

## ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ТЕРМОНЕЙТРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ И ПОКРЫТИЙ ИЗ НИХ

Ф.Г.Ловшенко, д-р техн. наук, проф.<sup>1</sup>, Г.Ф.Ловшенко, д-р техн. наук, доц.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», г. Могилев,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Республика Беларусь)

Порошки оксида алюминия с добавкой оксида титана или без него нашли достаточно широкое применение для получения износостойких жаропрочных покрытий, работающих при низких и безударных нагрузках. Большими недостатками этих покрытий являются: плохая сцепляемость с основой и высокая хрупкость. Для устранения первого недостатка применяют нанесение подложки из материала на никелевой основе. Высокая хрупкость обуславливает образование сетки трещин, являющейся одной из причин очагового разрушения покрытий при эксплуатации. Образование сетки трещин происходит вследствие термических напряжений, возникающих при остывании напыленного покрытия, состоящего из тонких чешуйчатых частиц. Эффективным методом устранения указанных недостатков является «оригинальное» реакционное механическое легирование порошков оксидов никелем. В зависимости от требуемых свойств покрытия содержание никеля может изменяться в пределах 3–95%. **Целью данной** работы являлось установление закономерностей формирования фазового состава металлизированных методом механического легирования термонеитральных порошков и покрытий из них.

С целью выявления влияния условий получения порошков было применено два метода: смешивание порошков 78 % (масс.)  $Al_2O_3$  – 12 % (масс.)  $TiO_2$  – 10 % (масс.)  $Ni$  в смесителе типа «пьяная» бочка в течение 1 час и обработка смеси порошков в энергонапряженном механореакторе в течение 6 часов.

Фазовый состав порошка, полученного смешиванием в «пьяной» бочке, установленный с помощью рентгенофазового метода показывает, что порошок состоит из  $\alpha-Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  и  $Ni$ . Размер областей когерентного рассеивания (блоков) и плотность дислокаций в основной фазе идентичны значениям этих показателей в исходном порошке и равны  $395 \pm 15,366 \text{ \AA}$  и  $2,68712 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$  соответственно. Параметры кристаллической решетки  $\alpha-Al_2O_3$  ( $a = 4,760135 \text{ \AA}$  и  $b = 12,99583 \text{ \AA}$ ) идентичны параметрам эталона ( $a = 4,758 \text{ \AA}$ ,  $b = 12,99 \text{ \AA}$ ).

Применение технологии реакционного механического легирования для получения порошков в отличие от обычного смешивания приводит: к уменьшению размеров частиц порошковой композиции. Их размер, в основном, не превышает 2–3 мкм. Однако в небольшом количестве встречаются частицы–конгломераты с размером поперечного сечения, достигающим 20 мкм. Малые размеры частиц порошка, с одной стороны, окажут положительное влияние на

свойства покрытий, но, с другой, они будут иметь невысокую текучесть, что затруднит их подачу в питатель плазмотрона, и поэтому необходимо будет проводить их конгломерацию с применением органических связующих. Также при обработке в механореакторе протекают механически активируемые превращения – формирование новой фазы –  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ ; имеет место рост плотности дислокаций (на порядок – с  $10^8$  до  $10^9$ ) и их упорядочение (хаотическое распределение в смешанном порошке и упорядоченное – по границам блочной структуры в механически легированном), что вызывает уменьшение размера ОКР до  $240 \pm 15,561 \text{ \AA}$ ; а также увеличению параметров решетки фазы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ :  $a = 4,761991 \text{ \AA}$  и  $b = 13,01613 \text{ \AA}$ .

В покрытии, полученным плазменным напылением металлизированного методом механического легирования термонейтрального порошка исходного состава 78 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12 %  $\text{TiO}_2$  – 10 % Ni протекают термически активируемые превращения, обусловленные нагревом порошка в плазменной струе, заключающиеся: в полиморфном превращении низкотемпературной модификации  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  в высокотемпературную  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  с последующей ее стабилизацией в результате протекания процессов подобных закалке вследствие быстрого охлаждения, обусловленного малым размером зерен и субзерен; в образовании интерметаллидной фазы  $\text{Ni}_3(\text{Al},\text{Ti})$ . Кроме того, процесс напыления вызывает увеличение (практически в 4 раза) плотности дислокаций ( $4,2974 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ ), упорядоченное расположение которых (по границам блоков и субзерен) приводит к уменьшению размеров ОКР практически в два раза с  $240 \pm 15,561 \text{ \AA}$  в порошке до  $137 \pm 3,75 \text{ \AA}$  в покрытии.

Структура покрытия характеризуется наличием тонких, как правило, менее 50 нм, прослоек никеля, упроченного наноразмерными включениями интерметаллида  $\text{Ni}_3(\text{Al},\text{Ti})$ , окаймляющих зерна оксидов, поперечное сечение которых не превышает 1 мкм. В продольном сечении частицы оксидов диаметром менее 10 мкм имеют форму, близкую к равноосной.

УДК 621.891

## **ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ СМАЗКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ АЛМАЗАМИ**

А.С. Калиниченко<sup>1</sup>, д-р техн. наук, В.И Жорник<sup>2</sup>, канд. техн. наук,

В.А. Калиниченко<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** Гетерогенная структура материала позволяет достигать для широкого спектра его эксплуатационных характеристик высокого уровня, обу-