

Таким образом, разработанная методика диагностирования элементов исследуемого объекта с использованием искусственных нейронных сетей показала свою высокую эффективность. Определение диагностируемого параметра с помощью нейросетевых моделей диагностируемого объекта показало высокую точность. Данный подход в диагностике многозубчатых приводов позволит отказаться от трудоемкого экспертного анализа акустических данных и повысить объективность принятия решения. Несмотря на то, что этот метод требует большого объема предварительных исследований, обучения сети, определения технологии подготовки данных, обучив нейронную сеть, ее можно в дальнейшем использовать для постановки диагноза на основе новых сведений.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Драган А.В., Стецко И.П., Ромашко Д.А., Левкович Н.В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем // Вестник Брестского государственного технического университета. — 2006. — №4. — С. 17—26.
2. Kohonen, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps / T. Kohonen // Biological Cybernetics. — 1982. — N43. — P. 59-69.
3. Головкин, В.А. Нейронные сети: обучение, организация, применение / В.А. Головкин // Нейрокомпьютеры и их применение : учеб. пособие / В.А. Головкин. — М., 2001 — 256 с.
4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.

УДК 621.762

### **ТЕРМОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ НА ОСНОВЕ РЕФРАКТОРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

*Чекан Н.М.<sup>1</sup>, Овчинников Е.В.<sup>2</sup>, Акула И.П.<sup>1</sup>, Эйсымонт Е.И.<sup>2</sup>, Шагойка Г.А.<sup>2</sup>*

1) ФТИ, г.Минск, РБ

2) Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, РБ

Поверхностная, структурная и химическая модификация материалов, нанесение тонких плазмохимических покрытий на рабочие поверхности изделий являются одним из наиболее эффективных технологических методов повышения их эксплуатационных свойств [1-3]. При этом достигаемый эффект зависит от большого числа факторов, среди которых наиболее важным является выбор оптимальных по химическому составу и свойствам материала покрытия и технологии его формирования.

Основными особенностями как тонких металлических, так и полимерных покрытий являются их достаточно высокая структурная неоднородность, зависимость свойств от толщины слоя и природы материала подложки, на поверхность которой они осаждаются. Под действием поля твердой поверхности в слоях тонкослойного покрытия, находящихся в контакте с подложкой (граничных слоях), протекают специфические процессы структурной перестройки [4]. Если толщина покрытия соизмерима с толщиной граничного слоя, то возникает ряд эффектов, обусловленных термодинамической неустойчивостью пленочных систем [5]. Разработка технологических основ процесса упрочнения изделий машиностроения из конструкционных сталей путем нанесения антифрикционных, коррозионностойких покрытий с малым уровнем механических на-

пряжений и характеризующихся низкой плотностью макродефектов является актуальной проблемой, решение которой позволит повысить рабочий ресурс изделий. Одним из направлений получения таких защитных слоев является получение комбинированных покрытий, включающих в свой состав несколько химических элементов. Так, широко применяются в машиностроении, авиастроении покрытия на базе нитрида титана, карбида титана, карбонитрида титана; недостатками данных покрытий является недостаточная термостойкость, находящаяся в области 800 – 1200 К.

Целью данной работы является исследование структуры и физико-механических характеристик вакуумных покрытий получаемых на основе рефракторных металлов.

Методом оптической микроскопии проведен анализ образцов тонкослойных покрытий AlTiN, сформированных на стальной подложке (рисунок 1). Технологические параметры получения покрытий AlTiN: образец №2- давление азота  $1,1 \cdot 10^{-2}$  Па, напряжение смещения -50 В; образец №6- давление азота  $2,4 \cdot 10^{-2}$  Па, напряжение смещения -100 В; образец №7- давление азота  $3,2 \cdot 10^{-2}$  Па, напряжение смещения -50 В.

Используя программный пакет AutoScan, определено процентное содержание включений в структуре покрытий. Установлено уменьшение количества включений с увеличением значений вакуума в рабочей камере (рисунок 2).

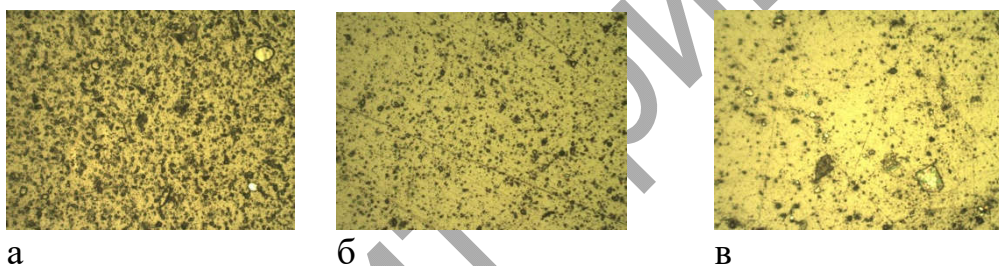


Рисунок 1 - Морфология поверхностных слоев покрытий AlTiN: а-образец №2, б- образец №6, в-п образец №7. (x600).

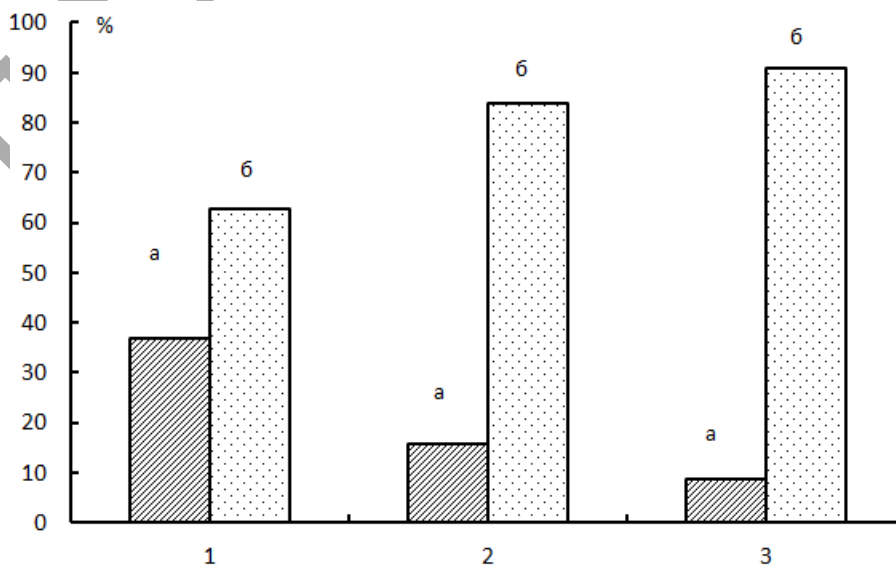


Рисунок 2 - Количественное распределение включения в структуре покрытий AlTiN. 1-образец 2; 2- образец 6, 3- образец 7; а-включения, б-матрица.

Для определения энергетических параметров адсорбированных слоев AlTiN использовали метод прямотеневого определения краевого угла смачивания. Использовали жидкости различающиеся полярностью для изучения смачивания и расчета сил адгезии, полярного и дисперсионных составляющих поверхностной энергии. Результаты исследований приведены на рисунке 3.

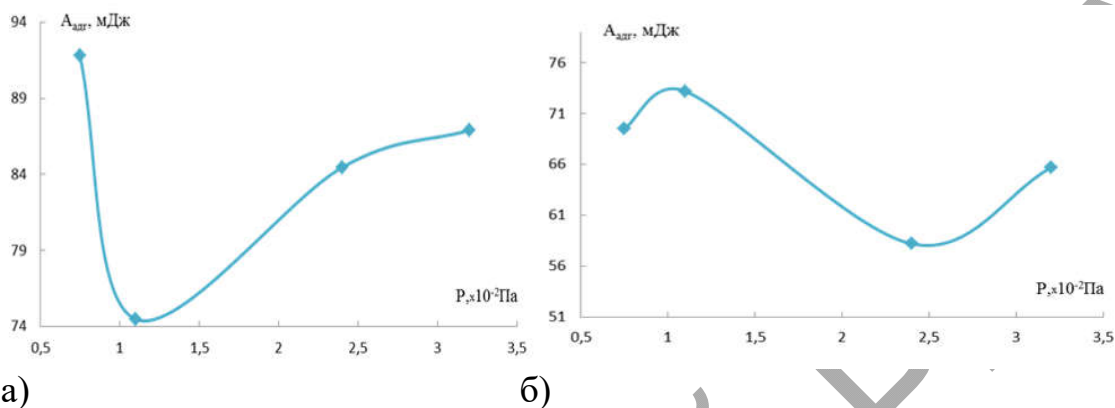


Рисунок 3 – Работа силы адгезии дистиллированной воды к AlTiN в зависимости от давления в вакуумной камере при формировании покрытия. а- формирование покрытия проводилось при напряжении смещения на катоде минус 50 В, б - формирование покрытия проводилось при напряжении смещения на катоде минус 100 В.

Проведенные исследования показали, что значения поверхностной энергии, так и ее составляющих зависят от условий нанесения покрытия, а также от разности потенциалов, подаваемых на катод. С увеличением напряжения на катоде минимум значений поверхностной энергии смещается в область более высоких давлений. Дальнейшее увеличение давления реакционного газа в камере приводит к увеличению значений поверхностной энергии получаемых покрытий.

Установлено, что алюминий активно вступает в реакцию с азотом, и оксиды алюминия практически не образуются; в то время как титан образует как нитриды, так и оксиды. В целом, в осажденных покрытиях, полученных из сплавных катодов Ti-Al с использованием дугового испарения, преимущественно формируются из нитридов титана и алюминия. Покрытия AlTiN, сформированные при высоком вакууме в камере характеризуются большим количеством включений, которые имеют фактически одинаковые физико-механические характеристики с матрицей покрытия. Увеличение давления газов в вакуумной камере приводит к увеличению геометрических размеров включений, при увеличении их концентрации их в матрице покрытия.

Данный характер распределения включений наблюдается при напряжении смещения на катоде минус 50 В. Увеличение смещения напряжения на катоде приводит к изменению характера распределения включений в матрице покрытий с увеличением давления реакционного газа в камере, происходит диспергирование структурных составляющих в покрытии AlTiN. Проведен анализ из-

вестных методов нанесения тонкослойных покрытий в вакууме и аналитического описания межфазных процессов, протекающих при взаимодействии конденсированных сред. Рассмотрена морфология, структура поверхностных слоев покрытий нитридов алюминия и титана, находящихся на металлической поверхности. Установлен характер взаимного влияния слоев на распределение активных центров и энергию межфазного взаимодействия.

Сформулирована модель, позволяющая провести аналитическое описание диффузионных процессов в условиях протекания контактных химических реакций. Численными методами получены распределения металла и соединений по толщине граничного слоя. Определены кинетические особенности диффузионных процессов и их зависимость от толщины слоя, температуры. Подача на подложку потенциала смещения  $-(75 - 150)$  В приводит к формированию в пленках Ti-N сильной текстуры и крайне высоких сжимающих напряжений, а значит увеличению периода решетки в направлении нормали к поверхности, что сказывается на прочностных характеристиках исследуемых покрытий.

Покрытия TiAlN могут успешно применяться в металлообработке при высоких скоростях обработки металлов. Перспективным направлением является применение многослойных покрытий для формирования гетероструктур.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Полевой, С.Н. Упрочнение машиностроительных материалов. / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов - М.: Машиностроение, 1994.- 496 с.
- 2 Чеботаровский, В.В. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. / В.В. Чеботаровский, Э.К. Кондратов - М.: Машиностроение, 1978.-295 с.
- 3 Ткачук, Б.В. Получение тонких полимерных покрытий из газовой фазы. / Б.В. Ткачук, В. М. Колотыркин - М.: Химия, 1977.-216 с.
- 4 Липатов, Ю.С. Межфазные явления в полимерах. / Ю.С. Липатов - Киев: Наукова думка, 1980.-260 с.
- 5 Дерягин, Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. / Б.В. Дерягин - М.: Наука, 1986.-206 с.

УДК 621

### **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ И ИСПЫТАНИЯ НА РАЗРЫВ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ**

*Добриняник Ю.А.<sup>1</sup>*

- 1) Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь.

Сварка трением – это разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным перемещением (вращением) одной из соединяемых частей свариваемого изделия [1].

Сварка трением широко внедрена в ведущих отраслях машиностроительного производства при изготовлении:

в автомобилестроении – деталей рулевого управления, карданных валов легковых и грузовых автомобилей, полуосей, картеров задних мостов автомобилей, клапанов двигателей внутреннего сгорания, цилиндров гидросистем и др.;