

## Литейное материаловедение, специальные способы литья

*It is determined that alloying by silicon of boron-containing alloy increases its tribotechnical characteristics.*

Н. Ф. НЕВАР, Д. ЧИРУН, БНТУ, Г. В. ПАВЛОВИЧ, УПП «Универсал-Лит»

УДК 669.141.25

### ВЛИЯНИЕ Mn, Si, Al НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТОГО БОРСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА

Проблемы трения, износа и смазки в машинах изучает наука трибология. Современная наука трибология изучает трение, износ, смазку в процессе взаимодействия контактирующих поверхностей при их взаимном перемещении. Она охватывает теоретические и экспериментальные исследования физических, химических, биологических и других явлений, связанных с трением.

Одной из важнейших проблем трибологии является проблема повышения износостойкости конструкционных материалов, составляющих трибосоприжения и узлы трения, именно поэтому наряду с улучшением антифрикционных характеристик снижение износа относится к приоритетным инженерным задачам.

Трибология – одна из самых молодых наук. В ближайшее время следует ожидать, что современное представление по ряду проблем будет дополняться и корректироваться, например, из классической науки технологии машиностроения в последние годы сформировался раздел триботехнология, из дисциплин материаловедение и конструкционные материалы – трибоматериаловедение.

В качестве исходного материала для проведения исследований использовали сплав с содержанием основных компонентов в следующих количествах: 2,2–2,5% бора; 0,2–0,25% углерода [1]. Такой состав сплава обладает необходимым для трибосоприжений набором свойств. Также при таком содержании основных компонентов существует возможность активного воздействия на структуру и свойства. Одним из наиболее эффективных методов улучшения структуры, а следовательно, и свойств сплавов, является их легирование и модифицирование [2, 3]. В работе исследовали влияние таких элементов, как Mn, Si, Al на структуру и триботех-

нические характеристики литого борсодержащего материала. В определенных количествах указанные элементы входят в состав различных сплавов.

Для раскисления и легирования получаемых железобористых материалов применяли силико-марганец, ферромарганец, ферросилиций, а также алюминий. Для установления характера влияния Mn, Si, Al на структуру и свойства высокобористого материала их введение осуществляли в количествах, обеспечивающих остаточное содержание их в сплаве до 1,2 %.

Легирующие элементы вводили в расплав перед внесением борсодержащей добавки. Как показали результаты проведенных экспериментов, марганец начинает проявлять свое воздействие на структуру и, как следствие, на свойства сплава при содержании его 0,4% и выше. В настоящей работе верхний предел содержания данного компонента был 1,2%. Как показали результаты исследований, в данном промежутке содержания марганца наблюдается рост значений твердости. Наиболее активно проявляется его действие на исследуемые свойства начиная при 0,6% Mn. При исследуемых содержаниях марганца и увеличении его содержания до 1% в структуре отмечается увеличение количества перлитной составляющей, что и сказывается на повышении твердости.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1. Показано влияние Mn, Al, Si на твердость и ударную вязкость. Из рисунка видно, что Mn начинает проявлять свое действие на исследуемые свойства сплава при содержаниях его 0,4–0,6%. В этом промежутке наблюдается рост значений твердости и ударной вязкости.

Кремний, как известно, принадлежит к группе элементов, которые сужают область существова-

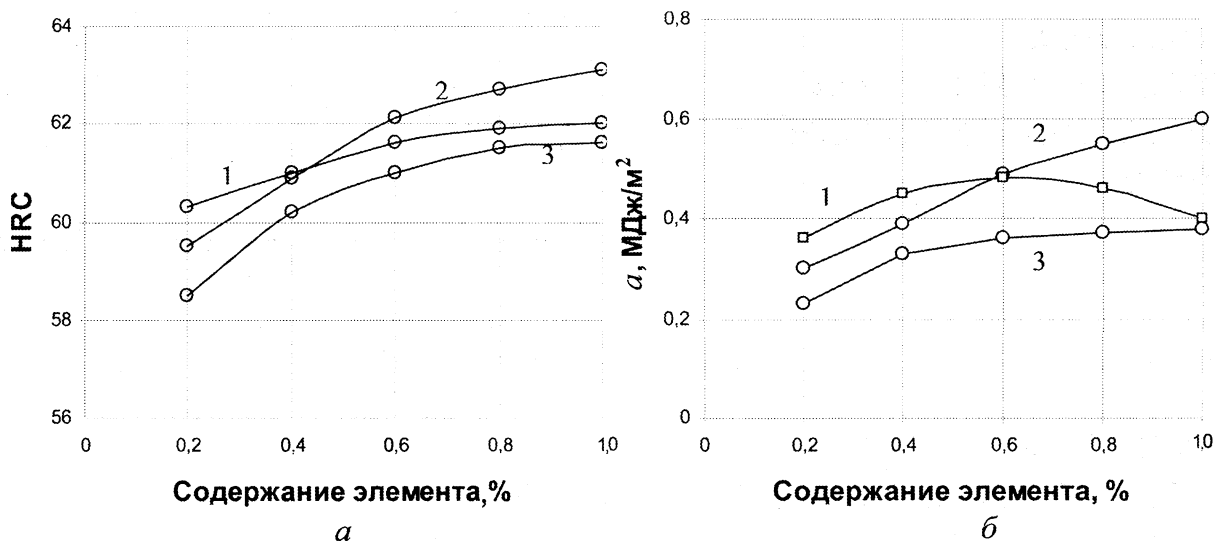


Рис. 1. Влияние легирующих добавок на твердость (а) и ударную вязкость (б) высокобористого сплава: 1 – Al; 2 – Si; 3 – Mn

ния  $\gamma$ -железа. Согласно диаграмме состояния Fe – Si, область  $\gamma$ -железа замыкается при 1,7% данного элемента. Результаты влияния кремния на свойства сплава приведены на рисунках. С увеличением содержания Si характер структуры практически не меняется. Сохраняются строение и форма зерен  $\alpha$ -твердого раствора. Кремний, растворяясь в феррите, повышает его твердость и одновременно пластичность. Однако при увеличении содержания кремния до 1% такое свойство как ударная вязкость снижается.

Введение алюминия в качестве легирующего элемента приводит к существенным изменениям свойств и структуры борсодержащего сплава. При низких количествах вводимого в сплав алюминия (до 0,3%) его влияние как легирующего элемента перекрывается гораздо более сильным воздействием как раскислителя и дезазотизатора.

Учитывая данное обстоятельство, в работе было проведено исследование влияния Al на структуру и свойства сплава в количествах до 1,2%. Алюминий, как и кремний, сильно сокращает область существования  $\gamma$ -железа. При введении его в расплав в количествах, превышающих действие данного компонента как раскислителя, отмечается измельчение структурных составляющих. При этом она характеризуется ферритным и ферритно-перлитным строением. В структуре отмечается наличие мелких зерен  $\alpha$ -твердого раствора, окруженного боридной эвтектикой. Изменение структуры при введении алюминия свыше 0,3% можно связать с образованием труднорастворимого нитрида алюминия. Последний, адсорбируясь на поверхности зерен, сдерживает их рост.

Также положительное влияние алюминия выражается в уменьшении дендритной ликвации

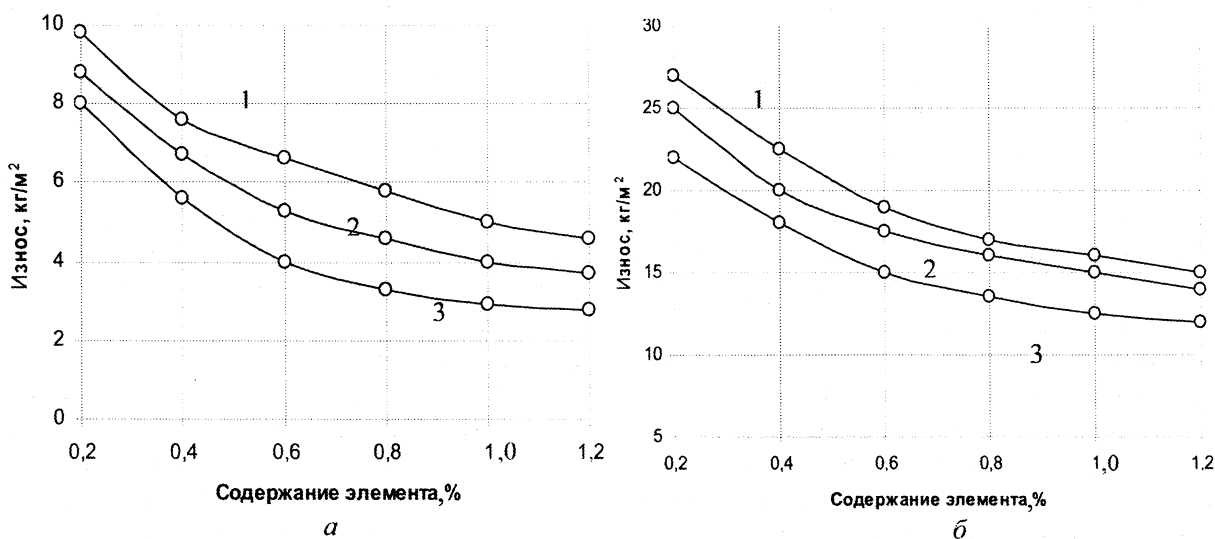


Рис. 2. Зависимость износостойкости высокобористого сплава от вводимого элемента: 1 – Mn; 2 – Al; 3 – Si; а – контрольно сталь 25ХГТ; б – контрольно – вулканит. Содержание бора в сплаве 3%

и выравнивании состава материала. Как результат, повышенная ударная вязкость образцов.

Результаты испытаний на износостойкость высокобористых материалов приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что износ образцов высокобористых материалов, выплавленных с введением в их состав алюминия, марганца, кремния, понижается при увеличении содержания данных лигатур. Так, увеличение содержания кремния от 0,2 до 1,2% снижает износ сплава с 8 до 2,5 кг/м<sup>2</sup>.

Влияние марганца и алюминия носит тот же характер, хотя и менее существенно. Повышенное сопротивление истиранию сплавов, легированных кремнием, можно связать с дополнительным упрочнением  $\alpha$ -твердого раствора.

Износостойкость высокобористых сплавов, испытанных в условиях трения в контакте с абразивным диском, приведена на рис. 2, б. Микроанализ поверхностей трения высокобористых сплавов, легированных Al, Si, Mn, показывает, что в случае трения в паре металл–металл преобладает окислительный износ. Наиболее характерен данный вид износа для образцов из сплавов, легированных

кремнием. В случае испытаний высокобористых сплавов в паре металл–абразив преобладающим видом является абразивный износ. Следует отметить, что в случае легирования кремнием (свыше 0,6) наряду с абразивным износом отмечается наличие окислительного износа. Данный характер износа связан со свойствами кремния как легирующего элемента.

### Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что легирование кремнием борсодержащего сплава значительно повышает его триботехнические характеристики. При этом стоимость полученного материала значительно ниже, чем традиционно применяемых высоколегированных сплавов с такими же характеристиками. Показано, что оптимальное содержание элементов для сплавов приведенного состава составляет 0,8–1% Al; 0,6–0,8% Mn; 0,4–0,6% Si. При этом введение в сплав марганца и алюминия улучшает структуру, а алюминий повышает свойства сплава в комплексе.

### Литература

1. Невар Н. Ф. Свойства сплавов с повышенным содержанием бора // *Литье и металлургия*. 2000. № 2. С. 15–17.
2. Меськин В. С. Основы легирования стали. М.: Металлургия, 1964.
3. Браун М. П. Микролегирование стали. Киев: Наукова думка, 1982.