

УДК 621.934(043.3)

С.Д. Латушкина, зав. отделом (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»);  
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук; П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук;  
О.Ю. Пискунова, инж. (БГТУ, г. Минск);  
А.Г. Жижченко, науч. сотр. (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»)

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ, ОСАЖДАЕМЫЕ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ СПОСОБОМ**

Износостойкие покрытия на основе тугоплавких соединений широко используются для повышения работоспособности режущих инструментов. Эффективность использования покрытий определяется многими факторами: твердостью и износостойкостью, адгезионной активностью по отношению к обрабатываемому материалу, способностью к диффузионному растворению в обрабатываемом материале, прочностью сцепления с инструментальным материалом, коэффициентом термического расширения, теплопроводностью, способностью сохранять основные свойства при высоких температурах.

Цель данной работы заключалась в исследовании особенностей формирования многокомпонентных систем в неравновесных условиях и разработке технологических основ магнетронного осаждения износостойких покрытий на основе систем (Ti,Zr)N с использованием композиционных мишеней, полученных при помощи импульсных методов нагружения с применением бризантных веществ и последующего вакуумного спекания.

Таким образом, были получены покрытия TiZrN характеризующиеся ровной, гладкой и практически бездефектной поверхностью. Сравнение свойств покрытий одного и того же элементного состава, полученных при магнетронном распылении мишеней (TiN + Zr) и (Ti + Zr), показало, что микротвердость ( $H_{\mu}$ ) покрытий TiZrN имеет различный характер в зависимости от значения парциального давления азота  $P_{N_2}$ . Покрытия, полученные из мишени (TiN + Zr) выгодно отличаются наличием достаточно широкого диапазона изменения парциального давления  $P_{N_2} = (1,9-2,5) \cdot 10^{-2}$  Па, при котором формируемые пленки обладают высокой твердостью  $H_{\mu} = 33-35$  ГПа. Этот результат позволяет предположить, что при промышленном использовании этой технологии упрочнения режущего инструмента покрытия, осажденные из мишени (TiN + Zr), будут иметь лучшую воспроизводимость параметра  $H_{\mu}$  в сравнении с покрытиями, полученными из мишени (Ti + Zr).

Рентгеновские исследования выявили существенные различия в

фазообразовании покрытий TiZrN, осажденных при различных давлениях азота. При отсутствии в камере азота магнетронное распыление мишени состава (TiN + Zr) приводит к осаждению на подложке покрытий, состоящих из смеси фаз (Ti,Zr)N и чистого Zr. Доказательством образования твердого раствора является значение параметра решетки  $d=4,4366$  нм, что превышает параметр стехиометрического TiN (4,24 нм), но уступает значению  $d=4,58$  нм для стехиометрического ZrN.

С увеличением давления формируется твердый раствор TiZrN на основе нитрида титана с измененным параметром решетки  $d = 4,436$ . При максимальном давлении обнаруживается твердый раствор на основе нитрида циркония ( $d = 4,510$ ). При этом если для покрытий, полученных распылением в вакууме (без дополнительного азота) мишени состава (TiN + Zr), наиболее интенсивный пик на дифрактограмме является рефлексом от плоскости (111), то предпочтительным расположением кристаллитов (Ti,Zr)N в покрытиях, полученных при введении в камеру азота, является ориентация (200).

Анализ рентгеновских дифрактограмм покрытий Ti-Zr-N, полученных из распыляемых мишеней двух составов при различных значениях парциального давления азота, позволил определить структурные параметры покрытий.

Данные по уширению наиболее интенсивной линии дифрактограмм позволили рассчитать размер кристаллического зерна покрытий. Определено, что покрытия, полученные из обеих мишеней, относятся к наноразмерным.

Существует широкий круг деталей и изделий, условия эксплуатации которых, требуют обеспечения их термостойкости. Так при повышенных режимах и скоростях механической обработки инструмент находится в экстремальных условиях, подвергаясь высоким контактными и циклическим нагрузкам, температурному воздействию. Работая в таких условиях, инструмент достаточно быстро приходит в негодное состояние и требует замены, что, в свою очередь, тормозит производство и приводит к дополнительным затратам.

Согласно результатам проведенных исследований установлено, что и при отжиге пленок TiZrN отжига происходит окисление Zr, в результате чего пленки изменяют состав на TiN и ZrO<sub>2</sub>.

Таким образом, покрытия (Ti,Zr)N создают на защищаемой поверхности тепловой барьер, практически изолирующий материал от температурного воздействия за счет образования пленки оксида алюминия (ZrO<sub>2</sub>).