



The influence of boron carbide as fine-dispersed material input into the melt on structure morphology, founding, technological and exploitation characteristics of cast iron-boron material is shown.

Н. Ф. НЕВАР, БНТУ

УДК 621.141.25

ВЛИЯНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО КАРБИДА БОРА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОБОРИСТОГО СПЛАВА

Практически во всех отраслях промышленного производства существует насущная потребность в материалах как литых, так и полученных в результате прокатки с высокими триботехническими характеристиками. Изделия из таких материалов эксплуатируются в абразивных и гидроабразивных средах, сопряженных с кавитационными и кислотными воздействиями. Следует однако отметить, что применение литых деталей и изделий позволяет значительно снижать производственные издержки. В настоящее время для изготовления таких изделий в основном используются высоколегированные стали и чугуны. Так, например, для деталей, работающих в условиях интенсивного износа, сопровождающегося циклическими ударными нагрузками, широко применяется сталь 110Г13Л аустенитного класса с высокой износостойкостью. Она имеет следующий химический состав: 0,9–1,3% С, 11,5–14,5% Мн, не более 0,5% Si, 0,03% Р, 0,03% S, 0,2% Cr. Для нее наилучшим соотношением С и Мн считается 1:10. Основным характерным свойством такой стали является ее способность к достаточно мощному деформационному упрочнению. Наличие данного фактора обуславливает высокую износостойкость изделий из стали при их работе в условиях износа, сопряженного с динамическими воздействиями. Некоторые исследователи связывают такие свойства не только с влиянием деформационного упрочнения, но и с происходящим в это же время мартенситным превращением аустенита [1].

Для деталей и изделий, работающих в условиях интенсивного износа, достаточно широкое распространение получили высокохромистые чугуны ИЧХ12М, ИЧХ34, ИЧХ28Н2 и др. [2]. В своей структуре данные сплавы содержат достаточно крупные карбидные включения. Вследствие этого их применение в основном ограничивается изго-

товлением деталей и изделий для работы в условиях достаточно жесткого износа, но без значительных ударных воздействий. Так, например, в особо жестких условиях наибольшей износостойкостью, в том числе и против кавитационного износа, обладают мартенситные чугуны типа ни-хард и высокохромистые с содержанием хрома более 12% и молибдена 0,8–1,6%. При таких составляющих в структуре чугунов образуются комплексные карбиды типа Me_7C_3 , которые в основном и определяют структуру и свойства мартенсита, а следовательно, и отливок из этих сплавов. Следует отметить, что изучение износа выявило достаточно много противоречащих друг другу факторов. Износостойкость находится в сложной зависимости от количественного соотношения и распределения твердой (в своей основе хрупкой) фазы и наличия в то же время достаточно мягкой пластичной составляющей. Наиболее оптимальным для рассматриваемых сплавов будет распределение твердой фазы в пластичной в соответствии с принципом Шарпи. Пластичная металлическая основа должна достаточно прочно удерживать хрупкую (в основном карбидную), при этом равномерно распределенную фазу, и не позволять ей выкрашиваться.

На износостойкость различного рода сплавов при воздействии абразивных сред оказывают преобладающее воздействие их микроструктура, ее характерные особенности и свойства. По отношению к чугуну основные структурные составляющие по возрастанию микротвердости располагаются в следующем порядке: графит, феррит, перлит, аустенит, мартенсит, цементит, карбидные фазы хрома, ванадия, вольфрама и других элементов, различные соединения боридов. Причем, как следует из анализа существующих данных по таким видам сплавов, немаловажное, если не определяющее значение имеет размерный фактор

или дисперсность составляющих структуру фаз. Уменьшение структурной неоднородности способствует измельчению составляющих матрицу отливки фаз.

В работе показано влияние карбида бора как мелкодисперсного материала, вводимого в расплав, на морфологию структуры, литейные, технологические и эксплуатационные свойства литого железобористого материала. Следует отметить, что карбид бора в основном используется в промышленности как абразивный материал, а также при необходимости проведения химико-термической обработки является составляющим компонентом насыщающей смеси для получения поверхностного покрытия на черных сплавах. Такое покрытие в основном служит для повышения триботехнических характеристик изделий, работающих в сложных эксплуатационных условиях.

Проведенный анализ существующих данных по карбиду бора позволил получить данные о растворимости бора в твердом углероде (табл. 1).

Таблица 1

$t, ^\circ\text{C}$	1800	2000	2200	2350	2400	2500
$C_B, \text{ ат.}\%$	1,0	1,5	3,05	2,35	2,2	2,0

Параметры решетки твердого раствора бора в углероде линейно зависят от состава: параметр a возрастает, а параметр c уменьшается с увеличением концентрации бора. В твердом боре растворяется 0,1–0,2 ат.% углерода (рис. 1).

В системе С–В имеются три карбида: $B_{12}C_3$ или (B_4C) , образование которого происходит по перитектической реакции при температуре 2250 °С; $B_{13}C_2$, конгруэнтно плавящийся при 2450 °С, и фаза B_mC_n предположительного состава BC_2 .

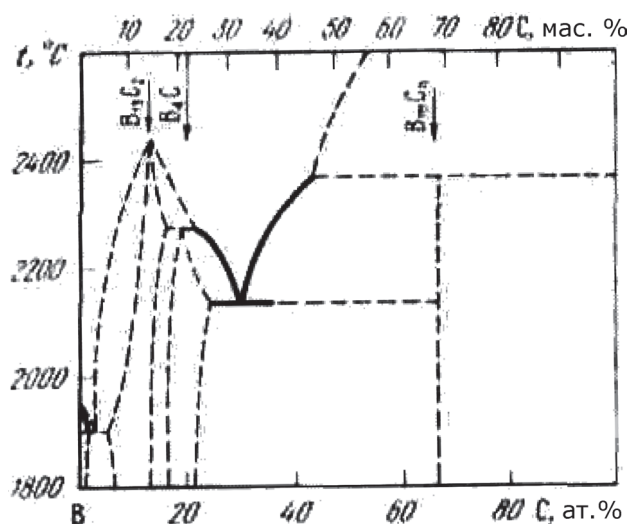


Рис. 1. Диаграмма состояния системы С–В

На участках твердый раствор углерода в боре + $B_{13}C_2$ и $B_4C + B_mC_n$ образуются две эвтектики, плавящиеся при 1900 и 2130 °С [3].

Энтальпия образования и изменение свободной энергии Гиббса при образовании карбида бора приведены в табл. 2.

Таблица 2

$T, \text{ K}$	298,15	400	500	600	700	723
$\Delta H_T^0, \text{ кДж/моль}$	1260,1	1260,5	1260,4	1253,3	1255,0	1254,5
$\Delta G_T^0, \text{ кДж/моль}$	1188,6	1164,1	1140,0	1115,7	1092,2	1086,4

Промышленным способом карбид бора может быть получен синтезом из элементов карботермическим восстановлением борного ангидрида, магнийтермическим восстановлением борного ангидрида в присутствии углерода, восстановлением хлорида бора водородом также в присутствии углерода, осаждением из газовой фазы, состоящей из BCl_3 , CCl_3 и H_2 . Благодаря высокой абразивной способности карбид бора применяют при шлифовании и полировании твердых материалов. Изделия из карбида бора можно получать с применением горячего прессования при повышенных температурах и давлениях. При введении в расплав в качестве борсодержащего компонента карбида бора происходит диффузия бора в расплав и активное взаимодействие составляющих борносодержащего компонента с кислородом. Это приводит к образованию мелкокристаллической, равномерно распределенной по объему матрицы расплава структуры, в состав которой входят равномерно распределенные мелкодисперсные включения железобористой и карбоборидной фазы (рис. 2).

Данный фактор можно объяснить тем, что вводимый порошкообразный карбид бора имеет различные по размерам составляющие от 100 Нм и выше до 10 мкм. В результате этого взаимодействия при температурах, соответствующих температурам плавления низко-, и среднеуглеродистых

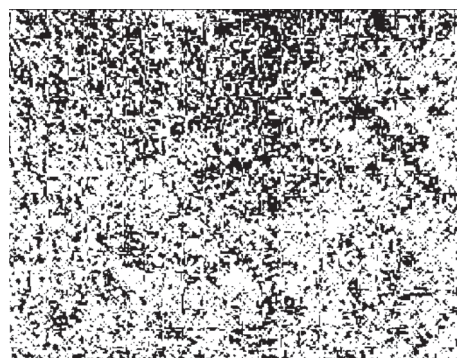


Рис. 2. Микроструктура железобористого сплава с карбидом бора

сталей, в расплаве происходит формирование таких фаз, как мелкодисперсный твердый раствор внедрения бора в α -железо и замещения в γ -железо, а также боридных фаз FeB и Fe₂B, цементита типа Fe₃(CB), в котором, согласно многочисленным литературным данным, содержится до 80% бора.

Введение порошкообразного карбида бора приводит к созданию в структуре мелкоизмельченной фазы типа структуры Шарпи. 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 превалирующее наличие карбидной фазы. Характер ее распределения по телу отливки в некоторой мере зависит от условий введения порошкообразного карбида бора и интенсивности перемешивания расплава.

Проведенный микроструктурный и рентгеноструктурный анализ подтверждает наличие боридных составляющих в образующемся расплаве. В их состав, согласно данным рентгеноструктурного анализа (табл.3), входят карбидные, карбоборидные и боридные фазы.

Такой конгломерат из фаз, обладающих высокими показателями микротвердости, твердости и износостойкости, равномерно распределенных

Таблица 3

Номер линии	<i>I</i>	<i>a/n</i>	Фаза	HKL
1	0,05	3,9919	B ₄ C	003
2	Ср. сл.	2,5506	Fe ₂ B	200
3	Ср.	2,2492	Fe ₃ (CB)	210
4	Ср. сл.	2,1301	Fe ₂ B	002
5	Ср.	2,0802	Fe ₃ C	211
6	1,00	2,0198	α -Fe	110
7	Ср. сл.	1,968	Fe ₃ C	211
8	0,03	1,6232	B ₄ C	306
9	0,15	1,4347	α -Fe	200
10	Сл.	1,3656	Fe ₂ B	222
11	0,03	1,2604	B ₄ C	306
12	Ср.	1,1816	Fe ₂ B	411
13	0,10	1,1702	B ₄ C	119
14	0,1	1,1171	α -Fe	220

в матрице расплава, позволяет получать литые изделия с необходимыми эксплуатационными свойствами [4].

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При введении мелкодисперсного карбида бора расплав приобретает равномерно распределенные по телу отливки структурные составляющие.

2. В структуре отмечается наличие карбидных, карбоборидных и боридных фаз.

3. Соответственно с отмеченными структурными изменениями наблюдается значительное улучшение микротвердости составляющих фаз, твердости, износостойкости сплава.

Литература

1. Лахтин Ю. М. Основы металловедения. М.: Металлургия, 1988.
2. Карпенко М. И., Марукович Е. И. Износостойкие отливки. Мн.: Наука и техника, 1984.
3. Лякишев Н. П., Плинер Ю. Л., Лаппо С. И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1984.
4. Невар Н. Ф. и др. Борсодержащий сплав, его свойства и промышленное применение // Литье и металлургия. 2005. № 2. Ч. 2. С. 174–178.