

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yadroitsev I., Bertrand Ph., Laget B., Smurov I.* // J. Nucl. Mater. 2007. Vol. 362. P. 189–196.
2. *Ho Jun Shin, Young Tae Yoo* // J. Mater. Proc. Technol. 2008. Vol. 201. P. 342–347.
3. *Yilbas B. S., Akhtar S. S., Karatas C.* // Ibid. 2011. Vol. 211. P. 1268–1277.
4. *Рыкалин Н. Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. С. 166.
5. *Maxwell J. C.* A treatise on electricity and magnetism. N. Y.: Dover, 1954.
6. *Rombouts M., Froyen L., Gusarov A. V. et al.* // J. Appl. Phys. 2005. Vol. 97, № 2. P. 126–134.
7. *Арзамасов Б. Н., Соловьева Т. В., Герасимов С. А.* Справочник по конструкционным материалам. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.
8. <http://www.efunda.com>.
9. *Steen W. M., Mazumder J., Watkins K. G.* // Laser Material Processing. 4-th ed. Springer, 2010. P. 558.
10. *Novichenko D., Marants A., Thivillon L. et al.* // Phys. Proc. 2011. Vol. 12. P. 296–302.
11. *Thivillon L., Bertrand Ph., Laget B., Smurov I.* // J. Nucl. Mater. 2009. Vol. 385. P. 236–241.

УДК 621.762

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАПЛАВОЧНОГО ЗЕРНОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА С ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ И НИЗКОЙ ОСТАТОЧНОЙ ПОРИСТОСТЬЮ

© 2013 г. **А. П. Амосов, Д. А. Захаров, А. В. Сальников**

Самарский государственный технический университет (СамГТУ)
ОАО «Волгабурмаш», г. Самара

А. П. Амосов – докт. физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой металловедения, порошковой металлургии, наноматериалов СамГТУ (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244). Тел.: (846) 242-28-89. E-mail: mvm@samgtu.ru.

Д. А. Захаров – аспирант той же кафедры. E-mail: zaharov.dmi@yandex.ru.

А. В. Сальников – главный металлург ОАО «Волгабурмаш» (443004, г. Самара, ул. Грозненская, 1). E-mail: sal321@yandex.ru.

Исследовано влияние различных режимов спекания наплавочного зернового твердого сплава на его структуру. Показана сильная зависимость однородности структуры спеченного сплава от углеродного баланса. Установлены технологические приемы для получения однородной структуры наплавочного зернового твердого сплава.

Ключевые слова: наплавочный твердый сплав, спекание, структура, дефекты.

The effect of various modes of filler grain hard alloy metal sintering on its structure has been investigated. The strong dependence of structural homogeneity of sintered alloy on carbon balance is shown. The processing methods for production of homogeneous structure of filler grain hard alloy metal are found.

Key words: filler hard alloy metal, sintering, structure, defects.

ВВЕДЕНИЕ

Наплавочные материалы в качестве покрытий рабочих поверхностей деталей используются для увеличения их срока службы. В ОАО «Волгабурмаш» для повышения износостойкости буровых долот осуществляют наплавку на их корпуса и зубья специального износостойкого покрытия газопламенным способом с помощью горелки и наплавочных электродов, представляющих собой завернутую в трубку стальную ленту, заполненную зернами твердого сплава. Износостойкость наплавочного слоя зависит, главным образом, от микротвердости компонентов шихты, состоящей из ком-

позиции литых карбидов вольфрама типа «рэлит», а также спеченного зернового твердого сплава [1].

В ОАО «Волгабурмаш» производится зерновой твердый сплав двух типов – ЗВК 9-05 и ЗВК 9-12, различающихся по фракционному составу и представляющих собой спеченные сферические гранулы твердого сплава ВК9С размером до 0,5 и 1,0 мм соответственно.

Технологический процесс формирования сферических гранул состоит из нескольких операций. Исходная твердосплавная смесь получается путем мокрого размолла с последующей сушкой распылением. При изготовлении в смесь вводится парафин в качестве пластификатора

для последующего формирования гранул, которое происходит в 3 этапа. Вначале из твердосплавной смеси на гидравлическом прессе прессуется диск. Затем по наклонному желобу он попадает в гранулятор (разновидность протирочного станка), в котором установлена сетка с размером ячейки, соответствующим требуемому фракционному составу зернового твердого сплава. После протирки через сетку полученная смесь загружается в галтовочный барабан, где происходит окатывание гранул до получения сферической или овальной формы.

Согласно действующему технологическому процессу зерновой твердый сплав спекается в нормализующей засыпке из электрокорунда белого марки 25А в проходных печах в атмосфере водорода. В процессе спекания используется водород технический марки А (ГОСТ 3022-80) с содержанием кислорода до 0,01 %; температура точки росы не более $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Засыпка из электрокорунда применяется во избежание слипания гранул между собой, а также для защиты от сильного обезуглероживания. Но при этом необходимо обеспечить очень равномерное перемешивание гранул с засыпкой. Одним из методов науглероживания сплава является введение сажи в засыпку, но в этом случае состав последней должен быть очень стабильным. После спекания в засыпке микроструктура частиц получается нестабильной. Несмотря на то, что применяемый в данном процессе в качестве защитной атмосферы водород имеет низкое содержание кислорода и влаги, он все равно при высоких температурах отнимает часть углерода от сплава с образованием углеводородов. Это приводит к появлению в структуре η -фазы – двойного сложного карбида состава $(\text{CoW})_3\text{C}$, что существенно охрупчивает сплав. Кроме того, в микроструктуре гранул зачастую можно обнаружить крупные поры. Эти дефекты снижают износостой-

кость и ударную прочность частиц, что приводит к сокращению срока службы долот.

Цель данной работы заключалась в исследовании и разработке технологических приемов, позволяющих исключить появление η -фазы в структуре зернового твердого сплава и уменьшить его остаточную пористость после спекания.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исследования проводились на трех партиях твердосплавных смесей сплава ВК9С, разработанного в ОАО «Волгабурмаш» на основе высокотемпературного карбида вольфрама, синтезированного при температуре свыше $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. Все смеси были получены из карбидов вольфрама с размером частиц 2,5–3,5 мкм.

1. Партия ВК9Сп.02 была изготовлена по стандартному технологическому режиму из карбида вольфрама, приведенного к стехиометрическому содержанию общего углерода 6,12 %. Для определения магнитных характеристик сплава опытные образцы были спечены в водородной печи в засыпке из чистого электрокорунда ($C_{\text{общ}} < 0,04\text{ }%$). Результаты представлены в таблице.

Низкое значение магнитного насыщения (M_s) для этого сплава свидетельствует об его обезуглероживании и присутствии η -фазы в структуре образца. На интенсивность обезуглероживания влияют следующие параметры: состав газовой среды, влажность водорода, расстояние поверхности изделий от источника углерода (зерна корраксковой крупки) и величина удельной поверхности частиц, находящихся в контакте с газовой средой [3].

Эту гипотезу подтвердили и результаты анализа зернового твердого сплава ЗВК9-05п.02 (на основе ВК9Сп.02), спекавшегося в засыпке вышеуказанного состава, но с предварительным спеканием для отгонки пластификатора, при темпера-

Результаты анализа магнитного насыщения и микроструктуры спеченных образцов ВК9С

№ партии	Обозначение смеси	$M_s, \text{Гс/Г}_{\text{Co}}$	Пористость*	η -фаза $(\text{CoW})_3\text{C}$	Крупные поры
1	ВК9Сп.02	117	A1B2	Есть	350 мкм
2	ВК9Сп.07	126	A1B1	Есть	Нет
3	ВК9Сп.08	146	A1B1	Нет	Нет

*Балл пористости приведен по стандартной шкале ГОСТ 9391-80.

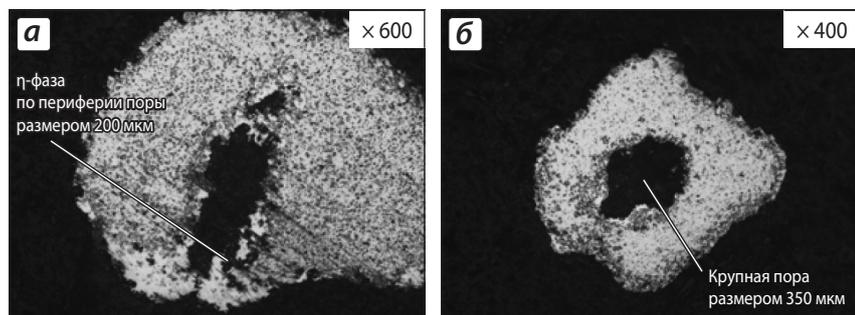


Рис. 1. Фотографии микроструктуры частиц ЗВК9-12п.02 (а) и ЗВК9-05п.02 (б) с выявленными дефектами

а – η-фаза по периферии поры размером 200 мкм

б – крупная пора размером 350 мкм

туре до 520 °С в атмосфере водорода. Предварительное спекание проводилось в 4-зонной проходной печи толкательного типа с водородной атмосферой. Содержащийся в формованных изделиях парафин испаряется за счет нагрева и в виде паров удаляется потоком водорода из печи. Окончательное спекание проводилось в этой же печи. Здесь образцы подвергались воздействию восстановительной атмосферы в течение длительного времени. В структуре данного сплава обнаружены кружевная η-фаза, а также крупные поры (рис. 1).

Таким образом, установлено, что данная партия зернового твердого сплава ЗВК9-05п.02 дефектна по микроструктуре.

2. Партия ВК9Сп.07, как и в первом случае, была изготовлена из карбида вольфрама, приведенного к стехиометрическому значению $C_{\text{общ}} = 6,12\%$. Но при этом был изменен режим спекания зернового твердого сплава: образцы спекались в вакуумной печи периодического действия при температуре 1400 °С вместо водородной. Из приведенных в таблице данных видно, что твердый сплав обезуглеродился в меньшей степени, чем в первой партии, но все равно достаточно сильно. Исходя из данных работы [2], значение $M_s = 126 \text{ Гс/Г}_{\text{Co}}$ эквивалентно величине $C_{\text{общ}} = 6,00\%$. Согласно диаграмме состояния W–C–Co содержание общего углерода 6,00 % по отношению к карбидной фазе сплава находится на границе двухфазной области $\gamma + \text{WC}$, а это означает большую вероятность присутствия η-фазы в структуре [3].

Далее было проведено спекание опытной партии зернового твердого сплава ЗВК9-05п.07. Сначала образцы с засыпкой из чистого электрокорунда, накрытые графитовой крышкой, подвергались предварительному спеканию в водородной печи с целью отгонки пластификатора, а затем – окончательному спеканию в вакуумной

печи для уменьшения остаточной пористости в структуре сплава.

По сравнению с водородным вакуумное спекание создает более благоприятные условия для получения однородных сплавов с лучшим смачиванием карбидных зерен жидкой фазой.

Итак, установлено, что применение вакуумного спекания зернового твердого сплава позволило практически исключить наличие крупных пор в его структуре и достичь остаточной пористости А1В1, однако от присутствия η-фазы в структуре сплава избавиться не удалось (рис. 2).

3. На заключительном этапе исследования анализировалась третья партия твердого сплава ВК9Сп.08. С целью компенсации потери углерода при спекании исходную смесь карбида вольфрама подшихтовали сажей Т-900 с избытком в расчете на содержание общего углерода в карбиде 6,21 % вместо 6,12 %. После спекания данных образцов были получены результаты, приведенные в таблице.

Магнитное насыщение увеличилось до 146 Гс/Г_{Co}, что эквивалентно $C_{\text{общ}} = 6,08\%$, т. е. был получен нормальный углеродный баланс твердого сплава.

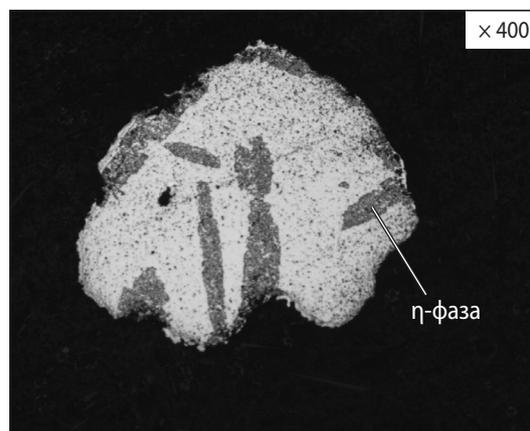


Рис. 2. Микроструктура частицы ЗВК9-05п.07

Спекание опытной партии зернового твердого сплава ЗВК9-12п.08 было проведено в 2 стадии аналогично предыдущему исследованию. В результате получена достаточно однородная спеченная структура без наличия η -фазы, крупных пор и с остаточной пористостью В1 (рис. 3).

Слой, наплавленный с применением трубчатых электродов, представляет собой железную матрицу с частицами зернового твердого сплава в ней, которые и придают покрытию высокую износостойкость (рис. 4).

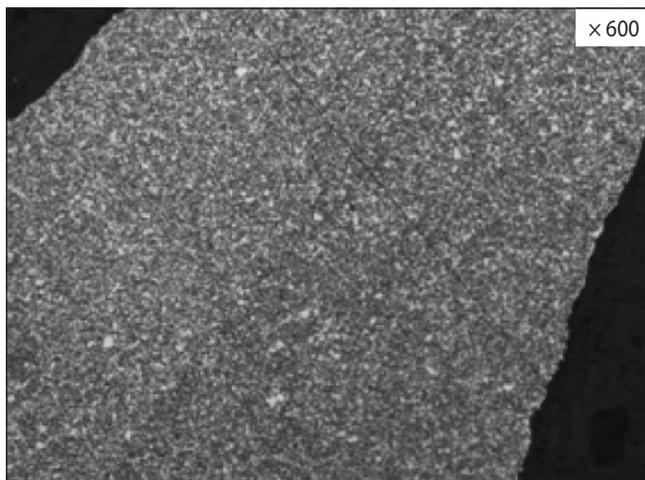


Рис. 3. Микроструктура частицы ЗВК9-12п.08

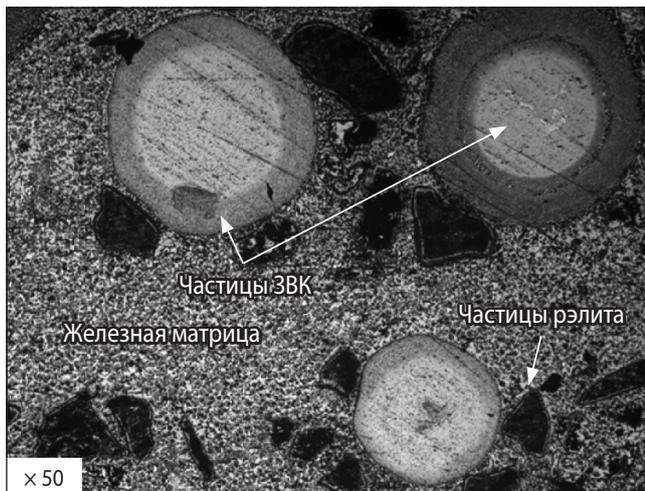


Рис. 4. Микроструктура наплавленного слоя

При наплавке стальной трубки с наполнителем в виде зерен зернового твердого сплава происходит расплавление только трубки. Расплавленное железо является матрицей, удерживающей износостойкие твердосплавные зерна. Сами они не расплавляются и никаких превращений не испытывают, и, более того, их частичное оплавление и растворение в матрице является дефектом наплавленного слоя.

Получение однородной структуры зернового твердого сплава позволяет повысить стойкость бурового долота к абразивному износу и сопротивлению ударным нагрузкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние различных режимов спекания наплавочного зернового твердого сплава на его структуру. Показана сильная зависимость ее однородности от атмосферы спекания и углеродного баланса в сплаве.

Предложены технологические методы получения однородной структуры зернового твердого сплава:

- насыщение исходной твердосплавной смеси избытком углерода в пересчете на 6,21 % содержания общего углерода в карбиде вольфрама;
- спекание зернового твердого сплава в засыпке из чистого электрокорунда белого марки 25А в вакуумной печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панов В. С., Чувиллин А. М., Фальковский В. А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: Уч. пос. 2-е изд. доп. и перераб. М.: МИСиС, 2004.
2. Сальников М. А. Разработка буровых твердых сплавов с повышенными характеристиками пластичности и трещиностойкости на основе высокотемпературных карбидов вольфрама: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Самара: СамГТУ, 2009.
3. Бабич М. М. Неоднородность твердых сплавов по содержанию углерода и ее устранение: Уч. пос. Киев: Наук. думка, 1975.