



It is shown that for improvement of physical and chemical properties of cast products, exploited in conditions of intensive contact with the abrasive environment, boron carbide of great interest.

Н. Ф. НЕВАР, Д. М. КУКУЙ, БНТУ

УДК 621.74

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРБИДА БОРА

Введение

Во многих отраслях промышленного производства широко используются литые изделия со специальным набором эксплуатационных характеристик. Так, при разработке твердых пород необходим инструмент или агрегат, способный эффективно работать и при этом активно противостоять абразивному износу, сопряженному с наличием резких знакопеременных нагрузок. В ряде случаев рабочей средой может быть гидроабразивный конгломерат или смесь, воздействующие на агрегат или инструмент с достаточно высокой скоростью. Следует отметить также значительное влияние на выход изделий или деталей из строя и такого фактора, как кавитационное воздействие. Данный вид износа характерен для изделий, эксплуатирующихся в жидких средах различной химической активности и турбулентности. Все это вызвало определенный интерес к разработкам технологий и материалов, с помощью которых можно повысить эксплуатационный ресурс либо изделий, либо отдельных деталей. Для достижения положительных результатов при сложных триботехнических условиях эксплуатации необходимо решить задачу об определении оптимального технологического процесса, применение которого позволило бы с наибольшей эффективностью решить вопрос по получении таких изделий.

Как известно, в практическом машиностроении существует масса технологий, материалов и способов изготовления изделий, эксплуатация которых сопряжена со сложными триботехническими воздействиями, а в ряде случаев сопряженными с гидравлическими и температурно-химическими факторами. В зависимости от условий задача повышения эксплуатационных характеристик литых изделий может решаться с применением

различных методов и технологических процессов. Отливки среди всех видов заготовок по-прежнему занимают доминирующее положение. Быстроменяющаяся ситуация на мировом рынке требует непрерывного совершенствования качественных характеристик производимой продукции. Это в свою очередь требует создания материалов для изготовления изделий, обладающих более совершенными физико-механическими характеристиками, эксплуатационными и эстетическими параметрами. Создание материалов на основе нетрадиционных компонентов с содержанием бора позволяет варьировать составом и изготавливать изделия для эксплуатации в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного износа, сопряженного с ударными воздействиями.

Следует отметить, что существует значительное количество машин, систем и механизмов, работающих в условиях интенсивного истирания. Причем требования к ним по качеству постоянно возрастают. Для повышения интенсификации производства необходимо применение новых нетрадиционных материалов, позволяющих решать задачи современного производства. Возникает необходимость в создании новых материалов для удовлетворения возрастающих требований современных технологий. Такие материалы должны обладать специфическими свойствами, от которых зависят эксплуатационные возможности литых изделий. Следует также при этом решить вопрос о технологичности предлагаемых решений, позволяющих без кардинального изменения существующей на предприятии технологии производить внедрение новых материалов. Механические и эксплуатационные свойства литых изделий структурно-чувствительны. Они не только определяются силами взаимодействия атомов различных

элементов в твердом растворе, между матрицей и фазами выделения, но и существенным образом зависят от физической, химической и структурной неоднородности литья. Дальнейшее повышение качества отливок связано с разработкой эффективных мероприятий по управлению процессами формирования различных видов неоднородности металла в отливках, причем не только при первичной кристаллизации, но и при перекристаллизации в твердом состоянии, при их термической обработке и последующем охлаждении.

Такой комплексный подход необходим в связи с тем, что любое физическое или химическое воздействие на процесс формирования первичной структуры неизбежно будет влиять на формирование вторичной структуры. В общем случае закономерности этого влияния могут не совпадать, т. е. приводить как к положительным, так и отрицательным явлениям. При таком подходе с применением достаточно широкого спектра имеющихся в настоящее время методов воздействия на микро- и макроструктуру отливки можно получить практически любое по сложности и качеству изделие. Как известно, для решения задачи повышения эксплуатационных характеристик литых изделий необходимо оказать определенное воздействие как на структуру и соответственно свойства матрицы литого изделия, так и на аналогичные факторы его поверхностного слоя. Одним из ряда характерных легирующих элементов, позволяющим достичь желаемого результата, является бор. Исходя из накопленного экспериментального и полученного в результате производственных испытаний материала, был сделан вывод о необходимости придания структуре матрицы литых изделий, эксплуатирующихся в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного износа, сопряженного с ударным воздействием инвертированного характера, т. е. она должна формироваться согласно принципу Шарпи. Это значит, что в относительно мягкой матрице должны быть равномерно распределены твердые частицы. Такими свойствами обладают литые изделия, имеющие матрицу, в составе которой отмечается наличие эвтектической основы и боридной, карбидной, карбоборидной или иного более сложного состава фазы.

Одним из методов улучшения эксплуатационных характеристик является поверхностное упрочнение литых изделий из черных сплавов боридными фазами. Борирование поверхности изделий – надежное средство повышения эффективности использования материалов, из которых эти изделия изготовлены. Вследствие высоких показателей твердости, износостойкости, жаропрочности, стой-

кости в ряде агрессивных сред борированных покрытий во многих случаях детали, эксплуатирующиеся в сложных гидроабразивных условиях, можно изготавливать не из дорогостоящих высоколегированных сплавов, а из низко- и среднеуглеродистых сталей или нелегированных чугунов, подвергая их поверхностному диффузионному насыщению. Так, в результате борирования деталей из стали Ст3 повышается их износостойкость в гидроабразивной среде более чем в 20 раз [1]. Аналогичные результаты отмечаются и при поверхностном насыщении чугунов [2].

Анализ испытаний борированных сталей 12ХН2, 40Х, 30ХГСА на ударно-абразивный износ показал, что износостойкость борированных образцов в среднем на 60% выше, чем цементованных образцов из тех же сталей. Эти данные позволяют рекомендовать борирование в качестве метода упрочнения поверхности изделий, эксплуатирующихся в жестких триботехнических условиях. Высокая износостойкость борированных сталей и сохранение поверхностной твердости при нагреве до 800–900 °С позволяют применять борирование для повышения срока службы штампов и разных фильер [3]. Боридные покрытия достаточно успешно используются при изготовлении деталей пресс-форм, различного инструмента для обработки резанием.

К методу поверхностного насыщения, который можно применить для литых изделий с целью повышения их эксплуатационных характеристик, относится и использование покрытий в виде красок или защитных обмазок с борсодержащими компонентами, наносимых на поверхность литейной формы, приводящих к диффузионному насыщению поверхности отливок в период их кристаллизации.

Таким образом, рассмотренные методы воздействия на структуру и свойства как поверхностного слоя, так и матрицы литых изделий бором позволяют в значительной мере воздействовать и на их эксплуатационные характеристики. Исходя из этого, можно выбрать наиболее оптимальный метод получения упрочненных литых изделий с высокими эксплуатационными характеристиками, согласовывая при этом технологию изготовления и условия эксплуатации. Рассмотрим суть технологии приведенных выше методов. В качестве борнасыщающего компонента используем мелкодисперсный (размер фракций от 10 до 200 мкм) карбид бора.

Поверхностное упрочнение литых изделий с применением мелкодисперсного карбида бора

Важным моментом при использовании для поверхностного насыщения обмазок является выяснение возможности протекания диффузионного

процесса в условиях окислительной печной атмосферы. При этом появляется возможность осуществления процесса химико-термической обработки (ХТО) без использования приспособлений для защиты от окислительной атмосферы в рабочем пространстве печного агрегата. На основании результатов исследований появилась возможность утверждать, что в обмазках, выполняющих роль защищающего от воздействия окислительной печной атмосферы контейнера, происходит поверхностное насыщение через газовую фазу. Термодинамические расчеты химических реакций показывают, что в обмазке в результате взаимодействия карбида бора и фтористого натрия происходит образование борфторатов BF и BF_2 , диссоциация которых приводит к созданию активных атомов бора. В отличие от борирования в контейнерах при насыщении поверхности из обмазок в результате взаимодействия соответствующих компонентов обеспечиваются условия для надежной защиты поверхности изделия, а также поставщиков активных атомов от окисления. При использовании обмазки, приготовленной из смеси порошковых компонентов (B_4C , NaF , B_2O_3 , окалина) в определенных соотношениях [4], было отмечено, что в начальный момент времени в диффузионно-активной среде происходит рост температуры на 70–100°C по сравнению с температурой в пространстве печи, а также повышение давления (до 400–500 Па). В дальнейшем отмечается выравнивание температур, давление в пределах объема обмазки снижается до 90–100 Па и сохраняется на этом уровне в течение всего периода насыщения (рис. 1). Микроструктуры диффузионных покрытий на литых изделиях из высокоуглеродистых спла-

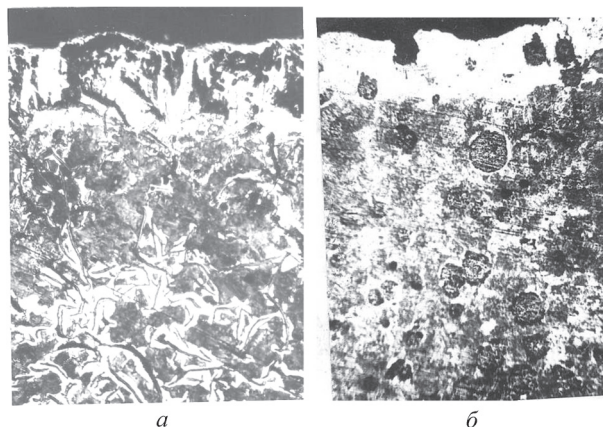


Рис. 2. Микроструктуры борированных слоев на чугунах после ХТО: *a* – серый; *b* – высокопрочный; $T = 950^\circ C$, $\tau = 4$ ч. $\times 200$

вов, полученных в процессе ХТО, показаны на рис. 2, *a, б*. Следует отметить, что борированные слои на поверхности таких литых сплавов, как серый (рис. 2, *a*), высокопрочный (рис. 2, *б*) чугун состоят из двух зон: боридной, обладающей характерным игольчатым строением, и переходной, которая включает α -фазу, выделения боридного цементита типа $Fe_3(C, B)$ и графита. Строение и фазовый состав поверхностного слоя существенно зависят от структуры чугуна, т. е. вида графитовых включений, а также от температурно-временных параметров осуществления процесса насыщения. Борирование при температуре 900°C в течение 1 ч способствует формированию диффузионных слоев, в состав которых входят бориды типа Fe_2B , FeB (см. таблицу). При увеличении продолжительности и температуры процесса насыщения происходит увеличение толщины покрытия.

Т а б л и ц а

Упрочняемый материал	Параметры борирования, °C	Толщина слоя, мкм	Содержание FeB в слое, %
СЧ	900	80–100	1–3
СЧ	950	100–110	3–5
СЧ	1000	120–140	5–10
ВЧ	900	70–90	2–5
ВЧ	950	110–130	4–8
ВЧ	1000	120–160	8–12

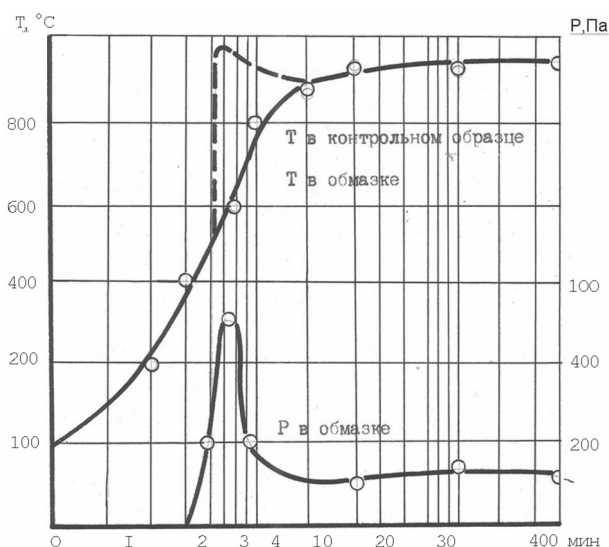


Рис. 1. Процессы, протекающие в обмазке при высокотемпературной выдержке

Другой возможностью повышения эксплуатационных характеристик литых изделий является получение на поверхности отливок упрочненного слоя за счет диффузии борнасыщающего компонента в виде карбида бора (B_4C), содержащегося в составе краски, используемой для окрашивания литейной формы. При этом в данном случае есть возможность активного воздействия именно на те поверхности, которые непосредственно задействованы при работе в жестких эксплуатационных условиях.

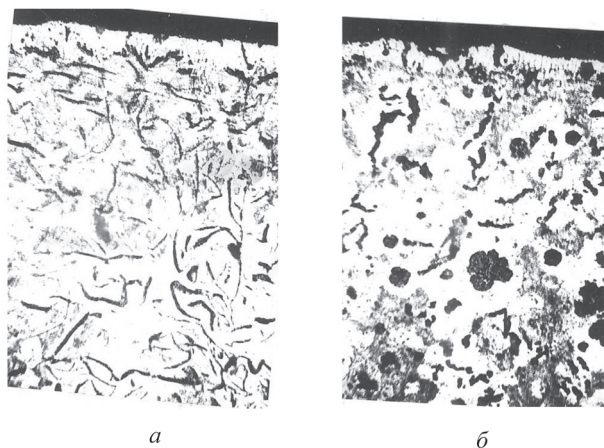


Рис. 3. Микроструктуры борированных слоев на чугунах после поверхностного насыщения из борсодержащих красок: *a* – серый, *б* – высокопрочный. $\times 300$

Технология получения поверхностного слоя заключается в нанесении на необходимые поверхности слоя защитной краски. Последняя содержит в своем составе мелкодисперсный карбид бора [5]. В этом случае происходит диффузия бора из краски в тело отливки в процессе затвердевания последней. При этом на поверхности затвердевающей отливки образуется защитный слой нужного качества. Это может быть износостойкий, кислотостойкий, жаростойкий или иной другой требуемый по технологическим характеристикам поверхностный слой. Таким образом, нанесение краски на соответствующие поверхности приводит к образованию на них упрочненных слоев, обладающих необходимыми свойствами в определенных зонах литого изделия. При проведении данных работ использовали в качестве боронасыщающего компонента краски карбид бора (B_4C). Проведенные исследования показывают, что на поверхности литого изделия образуются диффузионные покрытия, характерные для насыщения бором из обмазок при химико-термической обработке (рис. 3, *a*, *б*). Полученные результаты позволяют сделать вывод, что такая технология позволяет с достаточно незначительными затратами достигать повышения эксплуатационных характеристик отливок. Анализируя процессы, происходящие при получении изделий приведенным выше методом, можно выделить главное – присутствие элемента насыщения поверхности из газовой фазы, т. е. происходит упрочнение поверхностного слоя на наноуровне.

Объемное упрочнение мелкодисперсным карбидом бора литейных сплавов

Анализ процессов, происходящих в структуре обмазок, содержащих железную окалину или порошковое железо, показывает, что при высокотемпературной выдержке происходит образование вы-

сокотвердых боридных фаз Fe_2B и FeB . Проведенные эксперименты позволили установить, что появление данных соединений обусловлено взаимодействием боросодержащего компонента (B_4C) и железа (Fe), входящих в состав обмазки. Причем в результате протекания в обмазке целого ряда химических реакций они после ХТО представляют собой спеченный монолитный довольно хрупкий материал, обладающий вследствие наличия в нем боридных фаз высокой твердостью. Уже предварительно проведенные исследования свойств полученной в результате термического воздействия обмазки показали, что на основе входящих в ее состав компонентов могут быть созданы новые материалы повышенной износостойкости за счет объемного боридного упрочнения. При разработке борсодержащих материалов, очевидно, имеет смысл исследовать характер взаимодействия карбида бора (B_4C) с железосодержащим компонентом (порошковое железо) при различных температурах начиная от $900^{\circ}C$ вплоть до температуры образования жидкой фазы.

Данному пути и было отдано предпочтение для создания литого износостойкого сплава, способного конкурировать с применяемыми в настоящее время такими материалами, как чугуны типа ИЧХ, быстрорежущие и высокомарганцовистые стали, а также с боридными покрытиями. При проведении процесса плавки существует возможность активного вмешательства в формирование структуры, а следовательно и необходимых свойств, за счет дополнительного легирования и модифицирования расплава. Результаты работы [6] дают основание использовать в качестве основных составляющих шихты для получения борсодержащих сплавов такой борсодержащий компонент, как карбид бора (B_4C), а в качестве основы – железоуглеродистые сплавы [7]. Следует отметить, что для уменьшения выгорания бора введение борсодержащего компонента в расплав после тщательного раскисления его марганцем, кремнием, алюминием. Причем сам борсодержащий компонент желательно перед введением в расплав заключить в оболочку из алюминия. Данные предварительно проведенных экспериментов показывают, что наиболее важным моментом в процессе получения железоборидных сплавов без использования вакуума и различных защитных сред является обеспечение условий, способствующих наиболее полному усвоению бора при введении его в расплав за счет минимального выгорания и достижения равномерного распределения вводимого компонента в расплаве.

В результате происходящей при высокотемпературном взаимодействии диффузии происходит

образование в расплаве таких фаз, как твердые растворы внедрения в α - и γ -железо, а также боридные фазы (FeB , Fe_2B) и цементит типа $\text{Fe}_3(\text{CB})$. Это способствует образованию мелкокристаллической, равномерно распределенной по объему матрицы расплава структуры. Такое влияние данного борсодержащего компонента можно объяснить с точки зрения его гранулометрического состава и температуры плавления. Как показывают результаты проведенных экспериментов, при введении порошкообразного карбида бора в составе сплава отмечается преобладающее наличие карбидной фазы. Характер ее распределения по телу отливки в некоторой мере зависит от условий введения порошкообразного карбида бора и интенсивности перемешивания расплава.

Такой конгломерат из фаз, обладающих высокими показателями микротвердости, твердости и износостойкости, равномерно распределенных в матрице расплава, позволяет получать литые изделия с необходимыми эксплуатационными свойствами. Микроструктура сплава, полученного при расплавлении шихты, в состав которой входит мелкодисперсный карбид, представлена на рис. 4.

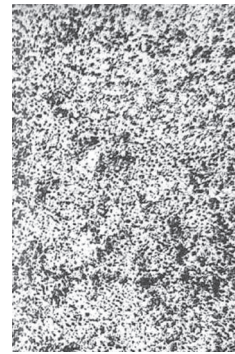


Рис. 4. Микроструктура железобористого литого сплава.
×200

Выводы

Как показали результаты исследований, для повышения физико-механических свойств литых изделий, эксплуатирующихся в условиях интенсивного контакта с абразивной и гидроабразивной средой, сопряженной с ударным и кавитационным воздействием в широком диапазоне технологий, несомненный интерес представляет карбид бора. Данный компонент можно использовать при проведении процесса ХТО литых изделий из железоуглеродистых сплавов, а также при получении литья непосредственно из борсодержащего сплава.

Литература

1. Лякишев Н. П., Плинер Ю. Л., Лапко С. И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Metallurgy, 1986.
2. Тихий А. В. Поверхностное легирование отливок в форме // Литейное производство. 1973. № 4. С. 28.
3. Бельский Е. И., Ситкевич М. В., Траймак Н. С. Упрочнение литых и деформированных инструментальных сталей. Минск: Наука и техника, 1982.
4. А. с. СССР 1376608: МПК С 23 С 12/02, 1987.
5. А. с. СССР 1412361: МПК С 23 С 8/70, 198.
6. Нева Н. Ф., Фасевич Ю. Н., Сеньков В. М., Павлович Г. В. Борсодержащий сплав, его свойства и промышленное применение // Литье и металлургия. 2005. № 2. Ч. 2. С. 174–178.
7. Пат. РФ 7245: ВУ С 22 С 38/02, 38/04, 38/06, 2005.