



УДК 621.745

Поступила 27.01.2014

Студент гр. 104319 К. В. КОБЯКОВ, научный руководитель канд. техн. наук Н. Ф. НЕВАР, БНТУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ БОРОМ НА СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

*Показано, что для повышения физико-механических свойств литых изделий, эксплуатирующихся в тяжелых условиях, огромный интерес представляет карбид бора, который можно использовать при проведении процесса химико-термической обработки литых изделий из железоуглеродистых сплавов.*

*It is shown that for improvement of physical-mechanical properties of the cast products which have hard usage, the boron carbide, which can be used at carrying out process of thermo-chemical treatment of cast products of iron-carbon alloy, is of great interest.*

### Введение

В настоящее время существует большое количество предприятий, выпускающих на реализацию или непосредственно использующих для изготовления своей продукции отливки, которые должны обладать соответствующим набором свойств. К этим свойствам можно отнести твердость, абразивную, гидроабразивную износостойкость, коррозионную устойчивость, а также достаточную механическую прочность. Большинству из приведенного необходимого перечня свойств удовлетворяют материалы, которые получены с применением традиционных карбидообразующих элементов.

Борсодержащие сплавы с успехом могут заменять высоколегированные сплавы без содержания бора. Экономия дорогостоящих легирующих элементов несет очевидную экономическую выгоду. Сплавы с содержанием бора не только не уступают по свойствам высоколегированным, но зачастую и превосходят их.

### Получение литого железобористого сплава с применением карбида бора

При разработке борсодержащих материалов имеет смысл исследовать характер взаимодействия карбида бора с железосодержащим компонентом (порошковое железо) при различных температурах начиная от 900 °С вплоть до температуры образования жидкой фазы. Данному пути в основном и отдается предпочтение для создания литого износостойкого сплава, способного конкурировать с применяемыми в настоящее время износостойкими сплавами, такими, 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. В качестве основных составляющих шихты для получения борсодержащих сплавов используют карбид бора ( $B_4C$ ), а в качестве основы – сплавы на основе железа. Следует отметить, что для уменьшения выгорания бора введение борсодержащего компонента в расплав производят после тщательного раскисления его марганцем, кремнием, алюминием. Причем сам борсодержащий компонент желательно перед введением в расплав заключить в оболочку из алюминия.

Важным моментом 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 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  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железо, а также боридные фазы ( $FeB$ ,  $Fe_2B$ ) и цементит типа  $Fe_3(CB)$ . Это способствует образованию мелкокристаллической структуры, равномерно распределенной по объему расплава. Введение мелкодисперсного карбида бора приводит к созданию матрицы, сформированной согласно принципу Шарпи (основное правило расположения в сплаве структурных фаз, обеспечивающих высокие антифрикционные и износостойкие свойства сплава, а также его прочность, вязкость и др.). Согласно



Рис. 1. Микроструктура железобористого литого сплава. x200

принципу Шарпи, наиболее твердые структурные составляющие должны залегать в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие – образовывать сплошную матрицу.

При этом формируется матрица, в которой равномерно распределены боридные и борокарбидные включения. Наличие такой структуры приводит к значительному улучшению эксплуатационных характеристик изделий из литого железобористого сплава. Даже в условиях жестких износных испытаний (металл–абразив) износостойкость сплава находится на достаточно высоком уровне. Это происходит вследствие того, что матрица удерживает боридные и борокарбидные включения, не позволяя им выкрашиваться из общей структуры. И в этом случае они не могут служить дополнительными центрами абразивного износа.

Такое влияние данного борсодержащего компонента можно объяснить с точки зрения его гранулометрического состава и температуры плавления. 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. 1.

В качестве примера была промоделирована деталь «ролик» в русском пакете СКМ «Полигон». Предварительно начерченная 3D-модель с использование пакета SolidWorks 2012 показана на рис. 2.

При моделировании за основу брали сплав ИЧХ28Н2 с химическим составом, приведенным в табл. 1.

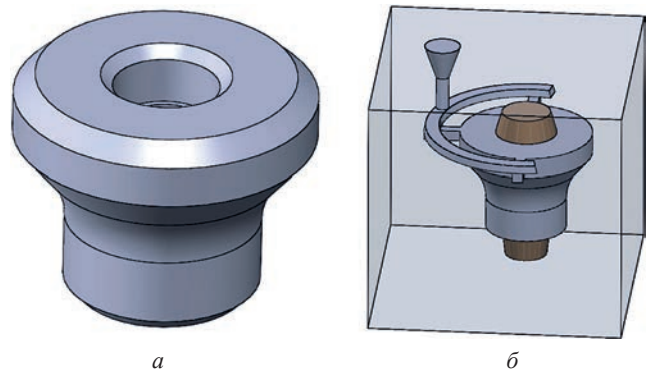


Рис. 2. Деталь и отливка: а – деталь «ролик»; б – отливка с литниковой системой

Таблица 1. Химический состав сплава ИЧХ28Н2

Марка износостойкого чугуна	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
ИЧХ28Н2	2,5–3,0	0,7–1,4	0,5–1,0	0,12	0,18	28–30	1,5–2,0

Уменьшая количество хрома и добавляя борсодержащую, получаем новый сплав, химический состав которого приведен в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав нового сплава

Массовая доля элементов, %							
C	Si	B	Mn	S	P	Cr	Ni
2,8	1,0	2,5	0,7	0,12	0,15	2,3	1,8

При моделировании крайний предел допустимой пористости составляет 10%. На рис. 3 показана промоделированная отливка с отображением пористости от 10% и выше.

Из рисунка видно, что отливка годная.

На рис. 4 представлена промоделированная годная отливка с отображением пористости от 5% и выше.

На рисунке видны небольшие локальные зоны пористости внутри отливки, но вероятность образования их очень мала. К тому же для моделирования используется виртуальная среда, где не учитываются многие производственные факторы: вид печного агрегата, человеческий фактор и др., поэтому при заливке с соблюдением всех норм у нас получится годная отливка.

С целью установления влияния компонентов сплава на свойства были проведены исследования на сплавах с содержанием бора от 1 до 3%. Содержание углерода выдерживалось в пределах 2,8%, остальные элементы – в пределах, приведенных в табл. 2.

Полученные данные (рис. 5) свидетельствуют о том, что у сплавов с содержанием углерода 2,8%

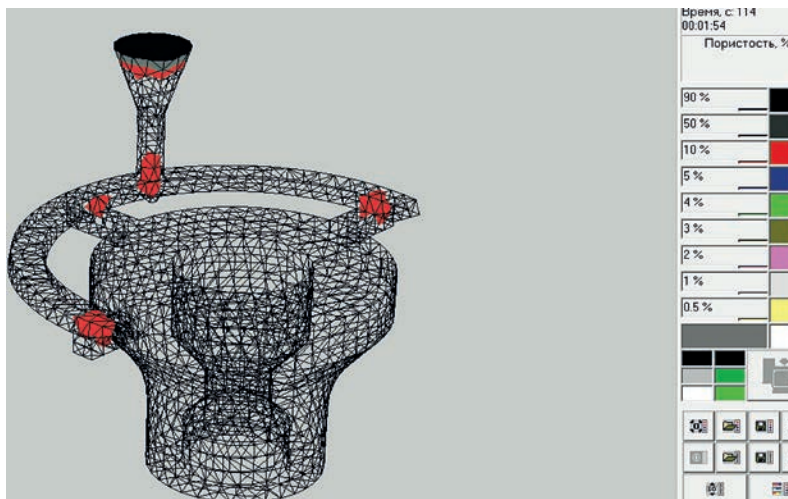


Рис. 3. Вероятность пористости 10% и выше

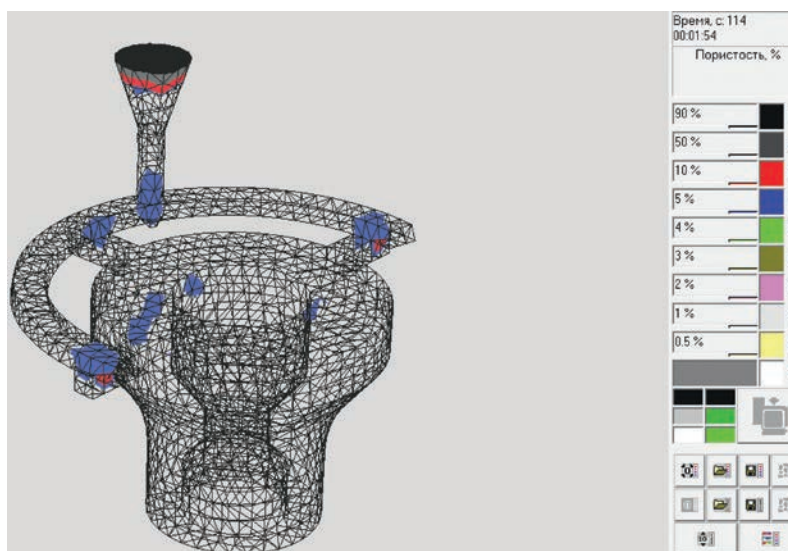


Рис. 4. Вероятность пористости 5% и выше

при увеличении содержания бора происходит возрастание твердости. Твердость литых сплавов повышается от 20 до 70 HRC.

Из рис. 6 следует, что при увеличении содержания бора показатель ударной вязкости имеет

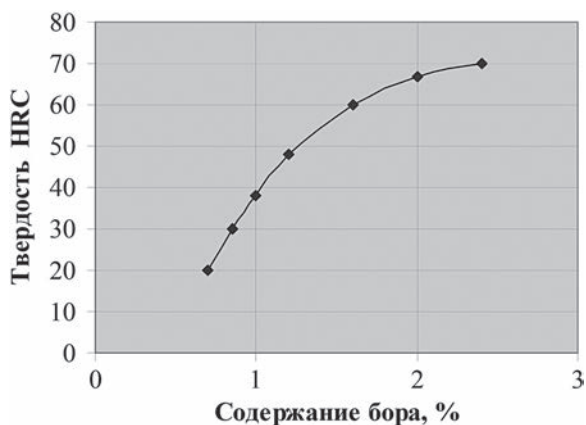


Рис. 5. Влияние состава борсодержащего сплава на твердость

тенденцию к снижению. Необходимо отметить, что в присутствии бора и хрома углерод в исследуемых количествах на ударную вязкость существенного влияния не оказывает.

Одним из факторов, в наибольшей мере характеризующим литейный сплав, является жидкотекучесть. При исследовании данной характеристики

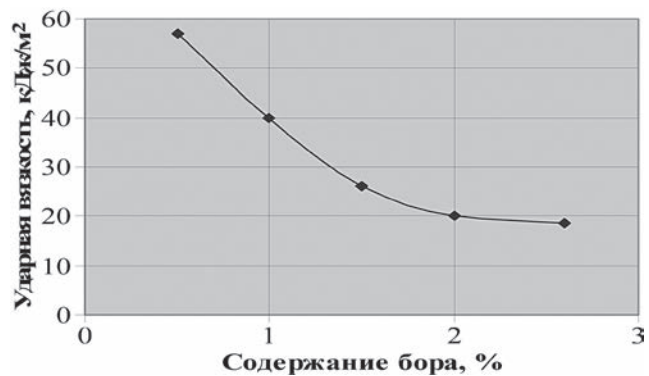


Рис. 6. Влияние состава борсодержащего сплава на ударную вязкость



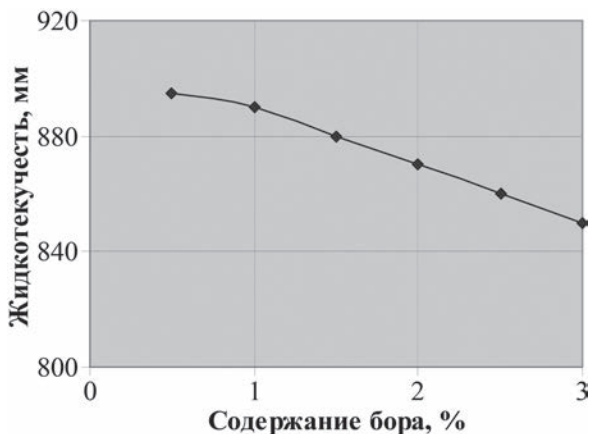


Рис. 7. Влияние количества вводимого бора на жидкотекучесть

ки использовали методику, позволяющую оценивать жидкотекучесть по длине спирального канала, заполненного расплавом. Как следует из полученных данных, кривые изменения жидкотекучести в зависимости от содержания бора в шихте и температуры заливки довольно сильно отличаются между собой. С увеличением содержания бора в сплаве жидкотекучесть его снижается. Такое снижение обусловлено, по-видимому, положением линий ликвидус и солидус в диаграмме «железо–бор». Некоторое изменение рассматриваемой характеристики отмечено в зависимости от температур заливки. Анализ проведенных испытаний позволяет отметить, что полученные сплавы имеют довольно высокие значения показателя жидкотекучести. Так, при температурах 1410–1450 °С значения жидкотекучести колеблются в зависимости от содержания бора от 850 до 900 мм. Исследуемый сплав с бором по жидкотекучести можно сравнить с предполагаемым к замене сплавом ИЧХ28Н2 (высокохромистый износостойкий чугун).

Результаты исследования жидкотекучести сплава в зависимости от температуры заливки приведены на рис. 8. Температурный режим, как следует из графика, оказывает своеобразное влияние на показатели жидкотекучести. Так, с увеличением в сплаве бора жидкотекучесть не возрастает при повышении температуры заливки. Наиболее заметное увеличение жидкотекучести отмечается у сплава с содержанием бора 0,5–1,5%. В этом случае исследуемый показатель находится на уровне 880–900 мм.

#### Выводы

Исходя из сказанного выше, для повышения физико-механических свойств литых изделий, эксплуатирующихся в тяжелых условиях (условиях интенсивного контакта с абразивной и гидроабразивной средой, сопряженной с ударным и кавитационным воздействием), большой интерес представляет карбид бора. Данный компонент можно

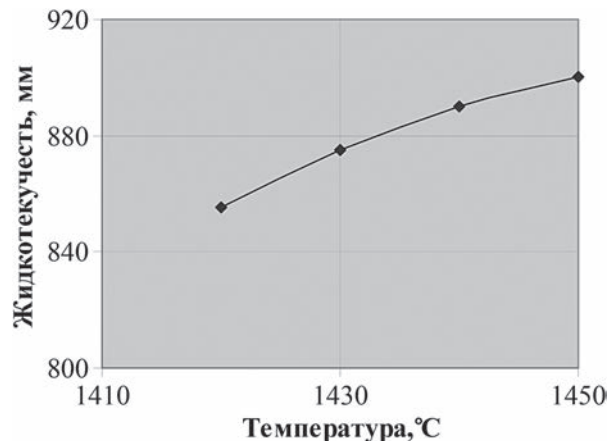


Рис. 8. Влияние температуры заливки на жидкотекучесть

использовать при проведении процесса ХТО литых изделий из железоуглеродистых сплавов, в процессе получения отливок в форме.

Введение карбида бора в расплав позволяет в 8–10 раз снизить потребление таких карбидообразующих элементов, как, например, хром, вольфрам, что приведет к ресурсосберегающему эффекту и соответственно экономии достаточно дорогостоящих компонентов.

Полученные эксплуатационные свойства свидетельствуют о том, что разрабатываемые новые сплавы позволяют создавать гамму материалов с широкой областью применения. Причем это не ограничивается какой-либо единственной отраслью, а может быть использовано для ряда отраслей промышленности, таких, как горнодобывающая, производство стройматериалов и др. Выплавка данных сплавов позволяет значительно снизить затраты на их производство вследствие получаемого технологического эффекта. Технологический эффект заключается в том, что при проведении процесса плавки существует возможность снизить потребление электроэнергии. Это может быть осуществлено за счет снижения температуры плавления, уменьшения затрат на различные периоды плавки вследствие структурного фактора. Как было отмечено выше, при приведенных содержаниях бора формируется структура, по своему составу близкая к эвтектической. При этом температура плавления данного конгломерата снижается до 1380–1410 °С. Все это приводит как к сокращению времени плавки, так и к снижению потребления электроэнергии на весь процесс плавки. Плавку железобористого сплава желательно осуществлять в индукционных печных агрегатах. Это позволяет оптимально использовать их эксплуатационные характеристики и с большей эффективностью использовать в технологическом процессе плавки применяемые шихтовые материалы.