

УДК 669.018.25:669-138.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАКРОГЕТЕРОГЕННОГО КОМПОЗИТА ЧУГУН-ТВЕРДЫЙ СПЛАВ

Пашинский В. В., Субботина М. Г.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE 'CAST IRON-HARD ALLOY' CAST-IN-CARBIDE

Pashynsky V. V., Subbotina M. G.

Получен композит «твердый сплав-чугун» посредством спекания порошков железа, карбида кремния, графита и частиц твердосплавного лома. Доказано протекание частичного растворения включений твердого сплава в железной матрице в процессе спекания, что приводит к получению макрогетерогенного материала. Производство таких материалов экономически выгодно с точки зрения экономии исходного сырья и возможности управления параметрами структуры. Рис. 4, Табл. 2, Ист. 4.

Ключевые слова: композиционный материал, твердый сплав, спекание, микроструктура, гетерогенность.

Постановка проблемы. Большая часть марок твердых сплавов состоит из высокостоящих и дефицитных компонентов, в частности, карбида вольфрама. Именно поэтому ведутся разработки альтернативах составов сплавов. Значительная экономия может быть достигнута при использовании в производстве отработанного твердосплавного лома. Кроме того, иногда целесообразно использовать композиции, которые на долю состоят из твердого сплава, а основная их часть – чугун, сталь. Некоторые аспекты разработки подобных композитов, известных как cast-in-carbide, описаны в [1]. Впервые такие материалы были разработаны фирмой SANDVIK для эксплуатации в условиях абразивного износа с ударным нагружением. При этом микроструктура этих уникальных материалов состоит из чугуна с шаровидным графитом и включений карбидов, которые внедряются на поверхность изделия, образуя слой толщиной 5-20 мм. Попытка разработать аналог такого материала описана в работе [2], где была использована стальная матрица и включения карбида кремния. Тем не менее, в литературе отсутствует подробное описание микроструктуры и характеристик изменения свойств таких материалов по глубине изделия.

Цель и задачи исследования. Целью работы была разработка композиционного материала, состоящего из чугунной матрицы и упрочненного

макротвключениями твердосплавного лома. Задачами работы было: доказать возможность получения композита cast-in-carbide методами порошковой металлургии; установить степень растворения твердого сплава в чугунной матрице; изучить характер распределения структурных составляющих и свойств полученного материала.

Материалы и методика исследования. В работе был использован твердосплавный лом фракцией до Ø10мм, который засыпался в расплав железа с добавкой карбида кремния и графита при температуре 1280-1350°C в вакууме. Состав расплава был подобран таким образом, чтобы получить доэвтектический белый чугун. В табл. 1 приведены составы используемых материалов.

Таблица 1

Составы композиционных материалов

№	Композиционный материал:	Состав твердого сплава, %			Состав сплава ЖГрSiC, %		
		WC	Co	Ni	Fe	SiC	Графит
1	ЖГр2SiC-BK8	92	8	-	96	2	2
2	ЖГр3SiC-BK8	92	8	-	95	3	2
3	ЖГр3SiC-TC10	90	5	5	96,25	0,75	3

Композиционный материал ЖГр2SiC-BK8 был получен добавлением 1 включения сплава BK8 к предварительно расплавленному сплаву ЖГр2SiC, размещенному на графитной подложке. Спекание проводилось без приложения давления при 1280°C. Размер полученного образца составлял 60x30 мм, h=10мм. Материал ЖГр3SiC2-BK8 получен добавлением трех включений сплава BK8 аналогично ЖГр2SiC-BK8. Размер полученного образца составлял 30x30 мм, h=10мм.

Материал ЖГр3SiC-TC10 был получен добавлением 10 включений твердого сплава в расплав ЖГр3SiC. Прессование проводилось при 1350°C. Размер полученной заготовки Ø110x15мм.

Была изучена микроструктура образцов до и после травления раствором FeCl₃ в воде и

определена микротвердость на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 0,5 Н.

Результаты и обсуждение. При изучении макро- и микроструктуры образцов были обнаружены следы растворения включения твердого сплава, которые по причине повышенной плотности осели на дно спекаемой заготовки. Схема засыпки твердого сплава, места вырезки образцов для исследований и макрофотографии полученных композитов приведены на рис. 1.

Результатом расслоения является получение композиционного материала, гетерогенность которого проявляется при наблюдении невооруженным глазом, т.е. на макроуровне, что позволяет полученный материал отнести к классу макрокомпозитов.

При рассмотрении микроструктуры при небольших увеличениях обращает на себя внимание образовавшаяся «сетка», состоящая из областей размером до 100-150 мкм (рис. 2, а), отличающихся соотношением структурных составляющих: границы сетки состоят преимущественно из карбидов (светлого цвета при наблюдении в оптический микроскоп), а внутренняя ячейка – из связующего материала.

Такая структура характерна для образцов, полученных без приложения давления, и особенно

отчетливо проявляется в области чугунной составляющей. Области перехода структуры твердого сплава в чугун имеют размытые границы и представляют собой зону с постепенным увеличением расстояния между карбидами (рис. 2, б).

При больших увеличениях весь образец представляет собой градиентную структуру: количество карбидной фазы непрерывно увеличивается при приближении к включениям твердого сплава. При этом матрица является типичной структурой белого чугуна. Наиболее специфичную структуру имеет переходная зона, в которой наблюдаются как частицы WC, так и связующая фаза перлитной структуры. Такая градиентная структура позволяет определить изменение доли площади поля зрения, занимаемой различными структурными составляющими, по длине шлифа. Методом автоматического подсчета в программе ImageTool по цвету структурных составляющих была измерена площадь, которую занимают карбиды, матрица, поры (в случае свободного спекания). Микроструктура в поле зрения чугунной матрицы, включений твердого сплава и переходной зоне представлена на рис.3, а результаты расчетов доли структурных составляющих приведены в табл. 2.

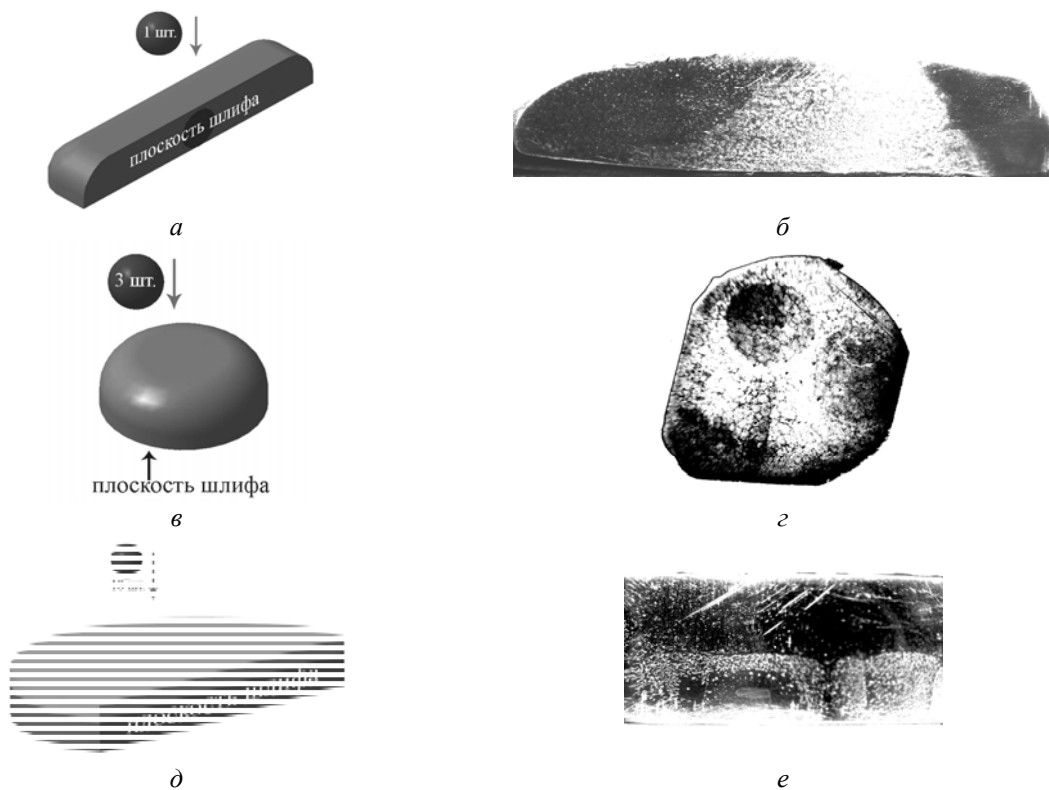


Рис. 1. Внешний вид образцов композиционного материала: а, в, д – схема расположения плоскости шлифов для образцах ЖГр2SiC-BK8, ЖГр3SiC2-BK8 и ЖГр3SiC-TC10 соответственно; б, з, е – макроструктура образцов ЖГр2SiC-BK8, ЖГр3SiC2-BK8 и ЖГр3SiC-TC10 соответственно

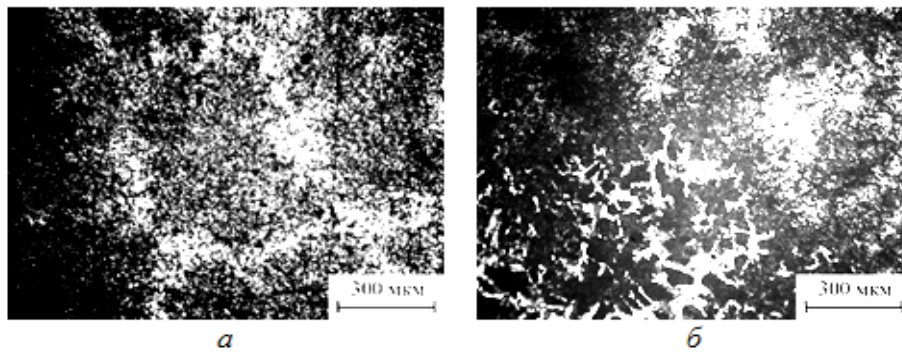


Рис. 2. Гетерогенность структуры композита ЖГр3SiC2-BK8, x100:
а – «сетчатая» структура; б – место перехода твердого сплава в чугун

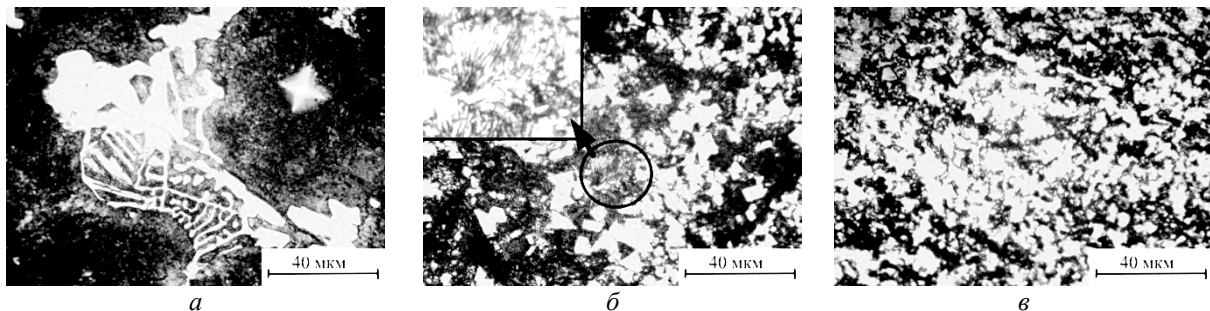


Рис. 3. Микроструктура композита ЖГр3SiC, x1000:
а – зона белого чугуна; б – переходная зона; в – включения твердого сплава

Таблица 2

Площадь, занимаемая структурными составляющими по сечению образцов, %

Сплав ЖГр2SiC-BK8 (измерение по длине образца)				
№	Расстояние, мм; тип структуры	Карбид	Матрица	Поры
1	l=15 мм - белый чугун	11,8± 6,8	80,8± 0,9	9,8±4,9
2	l=30 мм - твердый сплав	43,5±12,3	29,1±18,5	5,9±14,9
3	l=45 мм - белый чугун	16,4±7,4	77,9±7,9	4,7±1,8
Сплав ЖГр3SiC-TC10 (измерение по толщине образца)				
1	l=3 мм - белый чугун	14±6	86±6	-
2	l=7 мм – переходная зона	18±11	82±11	-
3	l=12 мм - твердый сплав	37±8	63±8	-

Содержание структурных составляющих, в частности карбидов, изменяется по сечению образца: максимальное содержание карбида достигается в местах внедрения твердого сплава, а минимальное – в области белого чугуна. При этом тип карбида, безусловно, должен меняться – от WC до сложного карбида железа. Соответственно со структурой изменяется и твердость: твердость чугуна равна 66...70 HRA, в переходной зоне – 66 HRA, а в месте включений твердого сплава – 70...72 HRA. При этом твердость исходного твердого сплава составляла до 88 HRA, понижение ее уровня в конечном композите также свидетельствует о произошедших процессах растворения.

Интегральная твердость, измеренная при малой нагрузке 0,5 Н, имеет сложный характер изменения. Для образцов сплава ЖГр3SiC-TC10 была измерена твердость на следующих структурных составляющих: перлитная и карбидная составляющая ледебурита; переходная структура

между чугуном и твердым сплавом (зона растворения); твердый сплав. Изменение этих значений по сечению образца приведено на рис. 4.

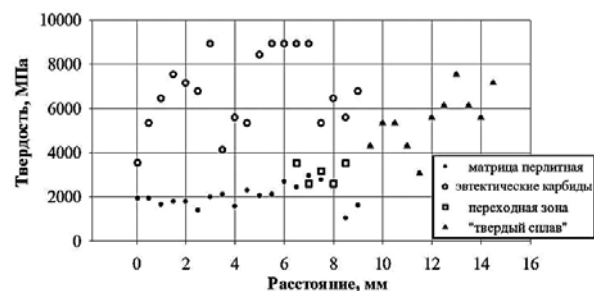


Рис. 4. Изменение твердости по сечению образца ЖГр3SiC-TC10

Максимальной твердостью, согласно полученным данным, обладают эвтектические карбиды (до 9000 МПа), минимальной – перлитная

матрица (2000 МПа). Твердость включений TC10 составляет от 8000 МПа до 3000 МПа.

Следовательно, разработанные композиты «твердый сплав-чугун» являются градиентным материалом, который обладает ярко выраженной гетерогенностью структуры и свойств. Важно также отметить, что при правильном конструировании композитов может быть точно задано количество включений твердого сплава, расстояние между ними, а за счет температуры и времени спекания – даже степень растворения в чугуновой матрице.

Выводы. Таким образом, разработаны экономичные композиционные материалы, созданные из твердосплавного лома. Показана возможность создания макрогетерогенного композиционного материала «чугун - твердый сплав», который обладает градиентной структурой и свойствами. Рекомендуются использовать такой композиционный материал для изготовления изделий, подверженных высокому износу поверхности в условиях воздействия абразивных сред. С точки зрения практического применения такие композиты могут стать незаменимыми материалами для изготовления изнашивающихся изделий.

Л и т е р а т у р а

1. Sandvik Hard Materials, Sandvik's cast-in-carbide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.miningandconstruction.sandvik.com/SANDVIK/8990/S003114.nsf/Index/4825708b004934ecc12578e1002607fb/\\$FILE/HX900_brochure_lowres.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/SANDVIK/8990/S003114.nsf/Index/4825708b004934ecc12578e1002607fb/$FILE/HX900_brochure_lowres.pdf) (дата обращения 26.09.2014).
2. Lemster, K. Processing and microstructure of metal matrix composites prepared by pressureless Ti-activated infiltration using Fe-base and Ni-base alloys / K. Lemster, T. Graule, J. Kuebler // *Materials Science and Engineering A*. – 2005. – Vol. 393. – Iss. 1-2. – P. 229-238.
3. Dejan C., Rakin M., Todic A. Cast Steel-SiC composites as wear resistant materials // *FME Transactions*. – 2009. – Vol. 37. – P. 151-155.
4. Пашинский, В. В. Определение параметров трещиностойкости инструментальных сплавов по длине радиальной трещины / В. В. Пашинский, М. Г. Субботина // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2014. – №1(35). – С. 46-53.

R e f e r e n c e s

1. Sandvik Hard Materials, Sandvik's cast-in-carbide [Online source]. – Access mode: [http://www.miningandconstruction.sandvik.com/SANDVIK/8990/S003114.nsf/Index/4825708b004934ecc12578e1002607fb/\\$FILE/HX900_brochure_lowres.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/SANDVIK/8990/S003114.nsf/Index/4825708b004934ecc12578e1002607fb/$FILE/HX900_brochure_lowres.pdf) (access date 26-09-2014).

2. Lemster, K. Processing and microstructure of metal matrix composites prepared by pressureless Ti-activated infiltration using Fe-base and Ni-base alloys / K. Lemster, T. Graule, J. Kuebler // *Materials Science and Engineering A*. – 2005. – Vol. 393. – Iss. 1-2. – P. 229-238.
3. Dejan C., Rakin M., Todic A. Cast Steel-SiC composites as wear resistant materials // *FME Transactions*. – 2009. – Vol. 37. – P. 151-155.
4. Pashinskiy, V. V. Opredelenie parametrov treshchinostoykosti instrumental'nykh spлавov po dline radial'noy treshchiny / V. V. Pashinskiy, M. G. Subbotina // *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*. – 2014. – Is. 1 (35). – P. 46-53.

Пашинський В. В., Субботіна М. Г. Дослідження структури та властивостей макрогетерогенного композиту чавун-твердий сплав

Отриманий композит «чавун-твердий сплав» методом спікання порошків заліза, карбіду кремнію, графіту та часток твердосплавного лому. Доведено протікання часткового розчинення включень твердосплавного лому у залізі під час спікання, що призводить до отримання макрогетерогенного матеріалу. Виробництво таких композитів є економічно доцільним за рахунок можливості економії твердого сплаву та можливості впливу на параметри структури. Рис. 4, Табл. 2, Дж. 4.

Ключові слова: композитний матеріал, твердий сплав, спікання, мікроструктура, гетерогенність.

Pashynsky V. V., Subbotina M. G. Structure and properties of the 'cast iron-hard alloy' cast-in-carbide

The cast iron-hard alloy cast-in-carbide was produced via sintering of Fe, Si Cans graphite powders with several pieces of hard alloy scrap. It was proved that partial dissolving of the scrap was taking place while sintering and it led to the macro-heterogeneous composite formation. The utilization of such materials might be income-generating production due to saving of high-priced hard alloys. It also make possible to control parameters of the macro- and microstructure as well as mechanical properties. Fig. 4, Tab. 2, Lit. 4.

Key words: composite material, cast-in-carbide, hard alloy, sintering, microstructure, heterogeneity.

Пашинський Володимир Вікторович – д.т.н., доцент, професор кафедри фізичного матеріалознавства, Донецький національний технічний університет (м. Красноармійськ) vpashynsky@gmail.com

Субботіна Марія Геннадіївна – аспірант кафедри фізичного матеріалознавства, Донецький національний технічний університет (м. Красноармійськ) pbn-box@mail.ru.

Рецензент: - д.т.н., професор

Стаття подана 03.10.2014