

Твердость конкретной образующейся структуры зависит от содержания углерода в стали и скорости охлаждения в интервале 700 – 500 °С.

Таким образом, предложенная модель позволяет учесть характеристики нагрева для получения размера аустенитного зерна, что в дальнейшем используется для прогнозирования вида мартенситной структуры, образующейся при охлаждении. Подход не требует для применения наличия экспериментальных диаграмм образования и распада аустенита, что позволяет использовать его при моделировании закалки широкого диапазона углеродистых сталей.

### Литература

1. Зимин, Н.В. О влиянии температуры, скорости нагрева и исходного состояния структуры углеродистых сталей на процессы образования в них аустенита / Н.В. Зимин // *Металлообработка. Политехника*. – СПб. – 2006. – № 1 (31). – С. 41 – 47.
2. Зимин, Н.В. Влияние интенсификации охлаждения после различных видов нагрева на прокаливаемость и закаливаемость углеродистых нелегированных сталей / Н.В. Зимин // *Металлообработка. Политехника*. – СПб. – 2006. – № 2 (32). – С. 41 – 47.
3. Попова, Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бетараствора в сплавах титана: справ. термиста / Л.Е. Попова, А.А. Попов. – М.: *Металлургия*, 1991. – 503 с.
4. Reti, T. Computer simulations of steel quenching process using a multi-phase transformation model / T. Reti, Z. Fried, I. Felde // *Computational Materials Science*, 2001. – P. 261 – 278.
5. Durban, C. Determination of Austenitic Transformation During Fast Heat Treatment / C. Durban, D. Durand, P. Chevre // *Proceedings of the 17th Conference «Heat Treating»*, 1997. – P. 671 – 676.
6. Демидович, В.Б. Энергосберегающие технологии индукционного нагрева в металлообрабатывающей промышленности / В.Б. Демидович [и др.]; под ред. В.Б. Демидовича. – СПб.: СПбГЭТУ («ЛЭТИ»), 2008 г. – 323 с.

УДК621.315.424: 538.569

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛАКИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

М.Н. Сарасеко, В.А. Янусов, В.В. Яснов

*ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», Витебск*

Композиционные материалы – это материалы, получаемые сочетанием компонентов с различными свойствами. Одним из компонентов является матрица (основа), другим – упрочнители (волокна, частицы). В качестве матриц используют полимерные, металлические, керамические и углеродные материалы. Упрочнителями служат волокна стеклянные, борные,

углеродные, органические, нитевидные кристаллы (карбидов, нитридов и др.) и металлические частицы, обладающие высокой прочностью и жесткостью. При составлении композиции эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиций. Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, количественного соотношения и прочности связи между ними. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости или получать композиции с необходимыми специальными свойствами [1]. Композиционные материалы являются весьма перспективными конструкционными материалами для многих отраслей машиностроения.

Получены композиционные материалы методом плакирования порошковых керамических материалов. Исследована структура и свойства полученных на основе этих порошков композиционных материалов.

Исходными порошками являлись керамические порошки титаната бария (ТБ), цирконата-титаната свинца, оксида алюминия, карбида кремния. Толщина металлической пленки составляла порядка 0,2...10,0 мкм в зависимости от длительности процесса осаждения. Металлизация порошков проводилась по известной технологии химического осаждения из стандартных растворов меднения, никелирования и кобальтирования.

Методом оптической микроскопии контролировался размер частиц порошка после плакирования при различной продолжительности реакции. В табл. 1 приведены средний размер частиц порошка титаната бария и оксида алюминия до металлизации и после нее при различном времени осаждения металла.

Таблица 1

Рост среднего размера частиц порошка от времени осаждения кобальта и меди

Состав порошков	Время осаждения мин	Средний размер частиц, мкм	Толщина пленки мкм
1. ТБ	0	10,0	-
2. ТБ-Со	10	10,5	0,5
3. ТБ-Со	20	12,0	2,0
4. ТБ-Со	40	15,3	5,3
5. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	10,0	-
6. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cu <sub>1</sub>	10	10,5	0,5
7. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cu <sub>1</sub>	20	12,2	2,2
8. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cu <sub>1</sub>	40	15,7	5,7

Из полученных экспериментальных данных видно, что в зависимости от времени осаждения металла растет размер частиц, что под-

тверждает образование двухслойного композиционного порошка керамика-металл.

*Свойства композитов на основе конденсаторной и пьезокерамики.* Введение модифицирующих добавок в конденсаторную керамику на основе титаната бария и пьезокерамику на основе титаната-цирконата свинца (ЦТС) интенсифицирует процесс спекания. Металлизацию синтезированной шихты керамики на основе титаната бария и ЦТС с размерами частиц от 1 до 10 мкм проводили в растворах солей никеля и меди. Толщина металлического покрытия составляла порядка 0,1...6,0 мкм. Установлено изменение микроструктуры керамики, снижение температуры спекания, увеличение плотности. Причиной таких изменений является жидкофазное спекание, которое протекает при спекании с добавками меди и никеля. Возникающая жидкая фаза ускоряет процесс спекания, участвуя в переносе структурных элементов, и ускоряет процесс образования материала.

Учитывая, что примесная фаза вводится в малом количестве, существенных фазовых структурных изменений в керамическом материале не происходит [2]. Диэлектрические характеристики улучшаются для керамики титаната бария и остаются приемлемыми для керамики ЦТС. Такую технологию получения керамических заготовок можно применять с целью снижения энергозатрат при обжиге керамики.

*Свойства композитов на основе конструкционной керамики.* Для создания металлокерамических покрытий на основе оксида алюминия и карбида кремния использовался метод газодинамического напыления, который позволяет локально формировать покрытия большой толщины при минимальном температурном воздействии на подложку. Процесс газодинамического напыления заключается в ускорении частиц мелкодисперсного порошка (1 – 50 мкм) сверхзвуковой струей сжатого газа до скоростей 500 – 1200 м/с. Струей газа частицы направляются на подложку, соударяясь с ней, подвергаются пластической деформации и связываются с поверхностью, образуя плотный слой осажденного материала.

Для получения композиционных материалов керамика-металл с целью их дальнейшего нанесения на металлические подложки в качестве основы использовался порошок оксида алюминия с размером частиц от 1 мкм до 20 мкм и порошок карбида вольфрама с размером 10 – 30 мкм. Предварительно керамические порошки подвергались плакированию медью, никелем и кобальтом методом химического осаждения. Таким способом были получены композиционные порошки  $Al_2O_3-Cu$  с толщиной медной пленки порядка 10 мкм и  $Al_2O_3-Ni$ ,  $Al_2O_3-Co$ , с толщиной пленки никеля и кобальта порядка 1 – 4 мкм, которые в дальнейшем использовались для

формирования композиционных покрытий методом газо-динамического напыления на подложки размером 12x50x1,2 мм. В качестве материала подложек использовалась сталь Ст3.

Исследование микроструктуры композиционного покрытия (из порошков WC, плакированного кобальтом, и  $Al_2O_3$ , плакированного медью), нанесенного на сталь методом газодинамического напыления, показало, что покрытие получается однородным без полостей и трещин, адгезия покрытия к подложке хорошая.

На рис. приведен график распределения микротвердости композиционного покрытия  $Al_2O_3$ -Cu по толщине покрытия.

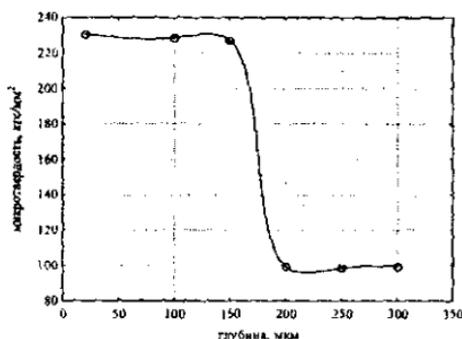


Рис. Распределение микротвердости композиционного покрытия  $Al_2O_3$ -Cu по толщине

Средняя микротвердость покрытия  $Al_2O_3$ -Cu равна 2,254 ГПа (230 кгс/мм<sup>2</sup>), а основы из стали Ст3 – 0,98 ГПа (100 кгс/мм<sup>2</sup>). На кривой не наблюдается зоны термического влияния. В табл. 2 приведены механические свойства покрытий на основе конструкционной керамики.

Таблица 2

Механические свойства композиционных покрытий

Состав	Качество покрытий	Средняя микротвердость, кгс/мм <sup>2</sup>
1. $Al_2O_3$ -Cu	без трещин	250
2. $Al_2O_3$ -Ni	без трещин	210
3. $Al_2O_3$ -Co	микротрещины	157
4. WC-Co	без трещин	305

Низкое значение микротвердости композиционного покрытия с кобальтом, а также плохая адгезия покрытия к подложке связаны, по нашему мнению, с очень тонким металлическим слоем (порядка 0,1 – 2,0 мкм). В ходе

эксперимента было подобрано оптимальное значение толщины металлического слоя (никеля и кобальта). Сформированные покрытия из порошков с достаточной толщиной никелевой и кобальтовой пленки (порядка 2 – 5 мкм) показали хорошую адгезию с подложкой и высокую (более 250 кгс/мм<sup>2</sup>) микротвердость.

**Выводы.** При плакировании керамической шихты медью и никелем перед ее спеканием происходит ускорения процесса спекания, при этом снижается температура спекания, повышается плотность готовых изделий при сохранении требуемых электрофизических параметров.

Композиционные покрытия на основе порошков оксида алюминия и карбида вольфрама, плакированных металлами методом химического осаждения, обладают высокими механическими свойствами при достаточной толщине металлического слоя на порошке керамики. Такие покрытия могут быть использованы для создания покрытий с увеличенным сроком эксплуатации без термического влияния на заготовку как при ремонте, так и при создании деталей и инструментов.

#### Литература

1. Перспективные материалы. Структура и методы исследования: учеб. пособие / под ред. Д.Л. Мерсона. – ТГУ «МИСиС», 2006. – 535 с.
2. Каур, И. Диффузия по границам зерен и фаз / И. Каур, В. Густ. – М.: Машиностроение, 1991. – 445 с.

УДК 669.296:621.789:621.785.7

### СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ БИОСОВМЕСТИМОГО СПЛАВА ZR-2,5 % Nb ПОСЛЕ РКУ-ПРЕССОВАНИЯ И ОТПУСКА

А.Г. Кононов

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск;*

В.И. Копылов

*ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск*

**Введение.** В настоящее время благодаря высокой коррозионной стойкости и биосовместимости с тканями живых организмов сплавы на основе циркония рассматриваются в качестве перспективных материалов для медицинских имплантатов. Тем не менее, проблема повышения проч-