

The aim of the present investigation is development of new cast alloys, strengthened by boride phases due to volume alloying by boron for increase of durability of products working in contact with abrasive or hydroabrasive environment, and also of technology of their production.

Н. Ф. НЕВАР, Ю. Н. ФАСЕВИЧ, Белорусский национальный технический университет,
В. М. СЕНЬКОВ, Г. В. ПАВЛОВИЧ, УПП «Универсал-Лит»

УДК 621.141.25

БОРСОДЕРЖАЩИЙ СПЛАВ, ЕГО СВОЙСТВА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

В настоящее время в Республике Беларусь важнейшими задачами, стоящими перед металлургическими и машиностроительными отраслями промышленности, считаются повышение качества и создание конкурентоспособной продукции.

В результате того, что применяемые материалы зачастую не обеспечивают требуемых показателей качества, изделия при постоянном контакте с абразивной или гидроабразивной средой, сопряженной с ударными воздействиями, выходят из строя (долговечность). На сегодняшний день применяемые износостойкие материалы уже достигли своего предела легированности. Большое количество дорогостоящих компонентов, вводимых в качестве легирующих и модифицирующих комплексов, приводит к удорожанию получаемых отливок, что в свою очередь сказывается на цене выпускаемой промышленностью продукции. В связи с этим представляет несомненный интерес создание новых литых износостойких материалов на основе относительно дефицитных компонентов, с помощью которых можно достичь повышения эксплуатационных характеристик и соответственно повышения долговечности изделий, используя при этом не традиционные карбидные и интерметаллидные фазы, а характеризующиеся высокой твердостью и износостойкостью бориды (боридные фазы).

Цель настоящего исследования — разработка новых литых сплавов, упрочненных боридными фазами за счет объемного легирования бором для повышения долговечности изделий, работающих в контакте с абразивной или гидроабразивной средой, сопряженной с ударными воздействиями, а также технологии их изготовления.

В процессе работы были проработаны теоретические аспекты использования данных материалов. На основе этого выявлены закономерности, которые бы позволили, не меняя в корне существующие литейные технологии, получить такие сплавы.

Акцепторные свойства бора обуславливают образование его наиболее прочных и тугоплавких соединений с элементами-донорами. Высокие акцепторные свойства бора вызывают образование ковалентных связей между его атомами не только в элементарном боре, но и в боридах. Все это приводит к образованию структурных элементов из атомов бора. Данные соединения тем сложнее, чем меньше количество атомов металла-партнера принимает участие в образовании связей В-В.

Данные свойства бора, а также сродство его к углероду объясняют интерес исследователей. Согласно диаграмме Fe — В, бор образует в основном два борида — Fe_2B и FeB . Низший борид Fe_2B формируется при содержании 8,83% В (33,33 ат.%). Приведенные исследования показывают влияние бора на структуру и свойства литых материалов с высоким содержанием бора. Установлено, что наиболее важными моментами получения сплавов с бором без использования вакуума и защитных сред является обеспечение условий, которые способствуют наиболее полному усвоению бора в момент введения его в расплав за счет минимального выгорания и достижения равномерного распределения вводимого компонента.

Как показывают расчеты по термодинамике химических реакций [1] и экспериментальные данные, при введении в расплав борсодержащего компонента происходят диффузионные процессы, связанные с взаимодействием бора с кислородом. В результате происходящей диффузии при высокотемпературном взаимодействии в составе получаемого расплава происходит образование таких фаз, как твердый раствор внедрения бора в α - и γ -железо, боридных соединений (FeB и Fe_2B), а также цементитной фазы типа $Fe_3(C, B)$, в которой, согласно проведенным исследованиям и литературным данным [2, 3], бор замещает до 80% углерода.

Проведенные микро- и рентгеноструктурный, а также химический анализы подтверждают наличие боридных фаз в структуре получаемого мате-

риала. Микроструктуры получаемых сплавов в зависимости от количества вводимого компонента приведены на рис. 1, а–г.

Как видно из представленных фотографий, в зависимости от количества и вида вводимого бора морфология структуры претерпевает существенные изменения. Так, при содержании бора 0,5–1,0% структура материала представляет собой зерна феррита, по границам которых отдельными локально-ограниченными участками располагаются включения боридной эвтектики (рис. 1, а). Дальнейшее повышение содержания количества вводимого бора (1,0–2,5%) приводит к увеличению содержания боридных фаз в сплаве. Согласно рис. 1, б, происходит увеличение площади участков, содержащих боридные соединения, и смыкание их между собой. При этом наблюдается характерная для литого материала дендритная структура. Следует отметить, что с увеличением количества вводимого бора в структуре расплава образуются составляющие перлитного строения. Рентгеноструктурный анализ сплавов указанных составов отмечает наличие в них бороцементита. Образование данной структурной составляющей, скорее всего, можно связать с оттеснением углерода из зон, занимаемых боридной эвтектикой, и ростом его концентрации в твердой фазе.

Дальнейшее увеличение количества вводимого в расплав бора (2,5–4,0%) приводит к образованию структуры преимущественно эвтектического строения ледебуритного характера, состоящей из бороцементитной фазы $Fe_3(CB)$ и боридных фаз. Эвтектика в ряде случаев имеет перистый вид (согласно классификации [4]), а в местах стыка – характерную ячеистую или сотовую структуру (рис. 2).

При содержании в расплаве более 4% бора происходит формирование структуры эвтектического характера, в составе которой наряду с боридной эвтектикой наблюдается первичное выделение низкобористой фазы Fe_2B в виде вытянутых прямоугольников (рис. 1, г, 2, в).

Проведенные исследования позволяют говорить о том, что в доэвтектических и заэвтекти-

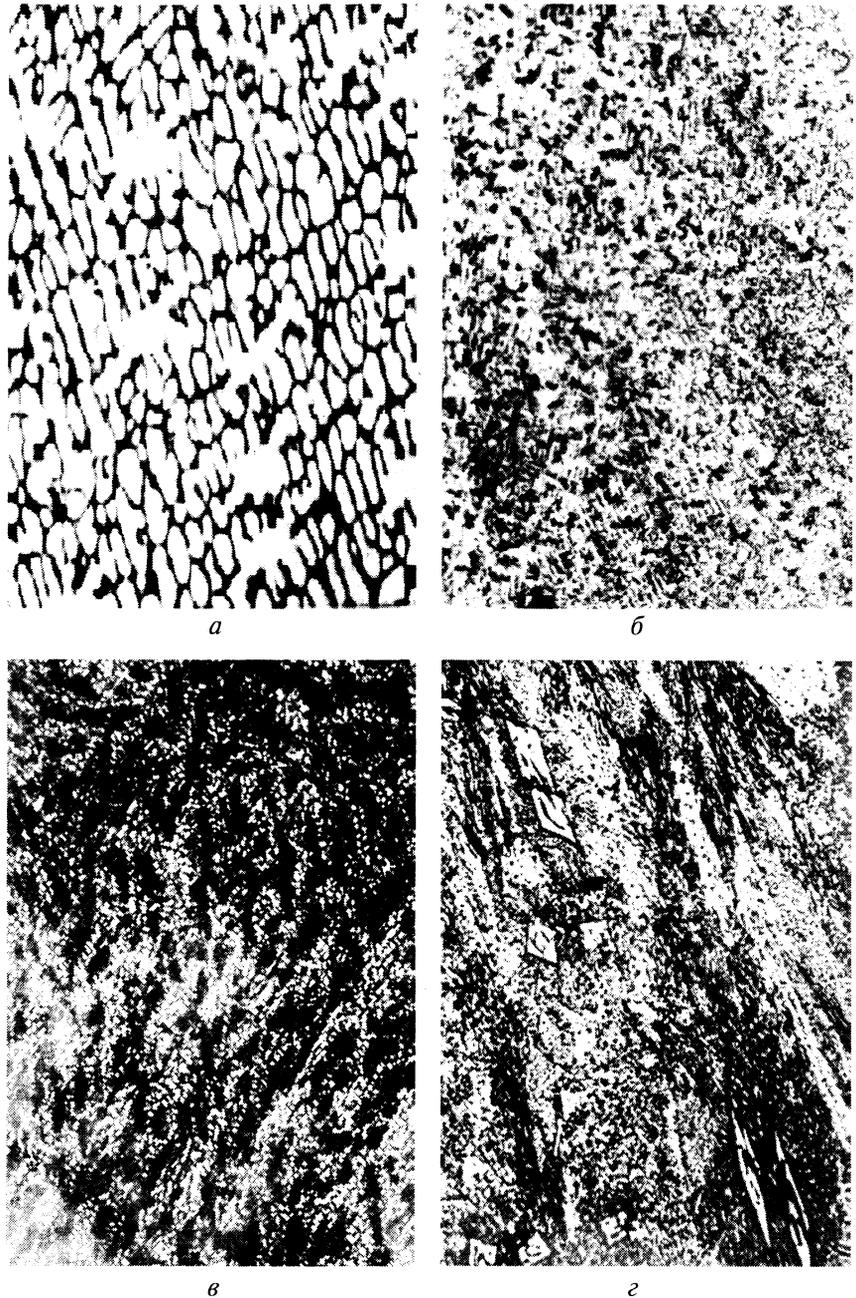
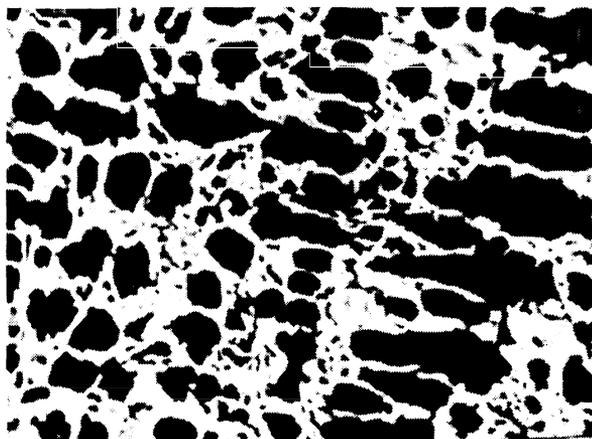


Рис. 1. Микроструктуры сплава в зависимости от содержания бора: а – 1% В; б – 2% В; в – 3% В; г – 4% В. x200

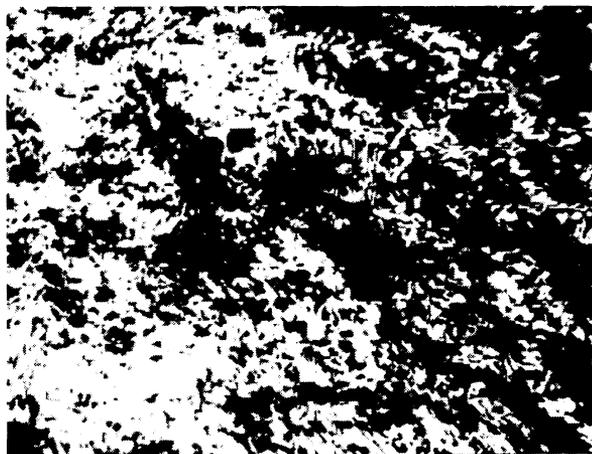
ческих сплавах, эвтектика, окружающая первичные выделения, имеет преимущественно пластинчатое строение.

Изменение характера эвтектического строения в местах стыка локальных участков эвтектик можно объяснить за счет выделения тепла кристаллизации, локального нарушения правильности теплоотвода, уменьшения степени переохлаждения расплава в зоне стыка и скорости кристаллизации.

При введении в расплав бора свыше 4% в его структуре отмечается появление отдельных кристаллитных соединений типа FeB (рис. 2). Цветное травление образцов и рентгено-структурный анализ показали, что при содержаниях данного количества бора в расплаве подтверждается наличие высокобористой фазы FeB .



а



б



в

Рис. 2. Микроструктуры эвтектической составляющей сплава в зависимости от содержания бора: а – 4%B; б – 8%B; в – 10%B. $\times 500$

Установлено, что с увеличением количества вводимого бора повышается твердость материала (рис. 3). Следует отметить, что увеличение твердости в зависимости от количества вводимого бора носит нелинейный характер. Основным фактором повышения твердости является увеличение в составе материала боридных фаз. Так, содержание в составе сплава 0,5–1,0% бора приводит к получению материала, твердость которого составляет 30 HRC. Увеличение содержания бора до

2,5% приводит к повышению твердости до 50 HRC. Данный фактор связан со структурными изменениями, которые имеют место в образовавшемся расплаве. Это объясняется тем, что образование высокобористой фазы при более высоких содержаниях бора изменяет структуру расплава.

Приведенные исследования микротвердости фаз, входящих в состав исследуемого материала, показывают, что увеличение количества вводимого бора приводит к росту микротвердости (или его составляющих) получаемого материала.

Если при малых количествах содержания бора (0,5–1,0%) микротвердость α -твердого раствора составляет 1000–1500 МПа, то при увеличении его количества до 2,0–2,5% микротвердость металлической составляющей возрастает до 4000–7000 МПа. Данный рост микротвердости, по всей видимости, связан с перераспределением бора и углерода в матрице металла.

В работе также была исследована микротвердость боридной эвтектики, входящей в состав сплава. Так, при содержании бора 0,5–1,0% микротвердость эвтектической составляющей колеблется в пределах 2500–5500 МПа.

В дальнейшем с увеличением содержания бора до 2% происходит рост значений микротвердости (до 8000 МПа). Такое увеличение характеристики боридной эвтектики связано с качественными изменениями железоуглеродистой фазы, на основе которой происходит формирование боридной эвтектики. При дальнейшем увеличении содержания бора (до 5%) микротвердость боридной составляющей повышается не столь значительно. Рассмотренные значения изменения микротвердости можно связать с качественными изменениями, которые происходят с железоуглеродистой фазой, на основе которой происходит формирование боридной эвтектики. При дальнейшем увеличении содержания бора (до 5%) микротвердость боридной составляющей повышается не столь значительно. Рассмотренные значения изменения микротвердости можно связать с качественными изменениями, которые происходят с железоуглеродистой фазой, на основе которой формируется боридная эвтектика.

Результаты выполненных экспериментов на ударную вязкость показаны на рис. 3. Установлено, что ударная вязкость исследуемых сплавов понижается с увеличением вводимого в сплав бора, причем наиболее заметно при содержании в пределах 1,2–4,0%. Если при малых количествах содержания бора (0,8–2,5%) ударная вязкость составляет 100–50 КДж/м², то при дальнейшем увеличении вводимого бора исследуемая характеристика понижается. Так, при содержании бора в составе сплава в количествах 4,5–6,0% ударная вязкость составляет 30–15 КДж/м². Такое резкое падение значений ударной вязкости можно объяснить структурным фактором. Именно в этом

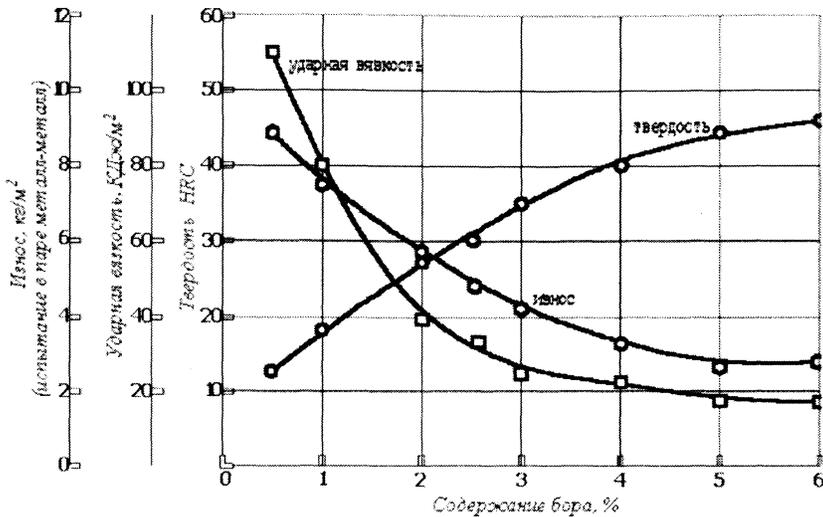


Рис. 3. Влияние содержания бора на свойства сплавов

промежутке в сплавах с содержанием бора 4,5–6,0% в структуре присутствует эвтектика, доля которой увеличивается с повышением содержания бора. Располагаясь по границам зерен α -твердого раствора, она образует прочный и непрерывный каркас.

Исследования износостойкости образцов показали, что повышение содержания в сплаве бора приводит к увеличению износостойкости (рис. 3). Данная тенденция особенно заметно проявляется при содержаниях бора в интервале 1,5–3,8%. В этом промежутке концентраций бора имеют место наиболее значительные изменения в структуре, характеризующиеся увеличением количества боридной эвтектики, и повышение твердости α -фазы. При содержаниях в сплаве бора 3–4% увеличивается количество эвтектической составляющей. Результатом является повышение износостойкости.

При более мягких условиях испытания ($P=5$ МПа, $v=0,42$ м/с) в отсутствие динамических нагрузок износостойкость заэвтектических борсодержащих сплавов (3,8–5,7% В) повышается по сравнению с доэвтектическими (0,5–3,8% В). В этом случае образующиеся бориды выступают в роле частиц, армирующих сплав, препятствуя уносу материала с поверхности трения.

Наряду с проведенными испытаниями в паре металл–металл представляют интерес данные по износостойкости экспериментальных сплавов, полученные в условиях абразивного изнашивания при параметрах испытаний, аналогичных ранее приведенным. В качестве контртела в данном случае использовался абразивный диск из вулканита. Анализ экспериментов показывает, что износ сплава в случае их контакта с абразивом возрастает.

При этом следует отметить, что характер изменения значений износостойкости исследуемых сплавов в зависимости от использования в качестве шихты карбида бора и ферробора практически имеет одинаковый вид, как и в случае испытаний в контакте с металлическим контртелом.

Достижение таких эксплуатационных характеристик происходит за счет структурных изменений при проведении процессов легирования и модифицирования рядом борсодержащих элементов или их соединений. При этом главной особенностью технологии получения таких литых сплавов является возможность применения их для широкого ассортимента изделий, работающих при самых различных режимах эксплуатации.

Как следует из анализа работы изделий и агрегатов, работающих в различного рода абразивных и гидроабразивных средах, выход их из строя происходит вследствие нару-

шения геометрических параметров изделий. Изучение данного явления показывает, что частицы абразива, взаимодействуя с поверхностью литого изделия, вызывают появление на поверхности контакта дефектов, которые изменяют геометрические параметры и соответственно нарушают целостность поверхности контакта. Создание в структуре таких составляющих, как карборид $Fe_3(C_{0,2}B_{0,8})$, и бориды Fe_2B , FeB в различных комбинациях, приводит к получению износостойкого материала с высокой твердостью (HRC 58–64), износостойкостью и достаточной ударной вязкостью.

К таким изделиям можно отнести лопатки дробеметных аппаратов для очистки литья (рис. 4), ковши пескометных агрегатов (рис. 5), комплекующие грунтовых насосов (рис. 6), используемых практически во всех отраслях промышленности республики, винты насосных агрегатов для подачи различного рода строительных материалов (рис. 7), различного рода навесное оборудование, используемое в сельском хозяйстве. Для развития области применения данного материала ведутся работы по созданию режущего инструмента для агрегатов горнодобывающей отрасли.

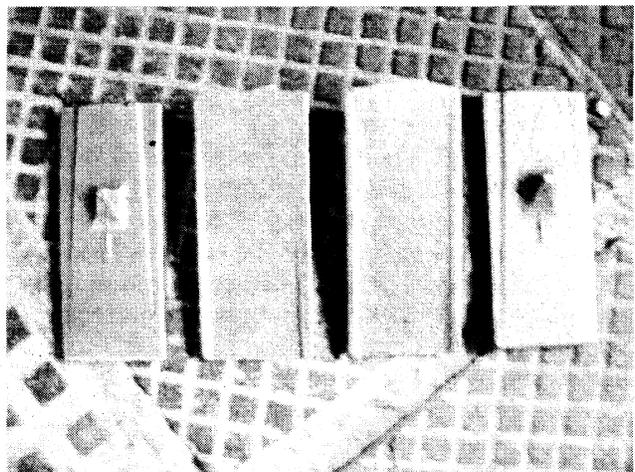


Рис. 4. Лопасть турбины дробеметного аппарата после проведения очистки в галтовочном барабане



Рис. 5. Ковш для пескоструйных агрегатов

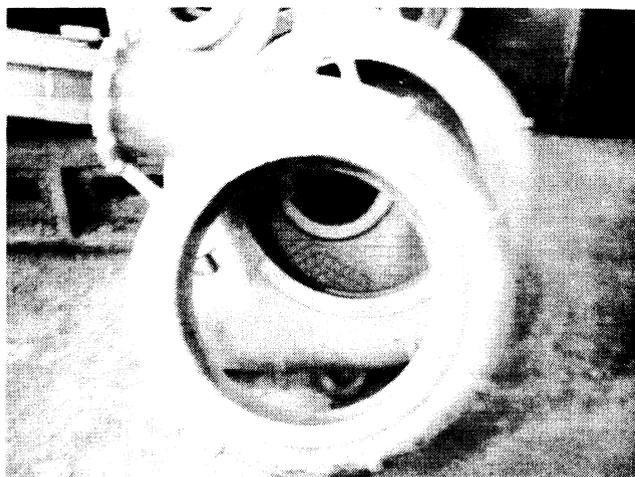


Рис. 6. Улитка корпуса насоса после обработки в дробеструйной камере

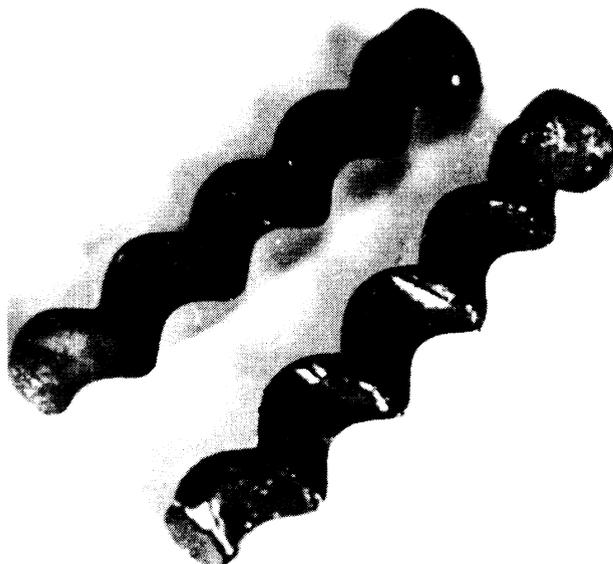


Рис. 7. Винты насосных агрегатов

Литература

1. Невар Н.Ф., Фасевич Ю.Н., Хина Б.Б. Термодинамическое моделирование равновесного фазового состава литого борсодержащего сплава // *Литье и металлургия*. 2005. №1. С. 96–99.
2. Kunst H., Schaaber O. *Harterei Technische Mitteilungen* 1967. В. 22 H.1.S. 87–93.
3. Лашко Н.Ф. Исследование по жаропрочным сплавам. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Вып. 7. С. 83.
4. Таран Ю.М., Мазур В.Н. Структура эвтектических сплавов. М.: Металлургия, 1978.