

**IN-SITU ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ МИКРОСФЕРИЧЕСКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ЧАСТИЦ TiC-NiCr ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОРИСТЫХ
АГЛОМЕРАТОВ Ti-C-NiCr**

О.П. Солоненко, А.Е. Чесноков, А.В. Смирнов

*Федеральное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения РАН
630090, Новосибирск, Россия*

Создание нового поколения нано- и субмикроструктурированных металлокерамических материалов и, прежде всего, металлокерамических поверхностных слоев и газотермических покрытий, предназначенных для экстремальных условий эксплуатации (высокоскоростное трение, повышенные температуры, агрессивные среды, ударные воздействия) и обеспечивающих стабильно высокий ресурс работы в критических узлах высоконагруженных технических систем является приоритетным направлением развития науки, техники и технологии как у нас в стране, так и за рубежом.

Однако, до настоящего времени традиционные дисперсноупрочненные композиционные материалы и порошки с характерными размерами армирующих керамических частиц в интервале от микрона до десятка микрон остаются наиболее используемыми материалами для критических узлов высоконагруженных трибомеханических систем. Такие материалы характеризуются недостаточно высокими значениями прочности и вязкости разрушения, а, следовательно, и более низким ресурсом работы.

В последнее десятилетие в зарубежной практике основными металлокерамическими порошковыми материалами для газотермического напыления (ГТН) износо- абразивно- и коррозионностойких покрытий остаются различные коммерческие нано- и субмикроструктурированные порошки типа WC-Me (Me=Co, Co-Cr и др.), Cr₂O₃-NiCr, получаемые с помощью распылительной сушки и спекания [1]. Данные порошки первоначально были разработаны, в основном, для задач порошковой металлургии. Для газотермического напыления качественных покрытий из таких порошков используются также зарубежные установки для сверхзвукового газопламенного напыления (HVOF-напыление).

Новые возможности открываются при использовании сферических, в том числе полых, нано- и субмикроструктурированных порошков типа TiC-NiCr, TiC-Ni и т.п. для газотермического и, в первую очередь, для плазменного напыления высокоресурсных трибологических покрытий. Соединение карбида титана является стабильным вплоть до температуры плавления (3433К) и выше, которая значительно превосходит температуру плавления карбида вольфрама (3058К), стабильность которого нарушается уже при температурах ~ 2000К. По твердости карбид титана, в диапазоне температур 293-1500К, почти в два раза превосходит карбид вольфрама.

Для подтверждения преимущества сферических, в том числе полых, порошков, по сравнению с плотными порошками для ГТН, выполнены модельные эксперименты по детонационному напылению покрытий толщиной ~ 300 мкм из порошков корунда (α -Al₂O₃) [2]. Впервые установлено, что, при прочих равных условиях, при переходе от несферического плотного к плотному сферическому порошку пористость покрытий уменьшается более, чем в два раза, а при переходе к сферическому полному порошку она уменьшается более, чем на порядок. При этом, коэффициент использования порошков составил 23, 40 и 51%, соответственно, а максимальная микротвердость покрытий получена при напылении полого микросферического порошка.

В настоящей публикации приводятся результаты экспериментов по in-situ синтезу микросферического металлокерамического порошка TiC-NiCr при плазменной обработке агломерированных частиц Ti-C-NiCr в среде аргона.

© О.П. Солоненко, А.Е. Чесноков, А.В. Смирнов, 2015

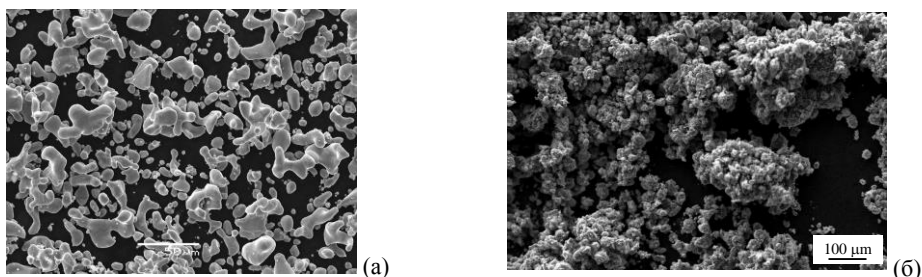


Рис.1. Морфология исходных (а) и механообработанных и активированных (б) частиц Ti.

Получение агломерированных частиц для плазменного синтеза включало следующие этапы: (1) – высокоэнергетическую мехобработку и активацию исходных порошковых компонентов Ti и NiCr; (2) – компактирование равномерно перемешанных механоактивированных порошков титана и нихрома, совместно с порошком сажи в стехиометрическом массовом отношении 80%Ti+20%С; (3) – механическое измельчение компакта и последующее выделение необходимой фракции из полученного порошкового продукта.

В качестве исходных порошков использовались: порошок титана марки ПТОМ2, порошок никель-хромового сплава марки ПХ20Н80-56-24 и ламповая сажа марки П803. Высокоэнергетическая мехобработка и активация исходных порошков Ti и NiCr, а также равномерное перемешивание механоактивированных порошков титана и нихрома, совместно с порошком сажи проводилась в энергонапряженной планетарной мельнице Активатор-«2SL» (ускорение 100g). Обработка порошковых частиц титана, согласно [3], проводилась в течение 90 секунд совместно с ПАВ, в качестве которого использовалась ламповая сажа (10% по массе). Полученные частицы титана, плакированные сажей, имели средний размер ≤ 20 мкм (рис.1). Порошок никельхромового сплава подвергался мехобработке и активированию в течение 120 секунд, а затем из обработанного порошка отделялась фракция с размерами частиц ≤ 40 мкм. Для контроля распределения частиц по размерам использовался лазерный анализатор частиц LS13320 (Beckman Coulter, США).

Механоактивированные порошки титана и нихрома обрабатывались совместно с ламповой сажой в планетарной мельнице Активатор «2SL» в течение 60 секунд для получения однородно перемешанной порошковой композиции заданного стехиометрического состава. Затем в полученную порошковую смесь добавляли 30% масс. связующего (раствор карбоксиметилцеллюлозы в дистиллированной воде) и механически перемешивали до образования однородной массы, после чего полученную смесь сушили в вакуумном шкафу при температуре 120°C. Контроль сушки осуществляли путем взвешивания компакта с точностью до 0.01 грамма. Процесс сушки компакта прекращался в момент, когда происходило уменьшение его общей массы на массу дистиллированной воды.

Полученный сухой компакт подвергался механическому ударно-сдвиговому разрушению, в результате чего получали агломерированные частицы различного фракционного состава. Из полученного порошкового продукта с помощью ситового анализа выделялась фракция $-125+80$ μm, а оставшиеся крупные агломераты подвергались повторному механическому разрушению и вновь просеивались на ситах. Необходимо отметить, что, порошок, состоящий из частиц 80–125 μm (рис. 2,а), после окончательного просеивания практически не имел более мелких частиц, что говорит об их относительно высокой механической прочности. Агломерированные частицы (рис. 2,б), имели достаточно правильную форму и сформированы из мелких частичек исходной порошковой композиции. Следует отметить значительную пористость агломератов, которая обусловлена не только неплотной упаковкой порошковых частичек, но и появлением дополнительных газовых включений в процессе сушки компакта.

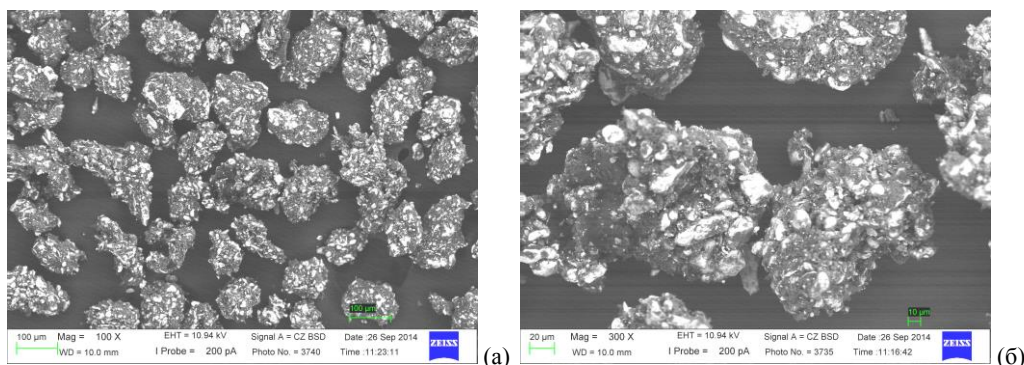


Рис. 2. Микрофотографии агломерированного порошка (а) и отдельных частиц (б).

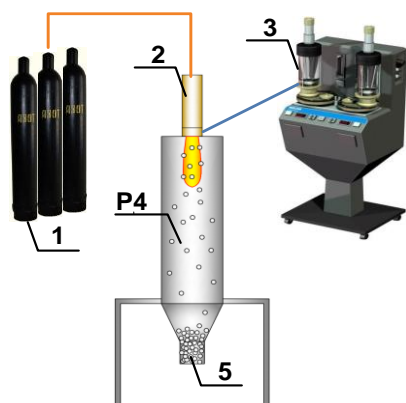


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки. 1 – баллоны с плазмообразующим газом; 2 – плазмотрон с МЭВ, 3 – дозатор порошка TWIN-2, 4 – водоохлаждаемый реактор; 5 – коллектор порошка.

Предварительно реактор продувался аргоном в течение пяти минут, а затем после включения плазмотрона через 15 секунд подавался обрабатываемый агломерированный порошок. Аргон использовался в качестве как основного плазмообразующего, так и транспортирующего газа для ввода порошка в плазменную струю из дозатора (3).

На рис. 3 представлена схема экспериментальной установки, использованной для плазменного синтеза композиционного порошка TiC-30%об.NiCr. Синтез проводился с помощью плазмотрона (2) с межэлектродной вставкой (МЭВ) мощностью до 50 кВт, установленном на водоохлаждаемом реакторе (4), который позволял проводить обработку порошковых материалов в контролируемой атмосфере. Использовалась односторонняя инжекция обрабатываемого порошка непосредственно перед выходным сечением сопла плазмотрона с помощью транспортирующего газа.

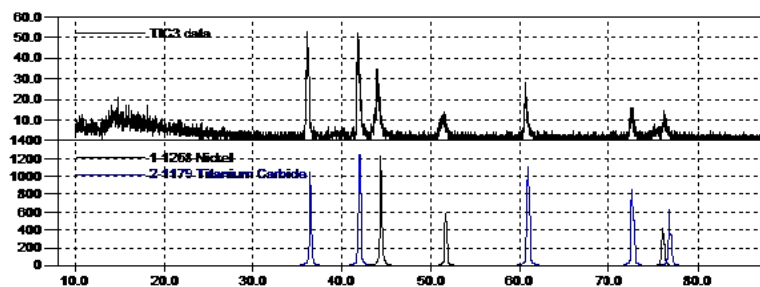


Рис. 4. Результат рентгенофазового анализа порошковых частиц TiC-30%об.NiCr, синтезированных в плазменной струе аргона.

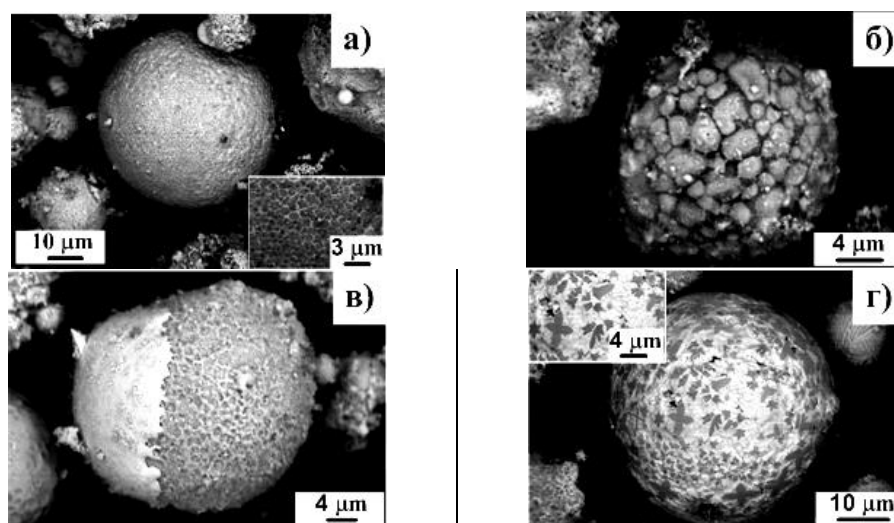


Рис. 5. Морфология частиц TiC-NiCr, синтезированных в аргоновой плазменной струе.

Обработка порошков осуществлялась при следующих значениях режимных параметров: расход основного рабочего газа (аргон), подаваемого в канал плазмотрона, - $G_{Ar}=0.7$ г/с, расход вспомогательного газа (аргон), подаваемого на защиту анода, - $G_{Ar}=0.1$ г/с, ток дуги $I=275$ А, напряжение на дуге $U=113$ В. Результаты рентгенофазового анализа композиционных частиц, синтезированных в атмосфере аргона указывает на наличие двух фаз: карбидной (TiC) и металлической (Ni) (рис. 4), значение ОКР 25.76 нм. Частицы, в основном, имеют форму, близкую к сферической, а карбидные включения равномерно распределены по их поверхности. На рис. 5 представлены микрофотографии, характеризующие, на примере металлочермического порошка TiC-NiCr, некоторые морфологические особенности композиционных частиц, получаемых при плазменной обработке агломерированных порошков.

Как следует из анализа результатов выполненных экспериментов, для повышения качества микросферических композиционных порошков 'металлическая связка - высокое объемное содержание карбидных включений', получаемых при in-situ плазменном синтезе в реагирующих частицах-агломератах, необходимо, при прочих равных условиях, существенное уменьшение размера включений связующего. Это обеспечит более однородное распределение реагирующих центров в агломератах, позволит уменьшить их пористость и размер синтезируемых карбидных включений в металлочермических частицах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Z. Zak Fang, Xu Wang, Taegong Ryu, Kyu Sup Hwang, H.Y. Sohn**, Synthesis, sintering, and mechanical properties of nanocrystalline cemented tungsten carbide – A review // *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2003. Vol. 27. P. 288–299.
2. **Ulianitsky V.Yu., Solonenko O.P., Smirnov A.V., Batraev I.S.** Detonation spraying of hollow microspherical alumina powder // *Proc. of ITSC'2014*, 21-23 May 2014, Barcelona, Spain. P. 668-673.
3. **Полубояров В.А., Солоненко О.П., Чесноков А.Е., Жданок А.А.** Влияние ПАВ на механическую активацию металлического порошка // *Материалы IV Международной научно-практической конференции "Современные керамические материалы. Свойства. Технологии. Применения"* (КерамСиб-2012). 1-2 ноября 2012. Москва. Россия. С. 85-86.