

Таблица 2. Прочность при одноосном статическом сжатии образцов ПСТМ, полученных в различных системах

Прочность	Разрушающая нагрузка, кН в системе		
	$S_{алм - Si}$	$S_{алм - Si - 0,3\% Pd}$	$S_{алм - Si - 1\% Pd}$
Среднее значение	6,0	1,9	2,5
Доверительный интервал при $\alpha = 0,95$	1,0	0,3	0,6

### Выводы

1. Металлизация алмазных микропорошков палладием при получении ПСТМ способствует образованию на их поверхности оксида палладия.
2. Оксид палладия образует плотный барьер для равномерной пропитки композита кремнием, реакции кремния с углеродом алмаза и образования карбида кремния.
3. Палладий является активным адсорбентом кислорода и вводить его в систему следует не в виде покрытия алмазов, а в качестве соединения или сплава с кремнием.

### Литература

1. Каранам ВНАNUMURTHY, Шмидт–Фетзер Р. Экспериментальне дослідження потрійної фази
2. Pd–Si–C, рівноваги та Pd | SiC реакції // Коден ZEMTAE. – 1996. – т.86, №4. – С. 244–253.
3. Хансен М., Андерко К.. Структуры двойных сплавов. – М.: Изд-во лит. по черн. и цвет. мет., 1962. – 608 с.
4. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. – М.: Мир, 1975. – т. 2. – С. 871.
5. Ткач С. В. Особливості використання растрової електронної мікроскопії при дослідженні композитних надтвердих матеріалів та багатошарових плівкових покриттів // Сверхтвердые материалы. – 2005. - №2. – С. 45–51.
6. Эллиот Р.П.. Структуры двойных сплавов. – М.: Металлургия, 1970. – 456 с.

Поступила 07.06.10

УДК 621.921.27:621.762.2

**В. М. Волкогон**, д-р техн. наук; **С. К. Аврамчук**, **Д. А. Котляр**, **Н. Н. Кузьменко**,  
**Л. Д. Кулак**, кандидаты технических наук, **О.В. Дацкевич**

*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, г. Киев*

### ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РАСПЫЛЕННЫХ ПОРОШКОВ СПЛАВОВ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА WC + W<sub>2</sub>C

*The results of researches of process of reception of powders sintered of an alloy tungsten carbide WC + W<sub>2</sub>C, formation of their structure and properties are given.*

### Введение

Порошки сплава карбидов вольфрама WC + W<sub>2</sub>C (релита) широко применяют в качестве компонента износостойкого наплавочного материала для деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с наличием умеренных ударных нагрузок, таких как шарошечные буровые долота, замки бурильных труб, зубки ковшей экскаваторов, детали дробильных аппаратов, конусы засыпных аппаратов доменных печей. Сплав обладает уникальным комплексом физических свойств – высокой прочностью, пластичностью, твердостью и высоким модулем нормальной упругости. В соответствии с ТУУ 24.6-33876998-

001-2006 релит содержит 95,8–96,4 % вольфрама и 3,6–4,0 % связанного углерода. Содержание свободного углерода не превышает 0,05 %, железа – 0,15 %.

Существующая технология получения порошков релита состоит в изготовлении заготовок из карбидов вольфрама  $WC + W_2C$  путем переплавки в электрических печах сопротивления или плазменно-дуговым методом с разливкой в изложницу для получения слитка, из которого путем размола и ситовой классификации выделяют девять фракций. Нижняя фракция включает зерна размером 0–0,04 мм, а верхняя – 1,6–2,5 мм. Недостаток этой технологии состоит в том, что условия кристаллизации слитка определяют его неоднородность по составу и структурному состоянию – у стенок изложницы из-за максимального переохлаждения формируется мелкокристаллическая структура, а в зонах, находящихся в условиях меньшего переохлаждения, вследствие уменьшения количества центров кристаллизации создается возможность их интенсивного роста до больших размеров. Как известно, материалы с крупнокристаллической структурой имеют более низкую ударную вязкость и пластичность, поэтому склонны к разрушению при меньших внешних воздействиях. Кроме того, в процессе размола слитков возникают дефекты в виде трещин, а порошки сохраняют все характерные дефекты литья – неоднородность состава, поры и раковины, что существенно снижает износостойкость наплавки из такого материала.

В этой связи большой интерес вызывает разработка методов, позволяющих получать порошки литого сплава карбидов вольфрама однородных по составу и имеющих более высокие физико-механические свойства. Наиболее перспективен метод центробежного распыления из жидкой ванны вращающегося электрода [1, 2] из сплава карбидов вольфрама  $WC + W_2C$ , изучению которого посвящена настоящая работа.

#### Методика экспериментов и исследований

Для получения порошков центробежным распылением использовали разработанную в Институте проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины установку ВГУ-3М. Принцип действия этой установки следующий (рис.1). Предварительно подготовленный электрод сплава карбидов вольфрама диаметром 25 мм и длиной 180–200 мм, соединенный с держателем, установили в камере установки ВГУ-3М, заполнили инертной средой из смеси газов гелия и аргона, после чего вращали с определенной скоростью, расплавляя торец слитка с помощью плазмы с образованием жидкой ванны. При этом под действием центробежных сил капли расплава отрываются от края жидкой ванны и кристаллизуются в сферической форме в свободном падении. Скорость охлаждения порошков варьировалась в диапазоне  $10^3$ – $10^6$  °C/с в зависимости от скорости вращения электрода, которая определяла также фракционный состав распыленного порошка. Диапазон скорости вращения электрода изменяли в широких пределах – 5–20 тыс. об./мин. Фракционный состав определяли методом ситовой классификации.

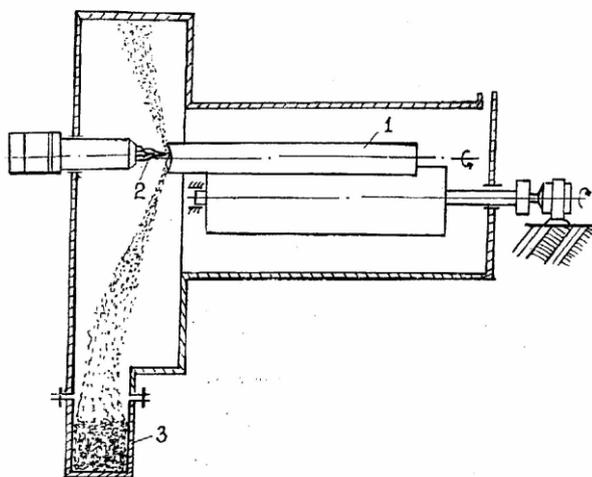


Рис. 1. Принципиальная схема установки плазменного центробежного распыления:  
1 – электрод для распыления; 2 – плазматрон; 3 – продукт распыления

Микроструктуру электрода, а также дробленных и распыленных порошков релита изучали с помощью металлографического микроскопа «МИМ-10» и растрового электронного микроскопа «Jeol T-20». Микротвердость измеряли пирамидой Виккерса на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н. Прочность порошков сплава при статической нагрузке измеряли на установке ДА-2М. Испытание стойкости к абразивному износу покрытия наплавленного из различных порошков релита, выполняли трением по абразивной композиции, в качестве которой использовали кварцевый песок, состоящий из частиц размером 0,2–0,4 мм. Образцы размером 16×6 мм с нанесенным индукционной наплавкой смеси боратного флюса и порошков релита упрочняющим покрытием устанавливали в держателях шайбы модернизированной установки НК-М, прилагали к ним внешнюю нагрузку величиной 0,2 кГс/мм<sup>2</sup> и придавали шайбе вращательное движение с окружной скоростью 0,2 м/с. Длительность каждого цикла испытаний определяли длиной пути, равной 1250 м, после чего образцы снимали и взвешивали с точностью до 0,001 г. Износ образцов определяли по потере массы на длину пройденного пути.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим особенности формирования порошков релита в процессе центробежного распыления. При вращении распыляемой заготовки слитка сплава вокруг ее оси с постоянной угловой скоростью на любой микрообъем жидкого металла действует центробежная сила

$$F_{ц} = m \omega^2 R, \quad (1)$$

где  $m$  – масса микрообъема жидкого металла;  $\omega$  – угловая скорость вращения слитка;  $R$  – расстояние от оси вращения до рассматриваемого микрообъема жидкого металла.

В процессе формирования гранулометрического состава распыляемых порошков важную роль играет вязкость металла, которая является функцией температуры :

$$\eta = A l_{ж} \frac{E}{RT}, \quad (2)$$

где  $A$  – константа динамической вязкости сплава;  $l_{ж}$  – толщина слоя жидкого металла на торце заготовки;  $E$  – энергия активации вязкого течения;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура расплава.

Учитывая, что температура плазмы значительно превышает линию ликвидуса диаграммы состояния системы W–С гидродинамические процессы, происходящие в жидкой среде расплавленного торца слитка сплава, можно рассматривать с позиции модели ньютоновской жидкости и тогда зависимость между напряжением  $\tau$  и градиентом скорости сдвига жидкости  $dv/dl$  описывается формулой:

$$\phi = \eta \frac{dv}{dl}, \quad (3)$$

где  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости сплава;  $v$  – скорость перемещения слоя жидкости;  $l$  – расстояние между двумя слоями жидкости.

Характер движения расплава зависит от толщины жидкого слоя сплава на поверхности торца расплавленного слитка. Считая, что при определенных допущениях это движение соответствует свободному движению жидкости, приходим к выводу, что энергия потока, определяемая уравнением Бернулли, изменяется только за счет приращения кинетической энергии жидкого сплава. Как следует из рассмотрения схемы действия сил на формирование и движение капли расплавленного сплава на поверхности заготовки при центробежном распылении (рис. 2) на основе решения дифференциальных уравнений Навье–Стокса [3], движение расплава можно представить линиями потока в виде окружностей с центром на общей оси вращения, т. е. условия формирования частиц распыляемого порошка по периферии жидкой ванны расплава во всех точках идентичны, что позволяет математически определить параметры процесса распыления, выделив на окружности  $r = l_{сл}$  определенной величины элементарный объем, равный объему частички порошка требуемого размера [4], имея экспериментальные данные величины центробежной силы.

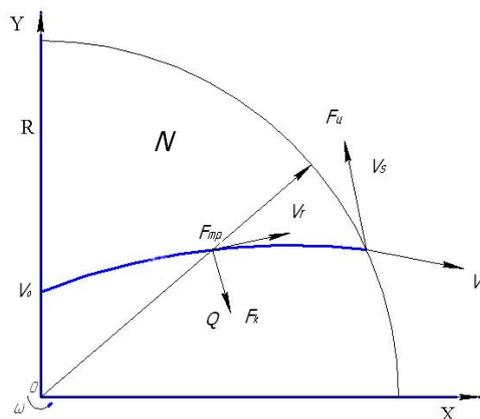


Рис. 2. Схема действия сил на формирование и движение капли металла по поверхности вращающейся заготовки

Радиус такой частички находят из массы объема капли:

$$m_k = V_k \rho_{\text{сп}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_k^3 \cdot \rho_{\text{сп}}, \quad (4)$$

где  $r_k$  – радиус получаемой сферической частички распыленного сплава;  $\rho_{\text{сп}}$  – плотность сплава.

Распределение фракционного состава распыленных порошков сплава карбида вольфрама WC + W<sub>2</sub>C, в зависимости от угловой скорости вращаемой заготовки слитка, полученное на основе экспериментальных данных, показаны на рис. 3. Из данных рис. 3 видим, что для каждой угловой скорости вращения электрода при прочих равных условиях технологического процесса существует максимальное количество порошка определенного размера. Этот максимум сдвигается в сторону уменьшения размера распыленных порошков с увеличением угловой скорости вращения электрода.

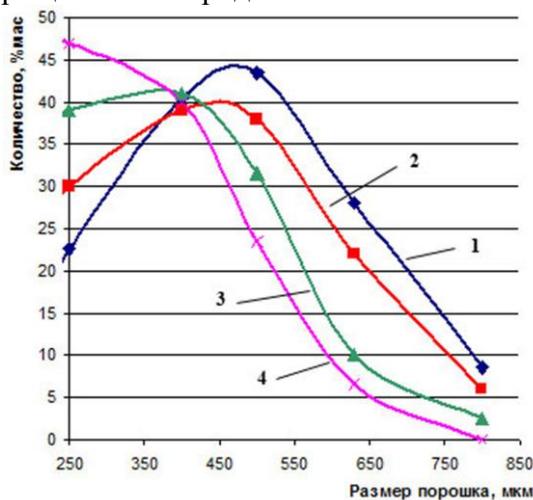


Рис. 3. Фракционный состав порошков релита, распыленных бесцентровым методом:  
1 –  $V_k = 12,5$  м/с; 2 –  $V_k = 20,0$  м/с; 3 –  $V_k = 30,0$  м/с; 4 –  $V_k = 37,5$  м/с

Порошки релита, полученные центробежным распылением, имеют почти идеальную сферическую форму без видимых дефектов на поверхности и высокую плотность в отличие от порошков после измельчения сплава, а их микроструктура однородна и чрезвычайно мелкокристаллична за счет высокой скорости охлаждения при кристаллизации (рис. 4).

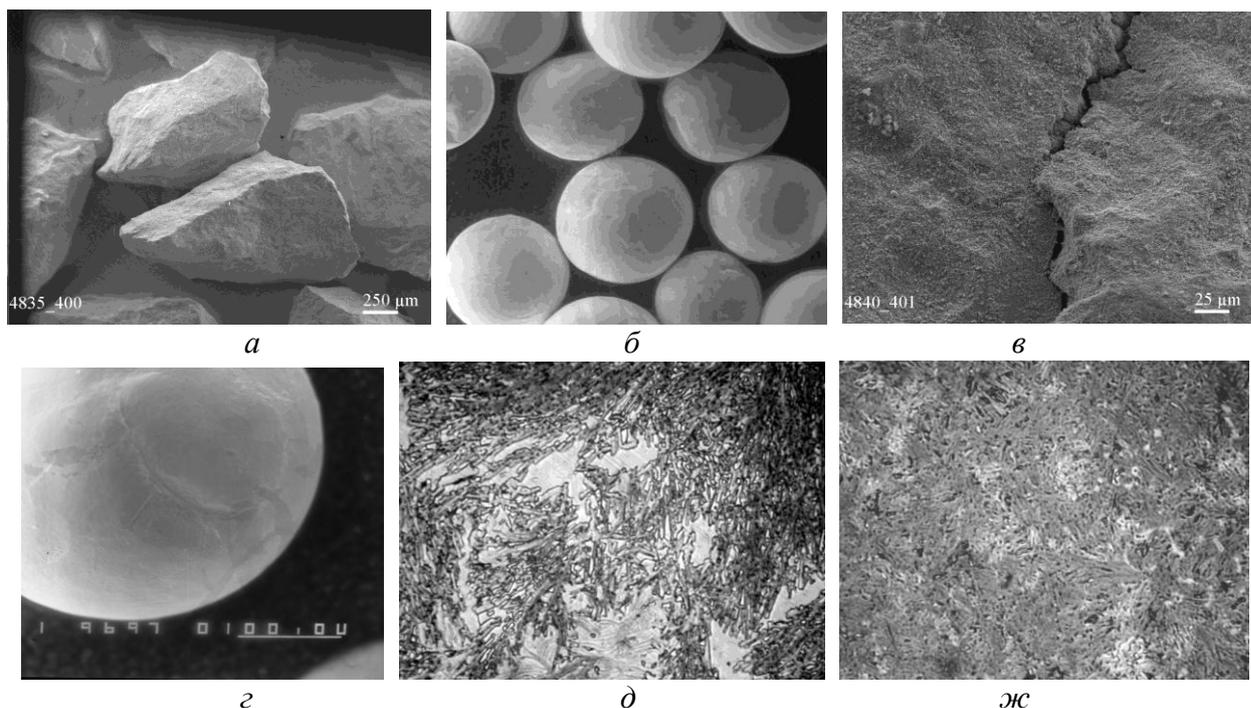


Рис. 4. Общий вид порошков релита, полученных по различным технологиям: а, в, д – дробленые после литья; б, г, ж – после распыления (а, б – внешний вид; в, г – поверхность; д, ж – микроструктура).

Физико-механические характеристики порошков релита, полученных различными методами, приведены в таблице.

**Некоторые физико-механические характеристики порошков релита.**

Характеристика порошка релита	Распыленный	Дробленный
Микротвердость $HV$ , кг/км <sup>2</sup>	2400–3000	1800–2100
Разрушающая нагрузка на зерно 160 мкм, кгс	19,8	7,3
Средняя динамическая прочность, циклов при $P = 5$ кгс	437	39

Полученные результаты свидетельствуют о том, что центробежное распыление обеспечивает получаемым порошкам релита более высокие механические характеристики вследствие формирования более однородной по сравнению с дробленными порошками мелкокристаллической структуры (рис. 4 д, ж), что обусловлено высокой скоростью охлаждения, а также отсутствием видимых поверхностных дефектов (рис. 4 в, г). Результаты сравнительных испытаний стойкости к абразивному износу наплавленных покрытий из дробленного релита и полученного путем центробежного распыления показали повышение износостойкости покрытия из расплавленных порошков в 2,5–3 раза, при наличии динамической нагрузки с помощью виброустройства – в 4–5 раз.

Таким образом, изготовление порошков релита центробежным распылением является перспективным методом получения наплавочных материалов для формирования износостойких покрытий деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного износа.

**Литература**

1. Сегеда С. К., Волкогон В. М. К вопросу об оптимальном процессе получения распыленных порошков Ni–Mn для синтеза алмазов // Современные достижения в области

- физического материаловедения: Сб. науч. тр. – К: изд-во ИПМ НАН Украины, 1992. – С. 70–74.
2. Аврамчук С. К. Особливості отримання, структура, склад та властивості розпилених порошків сплавів Ni–Mn для синтезу алмазів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06 / Ін-т проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. – К., 2001. – 20 с.
  3. Соколов В. Н. Центрофугирование. – М.: Техника, 1976. – 408 с.
  4. Аврамчук С. К., Волкогон В. М. Математический расчет параметров процесса центробежного распыления порошков сплава Ni–Mn заданного гранулометрического состава // Матер. 9-го Междунар. науч.-техн. семинара «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте» 23–27 февр. 2009 г., г. Свалява. – К: Изд-во АТМ України, 2009. – С. 5–10.

Поступила 22.06.10

УДК 621.371

**Ю. Д. Филатов**, д-р техн. наук; **С. В. Ковалев**

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА С ЧАСТИЦАМИ ШЛАМА В ЗОНЕ КОНТАКТА ПРИ ПОЛИРОВАНИИ КВАРЦА**

*Methods of quantum mechanics define full and differential sections of dispersion of particles of deterioration of the tool on particles slime in a zone of contact of flat surfaces of the tool from oxide cerium and a detail from quartz.*

### **Введение**

На основе результатов исследования динамики столкновений и рассеяния частиц шлама с учетом интенсивности эрозионного износа поверхности потоком частиц была рассчитана координатная зависимость шероховатости плоских поверхностей деталей из оптического стекла при тонком алмазном шлифовании и объяснено явление образования налета на рабочей поверхности инструмента [1]. Кинетика взаимодействия частиц шлама и износа в зоне контакта инструмента и детали в процессе полирования неметаллических материалов исследовалась на основе физико-статистической модели образования и удаления частиц шлама с обрабатываемой поверхности [2; 3]. Результаты компьютерного моделирования показали, что угол рассеяния частиц шлама в зоне контакта не зависит от их зарядового состояния, составляет  $79,3\text{--}79,5^\circ$  и изменяется в диапазоне от  $1$  до  $127^\circ$ . При этом эффективное дифференциальное сечение рассеяния составляет приблизительно  $0,8\text{--}4,0$  Тб. Методом Монте–Карло рассчитаны траектории движения частиц шлама и показано, что они располагаются внутри сферы, которая имеет тенденцию к смещению в направлении рабочей поверхности инструмента, а время между двумя столкновениями составляет  $43\text{--}44$  нс. Нейтральные частицы износа рабочего слоя инструмента, взаимодействуя с незаряженными частицами шлама, рассеиваются на  $80\text{--}140^\circ$  и перемещаются по круговым траекториям в неподвижной сфере размером до  $50$  нм. Заряженные частицы износа ( $\text{CeO}_2$ ), взаимодействуя с заряженными частицами шлама ( $\text{SiO}_2$ ), рассеиваются на  $152\text{--}175^\circ$  и канализуются, перемещаясь вдоль круговых «каналов» диаметром более  $150$  нм. Время между столкновениями частиц износа с частицами шлама независимо от их зарядового состояния составляет  $32\text{--}34$  нс [2–4].