

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Перспективные материалы
с иерархической структурой
для новых технологий
и надежных конструкций**

21 - 25 сентября 2015 г.

Томск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

подтверждается отсутствием их отслоения вплоть до полного разрушения подложки. В то же время, при растяжении покрытий на исходной подложке в области шейки нагруженного образца наблюдаются участки локального отслоения при $\varepsilon = 50\%$.

В процессе термоциклирования в воздушной среде были исследованы закономерности разрушения покрытий при повышенных температурах в условиях изменения их структуры и фазового состава. Показано, что уже после 6 циклов, включающих нагрев до 900°C , выдержку в течение 1 минуты при данной температуре и последующее охлаждение на воздухе, имеет место множественное растрескивание покрытий TiAlN, нанесенных на исходную подложку. Предварительная ионная обработка стальной подложки приводит к увеличению трещиностойкости покрытий. Наиболее высокой трещиностойкостью обладают покрытия TiAlN, нанесенные на подложку, обработанную пучком ионов Ti в течение 12 минут. Единичные трещины в данном покрытии появляются только после 100 циклов нагрева/охлаждения.

Проведенные исследования показали, что предварительная ионная обработка стальной подложки оказывает существенное влияние на структуру и механические свойства покрытий на основе TiAlN, приводит к повышению их твердости и снижению в них растягивающих напряжений. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение трещиностойкости покрытий TiAlN при термическом и механическом нагружении.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОСТРУКТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО УГЛЕРОДА

Андреев А.В.¹, Литовченко И.Ю.^{1,2}, Коротаев А.Д.^{1,2}, Борисов Д.П.^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия,

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
alexardas@mail.ru

Методом просвечивающей электронной микроскопии исследованы особенности структурно-фазового состояния и механические свойства нанокompозитных покрытий Ti-C-Ni-Cr и Ti-C-Ni-Cr-Al-Si на основе аморфного углерода непосредственно после осаждения и после отжига в интервале температур $T = 500 - 900^\circ\text{C}$, 1ч.

Исследования поперечных сечений покрытий (толщиной 2-3 мкм) показали формирование однородной структуры, представленной аморфной фазой с равномерно распределенными частицами TiC и NiCr (размерами < 10 нм). В непосредственной близости от подложки (< 0.5 мкм) наблюдаются частицы NiCr размерами до 30 нм.

Исследованы особенности упруго-напряженного состояния наноразмерных частиц в покрытиях. В наночастицах обнаружены различные структурные состояния: 1) с высокой упругой кривизной кристаллической решетки и локальными внутренними напряжениями; 2) с минимальными значениями кривизны, и соответственно, без высоких внутренних напряжений. Наличие последних может быть обусловлено релаксацией внутренних напряжений в частицах, находящихся в аморфной углеродной матрице.

Исследования механических свойств образцов титанового сплава с покрытием Ti-C-Ni-Cr показали, что микротвердость такой композиции составляет ≈ 14 ГПа, по сравнению с исходной твердостью титановой подложки 2 ГПа. Покрытия Ti-C-Ni-Cr-Al-Si обладают несколько меньшей твердостью 10.7 ГПа. Значение коэффициента трения для покрытия Ti-C-Ni-Cr составило $\mu \approx 0.14 - 0.16$, для покрытия Ti-C-Ni-Cr-Al-Si - $\mu \approx 0.34$.

Исследования микроструктуры покрытий Ti-Ni-Cr-C и Ti-Ni-Al-Si-Cr-C после отжига при $T = 900$ °C, 1ч. показали сохранение аморфной (a-C) и нанокристаллических фаз (TiC и NiCr). Значительного изменения размеров наночастиц не наблюдается, образование новых фаз в покрытии не обнаружено. На поверхности покрытий вероятно формирование тонких оксидных пленок, содержащих TiC_xO_y , NiO, Cr_2O_3 .

Микротвердость покрытий Ti-C-Ni-Cr сохраняет свои значения вплоть до $T = 900$ °C. Более того, наблюдается некоторый рост твердости от ≈ 14 ГПа до ≈ 18 ГПа, что может быть обусловлено формированием оксидов на поверхности покрытий. Отжиг покрытий Ti-C-Ni-Cr-Al-Si приводит к некоторому росту значений микротвердости до ≈ 13 ГПа (при 500 °C и 700 °C), а затем снижению до значений ≈ 9.4 ГПа (при 900 °C).

Покрытия Ti-C-Ni-Cr сохраняют низкие значения коэффициента трения ($\mu < 0.2$) при отжиге до $T = 700$ °C. Увеличение температуры отжига до 900 °C приводит к повышению значений коэффициента трения до $\mu \approx 0.4 - 0.5$, что вероятно связано с формированием оксидных пленок. Значение коэффициента трения покрытия Ti-C-Ni-Cr-Al-Si после отжига при $T = 700$ °C практически совпадает с исходным значением ($\mu \approx 0.34$) и сохраняется после отжига при $T = 900$ °C. Однако наблюдается изменение характера зависимости коэффициента трения от расстояния, пройденного индентором, что также может свидетельствовать о формировании оксидных пленок.

Полученные многоэлементные нанокompозитные покрытия на основе аморфного углерода обладают высокой твердостью, низким коэффициентом трения и термической стабильностью микроструктуры и свойств до 700 °C.