

НАНБ. Порошковая металлургия. Физико-химические исследования материалов. – 2021. – № 43. – С.106-115.

3. Медведева, Н. В. Модулирование пор анодного оксида алюминия в процессе его получения для формирования фотонных кристаллов / Н. В. Медведева // Вестник БГУИР. Электронные системы и технологии. – 2021. – С.216-218.

4. Грилихес, С. Я. Оксидирование и фосфатирование металлов/ С. Я. Грилихес. – 3-е изд. – Ленинград: Машиностроение, 1971. – 117 с.

5. Аверьянов Е. Е. Справочник по анодированию. — М.: Машиностроение. – 1988. – 224 с.

УДК 621.793.182

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДАМИ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ

С.Д. ЛАТУШКИНА¹, Д.Д. ГОРДИЕНКО², Д.В. КУИС²,
И.А. СЕЧКО¹, А.А. ЧАЙКИН¹

¹ Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

² Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

При создании функциональных покрытий различного назначения, способных удовлетворять зачастую противоречивым требованиям, наиболее перспективной является концепция многослойной архитектуры покрытий. Многослойная архитектура позволяет создавать покрытия, одновременно включающие метастабильные и многокомпонентные материалы в едином геометрическом теле, и таким образом даёт возможность сочетать различные концепции отдельных слоёв в многослойном покрытии. В составе покрытий необходимо наличие пластичных фаз, осуществляющих релаксацию внутренних напряжений и подавление роста зародышевых трещин.

Каждый из слоёв многослойно-композиционного покрытия может иметь как монослойную, так и многослойную архитектуру. Слоистая архитектура покрытий наноразмерной толщины позволяет стабилизировать определенную текстуру каждого слоя покрытия и создавать материалы для покрытий нового типа. Наноструктурированные многослойные покрытия можно классифицировать следующим образом[1]:

- стандартные износостойкие покрытия, имеющие многослойную архитектуру, из материалов с одинаковыми химическими связями и структурой;

- многослойные покрытия из материалов с сильным отличием химических связей и структуры;

- многослойные покрытия, имеющие слои с внутренними граничными промежуточными подслоями нанометровой толщины.

С помощью многослойных покрытий с наноразмерной толщиной каждого из слоёв можно активизировать различные виды процессов поглощения энергии, что при оптимальной архитектуре и структуре покрытия приводит к повышению вязкости и прочности материала покрытия лишь при незначительном снижении твёрдости (обеспечение сбалансированного соотношения твердость–вязкость).

Появление на рынке технологических установок, оснащенных несколькими испарителями и/или магнетронами и обеспечивающими получение многослойных покрытий в одном вакуумном цикле, стимулировало проведение соответствующих исследований.

В настоящей работе была предложена концепция чередования слоев со столбчатой структурой (TiN) и слоев с наноразмерной структурой (TiAlCrNi)N в составе многослойного покрытия, что должно привести к повышению физико-механических свойств формируемого покрытия за счет увеличения протяженности межфазных границ, как между слоями, так и в слое с наноразмерной структурой.

Получение покрытий осуществлялось на вакуумной установке нанесения упрочняющих покрытий 01ИН-6-008, оснащенной системой магнитной сепарации плазменного потока. Осаждение слоев покрытий проводилось как в среде азота ($P=0,04$ Па), так и углекислого газа ($P=0,04$ Па). Толщина многослойного покрытия составляла $600,0 \pm 10,0$ нм без учета постоянной для всех экспериментов толщины подслоя титана 100 нм.

Одним из определяющих условий долговременной эксплуатации деталей и инструмента является высокая адгезионная прочность покрытия к подложке. Основное влияние на величину адгезионной прочности оказывают физико-химические процессы, происходящие на границе раздела покрытие–подложка. К ним относятся химическое взаимодействие и механическое зацепление, адсорбция молекул на границе раздела фаз, взаимная диффузия молекул контактирующих тел и другие.

Для определения адгезии осажденных покрытий применяли скретч-тестер REVETEST (CSM Instruments). В качестве индентора использовался алмаз конической формы с радиусом закругления при вершине 0,2 мм. Момент адгезионного и когезионного разрушения фиксировался

после испытаний с помощью оптического микроскопа, а также по изменению акустической эмиссии: $Lc1$ – момент появления первой трещины; $Lc3$ – отслаивание участка покрытия (адгезионное разрушение).

Исследования показали, что покрытия $TiN-(TiAlCrNi)N-TiN-(TiAlCrNi)N$ и $TiN-(TiAlCrNi)N-Ti-(TiAlCrNi)CO$ разрушаются вследствие пластической деформации и образования усталостных трещин в материале покрытия (рис.1).

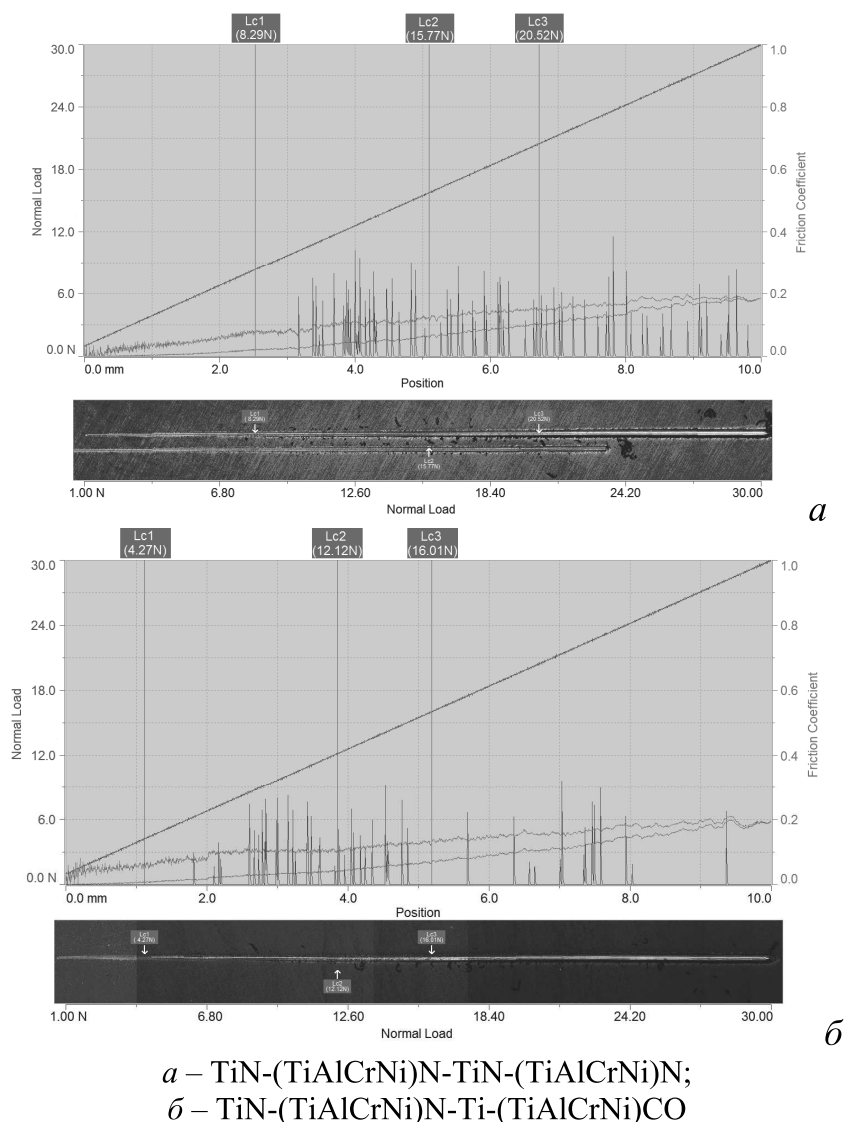


Рис. 1. Адгезионная прочность многослойных покрытий

Установлено, что для покрытий $TiN-(TiAlCrNi)N-TiN-TiAlCrNi)N$ характерны высокие значения адгезионной прочности ($Lc = 20,52$ Н). Покрытия, в которых присутствует слой, сформированный в среде углекислого газа $Ti-(TiAlCrNi)CO$, имеют меньшую адгезионную прочность, чем нитридные покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Многокомпонентные нанокompозитные покрытия с адаптивным поведением в поверхностной инженерии/ Погребняк А.Д. [и др.]// Успехи физических наук. 2017. Том 187, №6. Стр. 629-652.

УДК 621.74.042

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОЙ СТАЛИ

С.Н. ЛЕЖНЕВ¹, И.В. ЧУМАНОВ², А.Н. АНИКЕЕВ², Д.В. КУИС³,
П.Л. ЦЫБА⁴, А.С. АРБУЗ⁵, С.Л. КУЗЬМИН¹, В.В. ЧИГИРИНСКИЙ¹

¹Рудненский индустриальный университет,
Рудный, Казахстан

²Южно-Уральский государственный университет,
Челябинск, Россия

³Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь

⁴Карагандинский индустриальный университет,
Темиртау, Казахстан

⁵Назарбаев Университет,
Астана, Казахстан

Развитие такой стратегической отрасли, как военно-космическая отрасль, включающей в себя такое направление производства как применения беспилотной техники, в т.ч. беспилотных летательных, наземных и водных аппаратов, наноспутников, наравне с горно-металлургической и машиностроительной отраслью становится приоритетом для нашей страны. Обеспечение этих отраслей современными материалами с самыми различными функциональными свойствами в настоящее время в большинстве случаев осуществляется из-за рубежа, поскольку отечественные предприятия, работающие в данной отрасли, до сих пор еще руководствуются советской концепцией конструирования материалов. Эта концепция была целесообразна в то время и подразумевала обеспечение необходимых свойств материалов за счет применения дефицитных, дорогостоящих материалов без оглядки на их количество и рыночную стоимость. Современный мир диктует необходимость