

ISSN 1684-579X

Материаловедение

Научно-технический журнал

3 2010

Materials Science Transactions

Материаловедение

3 (156)'2010

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с февраля 1997 г.

Журнал переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing Ltd." в журнале "Inorganic Materials: Applied Research", распространение которого осуществляет издательство "Springer"

Рекомендован ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: машиностроение; химия; металлургия и металловедение; физика

Автор(ы) статьи передает(ют) исключительное право издательству ООО "Наука и технологии" на ее публикацию в любой форме в данном журнале и его зарубежных аналогах. Гонорар выплачивается только за русскоязычное издание

Редакционная коллегия

Главный редактор

академик РАН К. А. СОЛНЦЕВ

Заместители главного редактора:

чл.-корр. РАН С. М. БАРИНОВ

проф. д-р физ.-мат. наук А. М. ГЛЕЗЕР

проф. д-р техн. наук С. Б. МАСЛЕНКОВ

Ответственные секретари журнала:

канд. техн. наук В. С. КОМЛЁВ

проф. д-р физ.-мат. наук Б. Б. СТРАУМАЛ

Россия

Андреевский Р. А., Белоусов В. В., Бланк В. Д., Бокштейн Б. С., Бузник В. М., Бурханов Г. С., Валиев Р. З., Викарчук А. А., Головин Ю. И., Грановский А. Б., Дембовский С. А., Добаткин С. В., Ермаков А. Е., Иевлев В. М., Исхаков Р. С., Калинин Б. А., Калошкин С. Д., Каргин Ю. Ф., Классен Н. В., Ковалевский М. А., Колобов Ю. Р., Котенев В. А., Куцев С. Б., Лальянов В. И., Ланин А. Г., Лотков А. И., Мальцев Е. И., Микитаев А. К., Никулин С. А., Огарев В. А., Плотников В. С., Прокошкин С. Д., Разов А. И., Светлов И. Л., Соколов В. В., Томилин И. А., Третьяков Ю. Д., Фармаковский Б. В., Шамрай В. Ф., Швиндлерман Л. С., Шефтель Е. Н.

Зарубежные страны

Беларусь: Витязь П. А., Роман О. В., Рубаник В. В.

Германия: Дивинский С., Готтштайн Г., Новиков В. Ю.

Израиль: Гликман Е. Э., Клигер Л. М., Рабкин Е. И.

Канада: Браиловский В.

Латвия: Муктепавела Ф.

США: Витек В., Ройтбурд А. Л., Фарбер Б. Я.

Украина: Гусак А. М., Мильман Ю. В., Скороход В. В., Фирстов С. А., Шпак А. П.

Чехия: Пайлар В.

Эстония: Угасте И.

Япония: Виноградлов А.

Ведущий редактор Г. Д. Журавлева

При использовании материалов журнала в любой форме ссылка на журнал обязательна.

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.

Адрес издательства:

107076, Москва, Стромовский пер., 4

Телефон: (499) 748-2052

Факс: (499) 164-4774

E-mail: admin@nait.ru http://www.nait.ru

© ООО "Наука и технологии", 2010

Физические основы материаловедения

- Башоров М. Т., Козлов Г. В., Микитаев А. К. Полимеры как естественные наноконпозиты: тепловое расширение. 2
- Сандовский В. А., Уваров А. И., Ануфриева Е. И., Вильданова Н. Ф., Филиппов Ю. И. Исследование распада пересыщенного твердого раствора и мартенситного превращения в стареющих инварах с помощью магнитных методов 5

Компьютерное моделирование материалов и процессов

- Гулевский В. А., Мухин Ю. А., Кидалов Н. А. Модель взаимодействия матричных сплавов при получении композиционных материалов 13

Методы анализа и испытаний материалов

- Чердынцев В. В., Сенатов Ф. С., Калошкин С. Д., Кузнецов Д. В. Механохимический синтез ультрадисперсных порошков оксидов марганца и цинка. 19
- Криштал М. М., Демин И. С., Хрусталева А. К., Борозин С. А. Исследования эволюции локализации пластической деформации с использованием фрактального анализа поверхности. 24
- Козлова О. В., Родин А. О., Брассини М., Эвстапопулос Н. Изучение механической прочности спаянного шва соединения металл—керамика с помощью пуансона 34

Материалы XXI века

- Конашин И. Ю., Рис Б., Лахманн Ф., Мазилкин А. А., Страумал Б. Б. Новый твердый сплав с нанопропрочненной связкой. 38

Структура и свойства материалов

- Ходяков А. А., Ермолаев В. М., Меньяло К. А., Захарова Е. В. Особенности формирования двойного электрического слоя на частицах песчано-глинистой породы в растворах кислоты и щелочи. 41
- Бондаренко С. А., Бондаренко Е. А., Григорьева Г. А., Гусев А. С., Каргин Н. И., Михнев Л. В. Структурные особенности фотонных кристаллов, полученных методом самоорганизации коллоидных микросфер полистирола 45

Наноструктуры и нанотехнологии

- Ситников А. В. Магнитные свойства и особенности формирования структуры наногранулированных композитов металл—диэлектрик 49

Дегградация материалов

- Иванов Ю. Ф., Корнет Е. В., Громов В. Е. Каналы локализованной деформации закаленной конструкционной стали 62

В НОМЕРЕ

ных граничных условий на границе припой—керамика [15]. В таком случае величина практической работы адгезии соединения может быть определена без вклада энергии, затраченной на пластическую деформацию.

Выводы

В данной работе был предложен метод оценки механической прочности спаянного шва методом испытания на вытяжку лунки с помощью пуансона. Результаты, полученные для соединения медь—корунд, спаянного реактивной пайкой, позволили сделать вывод о возможности применения данного метода испытаний для изучения механической прочности соединения в системах металл—керамика. Данный метод обеспечивает зарождение и распространение трещины на границе припой—корунд, а не внутри керамики. С помощью полученных экспериментальных данных оценено значение работы адгезии, необходимой для распространения трещины, определенное как 50—100 Дж/м². Предложены шаги для дальнейшего улучшения экспериментальной установки и методов обра-

ботки результатов, чтобы исключить из значения удельной работы разрушения в спаянном шве вклад работы, затраченной на пластическую деформацию металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eustathopoulos N., Nicholas M., Drevet B. Wettability at high temperatures // Pergamon materials series. V. 3. Oxford (UK): Pergamon. 1999. P. 362.
2. Voytovych R., Robaut F., Eustathopoulos N. // Acta Mater. 2006. N 54. P. 2205—2214.
3. Valette C., Devismes M.-F., Voytovych R. O., Eustathopoulos N. // Scripta Mater. 2005. N 52. P. 1—6.
4. Carim A. N. // Scripta Metal. Mater. 1991. N 25. P. 51—54.
5. Vianco P. T., Stephens J. J., Hlava P. F., Walker C. A. // Weld. 1003. N 82 (10), S. 268—277.
6. Cazajus V., Lorrain B., Weleman H., Karama M. // Advances in Sci. Techn. 2006. N 45. P. 1543—1550.
7. Mandal S., Ray As. K., Ray Aj. K. // Mater. Sci. Eng. 2004. A383. P. 235—244.
8. Wan K. T., Liao K. // Thin Solid Films. 1999. N 352. P. 167—172.
9. O'Brien E. P., Goldfarb S., White C. C. // J. Adhesion. 2005. N 81. P. 599—621.
10. Wan K.-T., Guo S., Dillard D. A. // Thin Solid Films. 2003. N 425. P. 150—162.
11. Jensen H. M. // Eng. Fract. Mech. 1991. N 40. P. 475—486.
12. Wan K.-T. // J. Adhesion. 1999. N 70. P. 209—219.
13. Howe J. M. // Int. Mater. Rev. 1993. N 38. P. 257—271.
14. Lee C. Y., Dupoux M., Tuan W. H. // Mater. Sci. Eng. 2007. A 467. P. 125—131.
15. Cornec A., Schneider I., Schwalke K. H. // Eng. Fract. Mech. 2003. N 70. P. 163—1987.

МАТЕРИАЛЫ XXI ВЕКА

УДК 644.2:541.1

НОВЫЙ ТВЕРДЫЙ СПЛАВ С НАНОУПРОЧНЕННОЙ СВЯЗКОЙ*

И. Ю. КОНЯШИН, Б. РИС, Ф. ЛАХМАНН, А. А. МАЗИЛКИН, Б. Б. СТРАУМАЛ

Element Six GmbH, St..@adeweg 18-24, D-36151 Burghaun (Germany)

ИФТТ РАН, г. Черноголовка, (e-mail: straumal@issp.ac.ru)

МИСиС, г. Москва (Россия)

Разработан новый наноструктурированный твердый сплав с нанопропрочненной связкой. Микроструктура нового сплава состоит из округлых зерен карбида вольфрама и связки на основе кобальта, упрочненной наночастицами θ -фазы ($\text{Co}_2\text{W}_4\text{C}$). Микротвердость связки в новом сплаве значительно превосходит микротвердость связок обычных твердых сплавов за счет упрочнения наночастицами. В результате особенность микроструктуры в сочетании с нанопропрочненной связкой новый сплав характеризуется существенно более высокой эксплуатационной стойкостью в сравнении с обычным сплавом с близким средним размером зерна WC и одинаковым содержанием Co.

Ключевые слова: твердый сплав, нанопропрочненная связка, микроструктура.

Введение

Потребность в улучшенных твердых сплавах для строительного и горного инструментов постоянно растет. Износ и раз-

рушение твердосплавных вставок в дорожных и угольных резах являются в настоящее время основными факторами, определяющими срок службы инструмента. Дорожные, угольные и проходческие резацы эксплуатируются в условиях высоких контактных температур (свыше 1000 °С), высоких ударных нагрузок, термоуда-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ (контракт 02.740.11.5081).

ра, интенсивного абразивного износа и усталостных нагрузок. Твердый сплав WC—Co является единственным материалом, способным работать в таких условиях благодаря уникальному сочетанию физико-механических и эксплуатационных свойств. Вместе с тем, во многих случаях обычные твердые сплавы работают на грани своих свойств, что делает разработку новых марок сплавов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами особенно актуальной.

Одним из важных путей резкого повышения физико-механических и эксплуатационных свойств различных материалов является наноструктурирование. Проблеме повышения свойств твердых сплавов путем разработки нанозернистых твердых сплавов на основе нанопорошков карбида вольфрама были посвящены многочисленные работы (см. например [1–3]). Однако все опубликованные работы в этой области не привели к положительным результатам, поскольку структура таких сплавов после спекания характеризовалась наличием весьма

крупных зерен карбида вольфрама, образовавшихся в результате интенсивного роста нанопорошков путем растворения и перекристаллизации в жидкой фазе.

Данная работа посвящена исследованиям структуры и свойств нового твердого сплава с нанопропрочненной связкой. Связка этого сплава упрочнена наночастицами θ -фазы ($\text{Co}_2\text{W}_4\text{C}$).

Методика эксперимента

Оптическая микроскопия и просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEOL-2000FX были использованы в настоящей работе. Трещиностойкость твердых сплавов определялась по методу Палмквиста на шлифах при нагрузке 1000 Н. Микротвердость связки определялась на приборе Leitz 7862 с использованием специальных модельных образцов WX — 70 % Co, характеризующихся протяженными прослойками связки при нагрузке 3000 Н.

Эксплуатационные испытания проходческих резцов, оснащенных новым и стандартным сплавами, производились при резании песчаника.

Результаты и обсуждение

На рис. 1, а показана микроструктура нового сплава с нанопропрочненной связкой для проходческих и угольных резцов. Микроструктура состоит из крупных, округлых зерен карбида вольфрама и прослоек связки на основе Co между ними. Прослойки связки достигают толщины в несколько микрон, что обеспечивает получение очень высокой трещиностойкости нового сплава. При индентировании шлифа твердого сплава образуются чрезвычайно короткие трещины Палмквиста, как видно на рис. 1, б, что свидетельствует о его высокой трещиностойкости, которая составляет как минимум $20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Трещиностойкость образца, показанного на рис. 1, составляет $20,4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ при твердости $HV_{10} = 1050$. Следует отметить, что энергия, приложенная к поверхности шлифа при индентировании, хорошо распределена на поверхно-

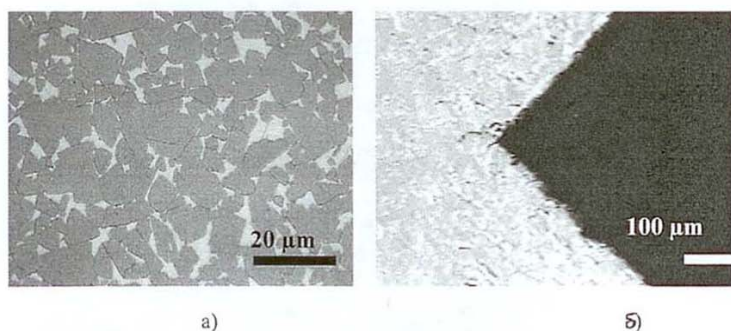


Рис. 1. Микроструктуры нового сплава для проходческих и угольных резцов: а — содержание Co 9,5 %; б — отпечаток Викерса на шлифе нового сплава, полученный при нагрузке 1000 Н

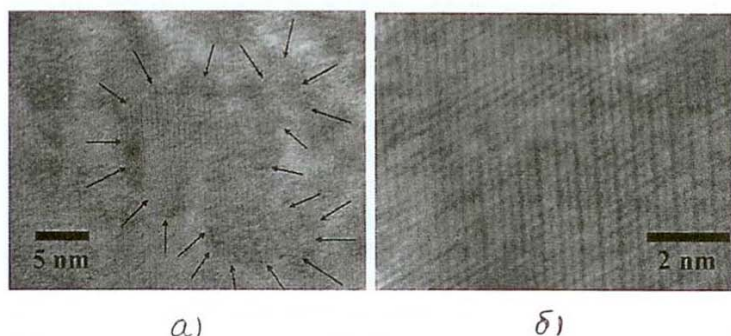


Рис. 2. Структура связки нового сплава с нанопропрочненной связкой (просвечивающая микроскопия высокого разрешения): а — несколько наночастиц, сросшихся в агломерат, в матрице на основе ГЦК кобальта; б — межзеренная граница наночастица—матрица

сти индентора за счет образования многочисленных микротрещин, размер которых сопоставим с размером 2—3 карбидных зерен. В результате этого процесс образования и распространения трещин в новом сплаве может быть эффективно подавлен за счет наличия протяженных прослоек связки между зернами карбида вольфрама. Относительно высокая твердость и трещиностойкость нового сплава в сочетании с нанопропроченной связкой должны обеспечить высокую стойкость инструмента, оснащенного этим сплавом.

На рис. 2 представлена структура связки нового сплава, полученная просвечивающей электронной микроскопией высокого разрешения. Хорошо видно, что связка содержит наночастицы, которые по данным [4, 5] состоят из твердой θ -фазы ($\text{Co}_2\text{W}_4\text{C}$). Из рис. 2 видно, что наночастицы не превышают по размеру 10 нм и образуют в ряде случаев агломераты. В соответствии с общими принципами нанопропрочнения [6] связка нового сплава должна характеризоваться значительно большей твердостью в сравнении с обычными связками на основе Co. Измерения микротвердости нанопропроченной связки в сравнении с обычными связками в твердых сплавах показали, что ее микротвердость составляет $HV_{0,3} = 790$, тогда как обычные связки характеризуются микротвердостью $HV_{0,3} = 350$ до 450 в зависимости от содержания углерода.

Нанопропрочнение связки в новом твердом сплаве приводит к значительному повышению стойкости резцов при резании песчаника. На рис. 3 представлены результаты шахтных испытаний нового сплава в сравнении с обычным сплавом с тем же средним размером фазы WC и содержанием Co. Как видно из рис. 3, новый сплав с нанопропроченной связкой характеризуется не только значительно более высокой износостойкостью, но и большим сопротивлением хрупкому разрушению. На рис. 4 представлены резцы до шахтных испытаний и после них, изготовленные с использованием обычного и нового твердого сплавов. Из рисунка видно, что резцы, оснащенные новым сплавом, характеризуются значительно меньшим износом.

Выводы

Новый твердый сплав с нанопропроченной связкой характеризуется особо крупнозернистой микроструктурой, характеризующейся наличием

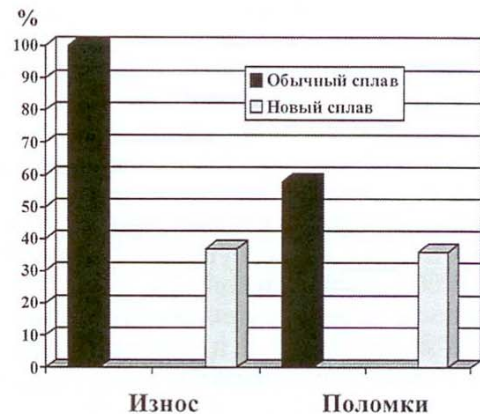


Рис. 3. Результаты эксплуатационных испытаний резцов с обычным и новым сплавом при проходке туннеля (резание песчаника)



Рис. 4. Резцы с обычным и новым твердым сплавом до и после эксплуатационных испытаний при проходке туннеля (резание песчаника)

округлых зерен WC и протяженных Co прослоек между ними. В результате этого новый сплав обладает высокой твердостью в сочетании с чрезвычайно высокой трещиностойкостью. Микротвердость связки в новом сплаве значительно превосходит микротвердость связок обычных твердых сплавов за счет упрочнения наночастицами θ -фазы ($\text{Co}_2\text{W}_4\text{C}$). В результате особенностей микроструктуры в сочетании с нанопропроченной связкой новый сплав характеризуется существенно более высокой эксплуатационной

стойкостью в сравнении с обычным сплавом с близким средним размером зерна WC и одинаковым содержанием Co.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shao G., Duan X., Xie J. et al. Sintering of nanocrystalline WC—Co composite powder // Rev. Adv. Mater. Sci. 2003. V. 5. P. 281—286.
2. Tan X., Qiu S., He W., Lei D. Functionally graded nano hard-metal materials made by spark plasma sintering technology // J. Metastable Nanocrystalline Mater. 2005. V. 23. P. 179—182.
3. Lin C., Yuan G. Effects of rare earths on the microstructure of nano-grained WC—VC—10Co hardmetals // Proc. 16th Int. Plansee Seminar / Ed. by G. Kneringer, P. Rödhammer P. and H. Wildner. Reutte. 2005. V. 2. P. 363.
4. Konyashin I., Schäfer F., Cooper R. et al. Novel ultra-coarse hardmetal grades with reinforced binder for mining and construction // Int. J. Refractory Met. Hard Mater. 2005. V. 23. P. 225—232.
5. Konyashin I., Ries B., Lachmann F. et al. Hardmetals with nano-grained reinforced binder: Binder fine structure and hardness // Int. J. Refractory Met. Hard Mater. 2008. V. 26. P. 583—588.
6. Hornbogen E., Warlimont H. Metallkunde: Aufbau und Eigenschaften von Metallen und Legierungen. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Vlg., 2001. 374 s.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

УДК 544.72

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ НА ЧАСТИЦАХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ПОРОДЫ В РАСТВОРАХ КИСЛОТЫ И ЩЕЛОЧИ

А. А. ХОДЯКОВ, В. М. ЕРМОЛАЕВ, К. А. МЕНЯЙЛО, Е. В. ЗАХАРОВА

ИФХЭ РАН

(e-mail: zaknarova@ipcrrssi.ru)

Изучены особенности формирования двойного электрического слоя в растворах, содержащих уксусную кислоту и щелочь. При контакте (до достижения адсорбционного равновесия) песчано-глинистой породы с уксусной кислотой и щелочью протекают процессы выщелачивания, вследствие которых в жидкую фазу не только переходят компоненты песчано-глинистой породы, но и изменяется структура двойного электрического слоя. Показано, что параметр электрокинетического потенциала песчано-глинистой породы является величиной аддитивной, т. е. отражает свойства входящих в породу минералов.

Ключевые слова: песчано-глинистая порода, выщелачивание, двойной электрический слой.

При длительном хранении жидких радиоактивных отходов в глубинных хранилищах происходит преобразование пород, изменяется состав растворов, их солесодержание [1—3]. Сложность и многообразие процессов, происходящих при контакте песчано-глинистой породы (дисперсного материала) с растворами, содержащими радионуклиды, делают актуальными исследования, позволяющие прогнозировать возможность формирования на поверхности частиц двойного электрического слоя (ДЭС), так как ДЭС непосредственно связан с адсорбционными характеристиками различных материалов. Известно, что формирование ДЭС наблюдается на поверхности частиц глинистых минералов, кварца (входят в состав песчано-глинистой породы) в разбавленных растворах электролитов [4—7]. Последнее подтверждает целесообразность проведения исследований ДЭС в условиях глубинного хранилища.

Экспериментальная часть

Метод электроосмоса используется для характеристики двойного электрического слоя, образующегося на поверхности частиц дисперсных материалов (дисперсная фаза) в водных растворах электролитов (дисперсионная среда). При организации электроосмотических опытов подвижной фазой была дисперсионная среда (получаемая в результате контакта объектов исследования с растворами), а неподвижной — песчано-глинистая порода (ПГП), тонкодисперсный каолинит (Каол), кварц (Кв), механические смеси кварца с ПГП и Каол.

Электроосмотические опыты проводили по схеме, аналогом которой были опыты Рейсса [4]. Электроосмотическая ячейка представляла собой прямоугольную камеру ($5,5 \cdot 10^{-2} \times 1,5 \cdot 10^{-2} \times 2,0 \cdot 10^{-2}$ м), к дну которой были приклеены две сетчатых (полимер-