актуальной является необходимость увеличения долговечности изделий из материалов на основе железа, работающих в условиях интенсивного изнашивания. Обычно это достигается введением в сплав карбидообразующих элементов. Однако возможности этого направления в значительной мере ограничены вследствие дефицитности таких легирующих элементов, как вольфрам, молибден, ванадий. Поэтому весьма перспективны поиски новых износостойких материалов на основе относительно недефицитных компонентов, с помощью которых сплав упрочняется не традиционными карбидными и интерметаллидными фазами, а, например, боридными, характеризующимися высокими показателями твердости, что обеспечивает и повышенную износостойкость изделий.

Известное содержание бора в конструкционных сталях относительно невелико (0,001—0,002%), что применительно к легированным сталям соответствует скорее понятию примеси, а не специальной добавки. Использование таких боросодержащих сталей положило начало учению о микролегировании сталей. Небольшие добавки бора вызывают значительное измельчение зерна, резкое увеличение прокаливаемости, повышение жаропрочности в результате упрочнения границ зерен боридными. Возрастают твердость и износостойкость, горячая пластичность слитков, улучшается свариваемость жаростойких аустенитных сталей. Наличие бора способно повышать критическую точку  $A_{C3}$ , причем чем ниже содержание углерода, тем сильнее влияние бора. На положение нижней критической точки  $A_{C1}$  бор особого влияния не оказывает. Присутствие бора в стали способствует увеличению скорости зарождения центров кристаллизации, уменьшению степени переохлаждения стали и повышает скорость ее затвердевания. Специфическое влияние бора на прокаливаемость связано с измельчением зерен. Однако следует отметить, что получение материалов с более высоким содержанием бора имеет некоторые специфические особенности. Существует ряд путей повышения свойств материалов с использованием боридных фаз.

*Is determined an optimal composition of a high content Br alloy with good technological and mechanical characteristics for its use in casting production.*

Одним из путей повышения свойств материалов является поверхностное упрочнение боридными фазами. При этом в поверхностном слое образуются бориды  $Fe_2B$  и  $FeB$ . Другой путь — увеличение температуры до уровня, при котором в системе железо—бор происходит образование жидкой фазы. Данному пути и было отдано предпочтение в работе для создания износостойкого материала, способного конкурировать с применяемыми в настоящее время высокохромистыми износостойкими сплавами типа ИЧХ, а также боридными покрытиями. При этом открывается возможность получения готовых изделий по литейной технологии. Расчеты в термодинамике химических реакций, проведенные для температур 1450—1650°C, показали возможность взаимодействия боросодержащих компонентов ( $B_4C$ , ФБ, В-металлический) и железа с образованием боридов:



На возможность образования железобористых сплавов указывают также и литературные данные [1—3]. При этом отмечается повышенная поверхностная активность бора и его сродство к кислороду. Последнее приводит к активному взаимодействию этих элементов, как следствие, выгорание бора в процессе плавки. Поэтому в основном получение сплавов с бором производится с применением защитных атмосфер, а также специально подготовленных исходных материалов в лабораторных условиях в небольших количествах.

Проведенные предварительные эксперименты дают основание избрать в качестве наиболее оптимального с точки зрения получения изделий процесс плавания. При этом предполагается получение сплава, обладающего высокой износостойкостью и твердостью, в тоже время сохраняющего достаточную пластичность. К достоинству данного метода можно отнести также и то, что существует возможность широкого воздействия на свойства получаемого материала путем легирования и модифицирования. В качестве шихты использовали боросодержащие компоненты ( $B_4C$  — карбид бора; ФБ — ферробор; В-кристаллический), а также техническое железо.

Анализируя результаты проведенных экспериментов, следует отметить, что наиболее важными моментами в процессе получения железобористых сплавов без использования вакуума и различных защитных сред является обеспечение условий, способствующих наиболее полному усвоению бора в момент введения его в расплав и достижения равномерного распределения вводимого компонента в расплаве.

Экспериментальные высокобористые материалы выплавляли в графитовой печи сопротивления. Заливку производили в графитовый кокиль, предварительно подогретый до 250–300 °С, в котором получали образцы размерами 12×12×60 мм. В расплав, содержащий 0,2–0,3 % С, до 0,3 % Si, до 0,6 % Mn, вводили боросодержащие компоненты. Раскисление проводили кремнием, марганцем, алюминием.

Полученные сплавы были исследованы на твердость, ударную вязкость, износостойкость и изгиб [4, 5]. Результаты исследования железобористых сплавов представлены в табл. 1.

Исследовали сплавы, в состав которых входило от 0,2 до 0,3 % углерода, 1–5 % бора. Содержание остальных элементов было следующее: Mn — до 0,6%, Si — 0,3, S и P — не более 0,05%. Приведенные данные свидетельствуют о том, что с ростом концентраций бора и углерода твердость сплавов возрастает (табл. 1). Следует отметить, что графические зависимости ее изменения носят нелинейный характер. При содержании бора до 1% в сплавах изучаемого диапазона концентраций углерода значения твердости находятся в пределах 25–35 HRC. Увеличение содержания бора в сплаве до 3–5 % приводит к значительному возрастанию твердости сплавов. При этом у сплавов с различным содержа-

нием углерода значения твердости находятся в диапазоне 55–66 HRC. Изменения микротвердости отдельных структурных составляющих показали, что с увеличением содержания бора в сплаве отмечается некоторое повышение как у твердого раствора, так и у эвтектической составляющей.

При испытаниях на ударную вязкость использовали образцы стандартных размеров без надреза. Ударная вязкость исследуемых сплавов понижается с увеличением содержания в них бора. При этом некоторое изменение количества углерода в сплаве существенного влияния на ударную вязкость не оказывает (табл. 1).

Испытания на износостойкость при сухом трении проводили по методике, описанной в [6]: давление — 10 МПа, скорость — 0,42 м/с, путь трения — 1 км. Увеличение содержания бора в сплаве приводит к повышению износостойкости, особенно заметному при содержании бора от 1 до 3 % и мало зависящему от содержания углерода. В этом интервале отмечается наиболее значительное изменение структуры материала, характеризующееся увеличением доли боридной и твердости матричной фаз. При содержании 3–4 % бора сплавы имеют эвтектическое строение с наиболее высоким уровнем износостойкости (табл. 1). С появлением в структуре сплава наряду с эвтектикой первичных выделений боридов заметного повышения износостойкости не наблюдается, а в отдельных случаях в контактных зонах появляются очаги хрупкого выкрашивания. При этом общий уровень износа несколько возрастает.

Таким образом, наличие в структуре сплава крупных высокопрочных первичных боридов железа отрицательно влияет на сопротивление хрупкому

Таблица 1. Влияние бора и углерода на свойства сплава

Содержание элементов, %		HRC	$a$ , кДж/м <sup>2</sup>	$K_{10^{-2}}$ , г/см <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{н}}$ МПа
B	C				
1	0,2	25	92	14	2500
2	0,2	35	60	7,1	2190
3	0,2	43	38	7	1890
4	0,2	47	32	5,8	1810
5	0,2	55	25	5,2	1760
1	0,3	29	79	9,8	2480
2	0,3	38	49	6,9	2080
3	0,3	46	30	5,8	1880
4	0,3	53	20	4,9	1780
5	0,3	58	21	4,2	1720
1	0,4	33	72	9	2200
2	0,4	42	32	6,2	2000
3	0,4	49	19	5	1780
4	0,4	58	19	4,2	1700
5	0,4	62	16	4	1680
1	0,5	35	52	7,8	2300
2	0,5	44	20	5,3	1920
3	0,5	53	12	4,8	1700
4	0,5	60	11	3,6	1690
5	0,5	66	13	3,5	1620

Таблица 2. Влияние состава сплава на жидкотекучесть

Состав бористых сплавов на основе железа, %	Жидкотекучесть, мм, при $T$ , °C		
	1450	1500	1550
0,2 С, 0,3 Si, 0,6 Mn, 1 В	860	870	885
0,2 С, 0,3 Si, 0,6 Mn, 2 В	850	865	880
0,2 С, 0,3 Si, 0,6 Mn, 3 В	855	860	875
0,2 С, 0,3 Si, 0,6 Mn, 4 В	840	850	870

разрушению контактной поверхности. Однако при более легких режимах испытаний (давление, скорость) износостойкость заэвтектического высокобористого материала существенно повышается. В этом случае бориды являются высокотвердыми частицами, препятствующими уносу материала с поверхности трения. Таким образом, стабильное повышение износостойкости образцов из исследуемых сплавов имеет место при содержании в них бора в пределах 2–4 %. При этом содержание углерода в сплаве не имеет решающего значения.

Представляют интерес сведения по износостойкости высокобористых сплавов в условиях абразивного изнашивания (в качестве контртела использован абразивный диск из вулканита). Анализ полученных данных показывает, что характер изменения износостойкости в зависимости от содержания бора остается таким же, что и в случае испытаний при трении в паре металл–металл.

В связи с тем что исследуемые сплавы отличаются высокими твердостью и хрупкостью, особый интерес представляют испытания на изгиб. Значения предела прочности на изгиб в зависимости от состава сплава приведены в табл. 1. С увеличением количества бора в исследуемых материалах эта характеристика изменяется. Однако при содержании 3,5–4,0% бора интенсивность снижения прочности на изгиб уменьшается. Изменение же содержания углерода от 0,2 до 0,5% при концентрации марганца и кремния соответственно 0,4–0,6 и 0,15–0,3 % практически не влияет на данную характеристику.

В работе изучена также такая важная технологическая характеристика литых сплавов, как жидкотекучесть. Существуют различные способы ее оцен-

ки. В описываемом случае применялась методика, предусматривающая заливку металла в спиральный канал. Результаты экспериментов представлены в табл. 2. Из таблицы следует, что влияние бора на жидкотекучесть сплавов рассматриваемых составов неоднозначно. Увеличение содержания бора приводит к снижению жидкотекучести исследуемых сплавов. Оно наблюдается уже при концентрации, начиная с 2,5 %, что, по-видимому, связано с изменением значений критических температур. По значениям этой характеристики высокобористые материалы по уровню жидкотекучести, по-видимому, сравнимы с таким широко применяемым материалом, как чугуны.

На основании полученных результатов определен оптимальный состав высокобористого сплава, обладающего высокими технологическими и механическими характеристиками, позволяющими использовать его для получения литых изделий, работающих в абразивных средах без значительных динамических нагрузок.

### Литература

1. Лякишев Н. П., Плинер Ю. Л., Лаппо С. И. Боро-содержащие стали и сплавы. М., 1986.
2. Спиридонова И. М. // Металловедение и термическая обработка металлов. 1984. № 2. С. 58.
3. Фомичев О. М., Жлукменко В. Ф., Камков В. Ф., Спиридонова И. М. // Журн. физ. химии. 1971. Т. 14. Вып. 10. С. 2688.
4. Глазков В. М., Вигдарович В. Н. Микротвердость металлов и полупроводников. М., 1969.
5. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. М., 1976.
6. Бельский Е. И. Стойкость кузнечных штампов. Мн., 1974.