

Влияние механоактивации на структуру и свойства хромистой карбидостали с добавками карбида бора

Р. В. Яковенко

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН
Украины, Киев, e-mail: yarom1@ukr.net

Исследовано влияние механоактивации исходных порошков на структурообразование и свойства спеченной карбидостали X13M2—Cr₃C₂ с добавками карбида бора. Установлено, что проведение предварительного размола-смешивания приводит к значительному изменению структуры и повышению физико-механических свойств.

Ключевые слова: карбидосталь, механоактивация, карбид бора, спекание, структура.

Дисперсные добавки в виде тугоплавких соединений (В₄С, Cr₃C₂, TiB₂, CrB, CrB₂ и т. п.) [1—3] широко применяются для получения конструкционных, износо- и коррозионно-стойких и других материалов. Однако возможности получения износостойких композитов на железной основе типа X13M2—Cr₃C₂—В₄С методом порошковой металлургии практически не исследованы. Цель данной работы — изучить влияние механоактивации порошковой смеси на микроструктуру и физико-механические свойства указанного материала.

Изучение диаграмм состояния системы Fe—Cr—Mo—В—С показало наличие всех двойных систем и отсутствие тройных, за исключением высокотемпературных пересечений некоторых из них. Установлено также, что в области с малым содержанием легирующих компонентов наиболее вероятно образование химических соединений бора с железом и углеродом (боридов, карбоборидов, бороцементита) и эвтектики на их основе. Очевидно, что данные о двойных и некоторых тройных диаграммах состояния системы Fe—Cr—Mo—В—С дают лишь приблизительное представление о пределах растворимости элементов, наличии их химических соединений и эвтектики в указанной сложной четверной системе, однако являются некоторым ориентиром при экспериментальном исследовании физико-механических свойств и микроструктуры сложных многокомпонентных сплавов.

Исследовали влияние предварительного размола-смешивания на структурообразование и свойства спеченной карбидостали. Основой выбрана карбидосталь X13M2—Cr₃C₂, которая показала в наших предыдущих исследованиях [4] высокий уровень физико-механических свойств. Количество бора, который вводили в указанные сплавы с целью укрепления их матрицы, составил 1% (мас.). Бор был выбран благодаря его растворимости в железной основе, а также с учетом сведений, приведенных в работе [5] для литых износостойких материалов системы Fe—В—С. Как эталонные использовали образцы карбидостали X13M2—Cr₃C₂ без добавок карбида бора. Всю шихту готовили в смесителе типа "пьяная бочка",

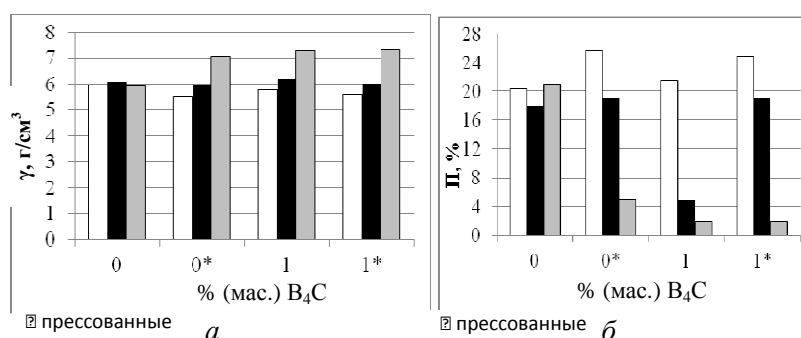


Рис. 1. Плотность (а) и пористость (б) карбидосталей: * — карбидостали, исходные порошки которых поддавались размолу; □ — прессованные; ■ — 1150 °С; ▨ — 1200 °С.

часть смеси измельчали в планетарной мельнице в течение 20 мин. Образцы прессовали на гидравлическом прессе и спекали при температурах 1150 и 1200 °С в вакууме.

Изучение консолидации образцов из V₄C после прессования и спекания при разных температурах показало, что пористость неспеченных и эталонных образцов составляет 18—22% (рис. 1). Пористость механоактивированных образцов после прессования незначительно превышает такую для немеханоактивированных, что указывает на негативное влияние механоактивации на уплотненность. После высокотемпературного спекания при 1200 °С происходит усадка механоактивированных материалов (рис. 1).

Начало процесса интенсивного образования карбоборидов наблюдается в образцах, спеченных при 1150 °С, у которых основой материалов является эвтектическая смесь карбоборидов с микротвердостью 17,6—19,1 ГПа (рис. 2). Микродюретрические исследования показали, что предварительный размол шихты приводит к росту микротвердости твердой составляющей. Микротвердость увеличивается с 14,3 до 17,9 ГПа у образцов, спеченных при температуре 1150 °С, и с 17,6 до 19,5 ГПа у образцов, спеченных при температуре 1200 °С (рис. 2, б). Микротвердость металлической составляющей, наоборот, снизилась — с 5,2 до 3,5 ГПа, у образцов, полученных при температуре 1150 °С. Это можно объяснить более низкой плотностью образцов, исходные порошки которых поддавались размолу. Повышение температуры спекания до 1200 °С способствует интенсификации взаимодействия, микротвердость металлической составляющей увеличивается от 4,9 до 6,8 ГПа.

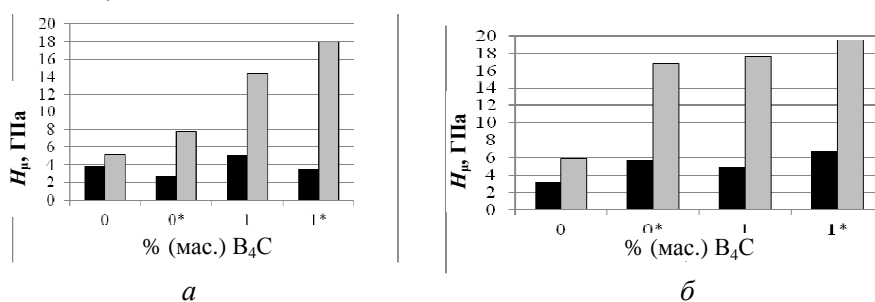
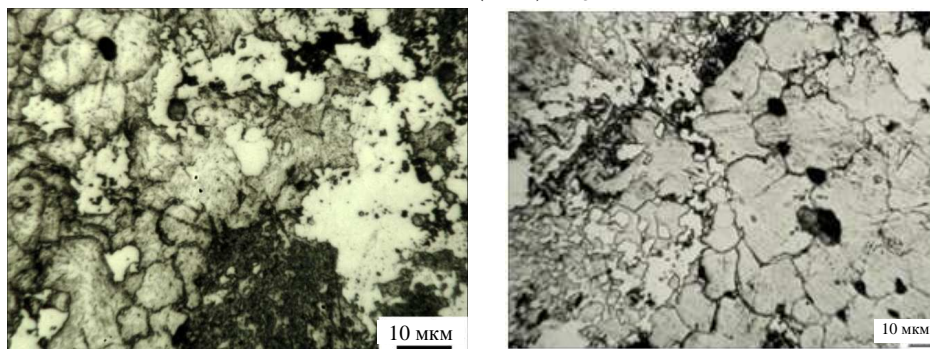


Рис. 2. Микротвердость спеченных при 1150 (а) и 1200 °С (б) карбидосталей: * — карбидостали, которые поддавались размолу; ■ — металлическая фаза; □ — твердая.

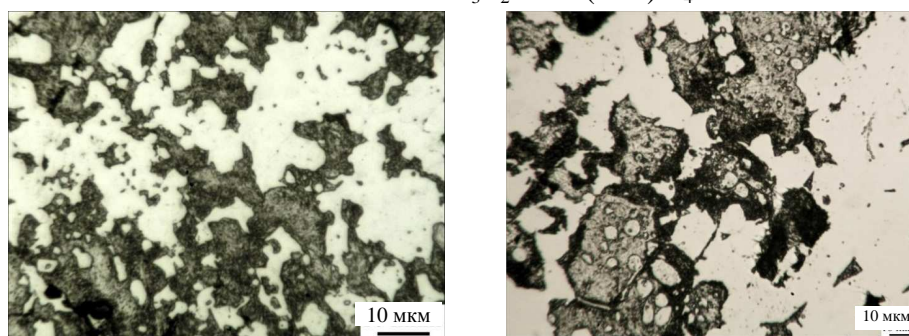
X13M2—20% (мас.) Cr₃C₂



а

б

X13M2—Cr₃C₂—1% (мас.) В₄С



в

г

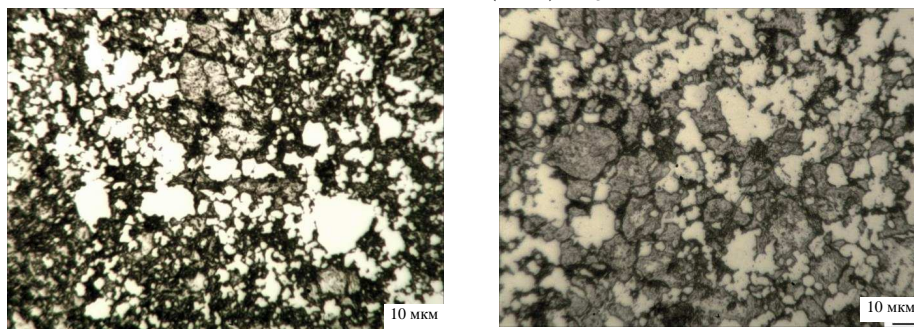
Рис. 3. Микроструктуры спеченных (а, в — 1150 °С; б, г — 1200 °С) образцов, порошки которых не поддавали размолу.

При изучении микроструктуры спеченных материалов установлено, что введение карбида бора в карбидосталь сопровождается образованием твердой составляющей, содержание которой не пропорционально количеству введенных карбидов хрома и бора в шихту (рис. 3). То есть при спекании происходит интенсивное взаимодействие с образованием значительного количества карбидов и боридов. Количество твердой фазы в образцах с 1% (мас.) В₄С больше, чем в эталонном образце X13M2—20% (мас.) Cr₃C₂, и составляет около 45% от площади шлифа у образцов, полученных при 1150 °С, а у образцов, спеченных при 1200 °С, твердая фаза занимает площадь более 50% (рис. 3, в, г).

Механоактивация исходных смесей оказывает значительное влияние на микроструктуру. Выявлено, что структура спеченных при 1150 °С материалов, порошки которых подвергали механоактивации, мелкозернистая и имеет более выраженную гомогенность, чем в карбидосталях, порошки которых не подвергали механоактивации (рис. 4). Структура состоит из металлической основы, в которой равномерно расположена твердая фаза, представляющая собой совокупность боридов, карбидов и сложных карбоборидов. При спекании происходит интенсивное взаимодействие с образованием *in situ* значительного количества карбидов и боридов, о чем свидетельствует визуальный осмотр шлифов материалов с карбидом бора.

Рентгеновский спектр спеченных образцов X13M2—20% (мас.) Cr₃C₂—3% (мас.) В₄С выявил неравновесное состояние материала, поскольку

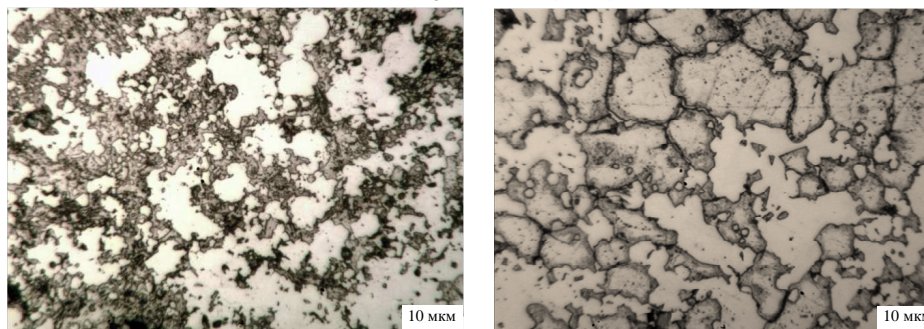
X13M2—20% (мас.) Cr₃C₂



a

б

X13M2—Cr₃C₂—1% (мас.) В₄С



в

г

Рис. 4. Микроструктуры спеченных (*a, в* — 1500 °С ; *б, г* — 1200 °С) образцов, порошки которых подавали размолу.

кристаллическая решетка основной фазы ОЦК характеризуется существенным искажением (рентгеноструктурный анализ проведен Мамоновой А. А.).

Установлено, что процесс взаимодействия карбида Cr₃C₂ со стальной матрицей происходит при спекании как при 1150, так и при 1200 °С. На это указывают образования фаз Cr₇C₃ и Cr₂₃C₆. Спекание при температуре 1150 °С смеси X13M2—20% Cr₃C₂—3% В₄С привело к существенному изменению фазового состава спеченного материала по сравнению с начальной смесью. Наличие карбидных фаз на основе карбида Cr₃C₂ свидетельствует о процессах растворения карбида Cr₃C₂ в матрице X13M2, а наличие боридов — об активном взаимодействии бора не только с железом, но и с хромом и молибденом. Четко фиксируются следующие фазы: Cr₂₃C₆, Cr₇C₃, CrB, FeB, Fe₂B, Fe₃C, MoB.

В предыдущих исследованиях [6] показано, что взаимодействие карбида хрома со стальной матрицей приводит к образованию сложных железохромистых карбидов (Cr, Fe)₇C₃ и (Cr, Fe)₂₃C₆. Введение карбида бора значительно изменяет характер его эволюции. Образование фаз сложных карбидов (Cr, Fe, Mo)₇C₃, (Cr, Fe, Mo)₂₃C₆ и (Cr, Fe, Mo)₃C обусловлено механизмом растворения Cr₃C₂ в стальной матрице, а именно диффузией хрома и углерода в матрицу X13M2. Высокоактивный бор, который высвобождается при разложении карбида бора, взаимодействует с железом и хромом, образуя бориды, что препятствует формированию

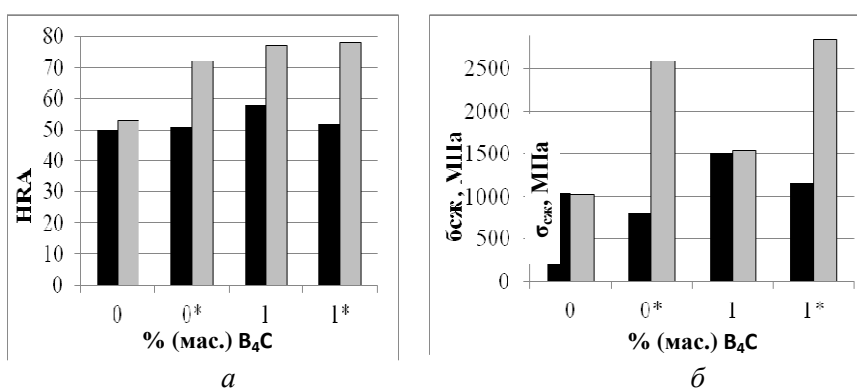


Рис. 5. Твердость (а) и прочность при сжатии (б) спеченных при 1150 (■) и 1200 °С (▨) карбидосталей: * — карбидостали, исходные порошки которых поддавали размолу.

сложных железохромистых карбидов, потому четко фиксируются карбиды Cr₂₃C₆ и Cr₇C₃.

Повышение температуры спекания до 1200 °С способствует активному взаимодействию бора и молибдена с матрицей с образованием твердого раствора на основе α-Fe. Борид железа представлен фазами Fe₂B и FeB. Фазовый состав практически не изменился, фиксируются фазы: Cr₂₃C₆, Cr₇C₃, FeB, Fe₂B, Fe₃C.

Исследовано влияние предварительного размола-смешивания на механические свойства материала. Так, твердость спеченных образцов, порошки которых подвергали размолу, более высокая, чем у неразмолотых (рис. 5). Это объясняется интенсивным взаимодействием между составляющими при спекании, также влияние оказывает то, что основа легируется бором и углеродом. Добавки карбида бора также повышают твердость материала, что объясняется дополнительным образованием карбидов и боридов *in situ*. Наивысшую твердость имеют образцы карбидостали с добавками карбида бора, спеченные при температуре 1200 °С, исходные порошки которых поддавали механоактивации.

Установлено, что характер зависимости прочности при сжатии материалов от содержания карбида бора в шихте подобный аналогичным зависимостям для твердости. Максимальные значения прочности при сжатии для спеченных образцов достигают 1538 МПа при содержании карбида бора в шихте 3% (мас.) и температуре спекания 1150 °С. Разрушения материалов, спеченных как при 1150, так и при 1200 °С, происходят по хрупкому механизму, о чем свидетельствует отсутствие предела пропорциональности.

Выводы

На основании результатов исследования установлено, что предварительный размол-смешивание значительно влияет на процессы структурообразования карбидосталей и некоторые свойства. Механоактивация исходных порошков приводит к интенсификации взаимодействия структурных составляющих, повышению микро- и макротвердости, увеличению прочности при сжатии. Спекание сопровождается образованием твердых боридов и карбоборидов железа, равномерно распределенных в железоуглеродистой основе, легированной бором.

1. *Лякишев Н. П.* Борсодержащие стали и сплавы / Н. П. Лякишев, Ю. Л. Плинер, С. И. Лапо. — М. : Металлургия, 1986.
2. *Самсонов Г. В.* Тугоплавкие соединения: (Справ.) / Г. В. Самсонов, И. М. Виницкий. — М. : Металлургия, 1976. — 557 с.
3. *Самсонов Г. В.* Бор, его соединения и сплавы / [Г. В. Самсонов, Л. Я. Марковский, А. Ф. Жигач, М. Г. Валяшко]. — Киев, 1960. — 589 с.
4. *Яковенко Р. В.* Фізико-механічні та трибологічні властивості композиційних матеріалів на основі корозійно-стійких сталей / [Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, М. І. Денисенко, А. С. Опальчук] // Металознавство та обробка металів. — 2013. — № 3. — С. 38—42.
5. *Яковенко Р. В.* Растворение карбида Cr_3C_2 в стальной матрице при спекании / [Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, А. Н. Грипачевский, В. Б. Деймонтович] // Порошковая металлургия. — 2011. — № 3/4. — С. 75—83.
6. *Спиридонова И. М.* Структура и свойства железоборуглеродистых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1984. — № 2. — С. 58—61.

Вплив механоактивації на структуру і властивості хромистої карбідосталі з добавками карбіду бору

Р. В. Яковенко

Досліджено вплив механоактивації вихідних порошків на структуроутворення і властивості спеченої карбідосталі X13M2— Cr_3C_2 з добавками карбіду бору. Встановлено, що проведення попереднього розмелювання-змішування приводить до значної зміни структури і підвищення фізико-механічних властивостей.

Ключові слова: карбідосталь, механоактивація, карбід бору, спікання, структура.

Effect of mechanical activation on the structure and properties of Cr_3C_2 reinforced steels with the addition of boron carbide

R. V. Yakovenko

The effect of mechanical activation of the initial powders on the structure and properties of sintered Cr_3C_2 reinforced steels with the addition of boron carbide was investigated. It is found that carrying out preliminary grinding-mixing leads to a significant change in the structure and improve the physical and mechanical properties.

Keywords: Cr_3C_2 reinforced steels, mechanical activation, boron carbide, sintering, structure.