

СТРУКТУРА, СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ Ti-Al-N

В. В. Пилько

ВВЕДЕНИЕ

Использование интенсивных корпускулярных потоков в настоящее время обеспечивает осуществление целенаправленной модификации свойств поверхностного слоя основных конструкционных аэрокосмических металлов и сплавов, а также позволяет создавать на их поверхности новые наноструктурированные слоистые структуры с уникальными параметрами. На широком классе металлов, сплавов и изделий из них продемонстрировано улучшение таких эксплуатационных характеристик как износостойкость, усталостная прочность при длительных циклических нагрузках, коррозионная и термическая стойкость. Предварительные результаты по созданию новых нанокompозитных, защитных покрытий свидетельствуют о больших потенциальных возможностях этого направления. В качестве объекта исследований были избраны наиболее простые по свойствам слоистые системы Ti-Al-N, весьма перспективной как для покрытий на сплаве Д16, так и для нанесения на сплавы типа ВТ6. Проведенные ранее поисковые исследования позволяли предположить, что процесс нанесения покрытия будет сопровождаться формированием наноразмерных включений нитрида TiN и интерметаллида TiAl. Первый должен существенно улучшить защитные и механические свойства поверхностных слоев деталей, второй – повысить силу адгезии покрытий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНЕСЁННОГО ПОКРЫТИЯ

Нанесенные слои исследовали с помощью комплекса взаимодополняющих методов. Сформированные структуры были подвергнуты исследованию с помощью резерфордовского обратного рассеяния ускоренных ионов гелия на ускорителях легких ионов межвузовского центра коллективного пользования БГУ. Спектр ROP ионов гелия с энергией 1.3 МэВ от слоя Al-Ti-N, осажденного на поверхности спектрально чистого углерода представлен на рисунке 1. Обработка спектров ROP производилась с использованием оригинальной, разработанной в лаборатории элионики программы HEAD6. В таблице приведены результаты количественного анализа содержания элементов в покрытии.

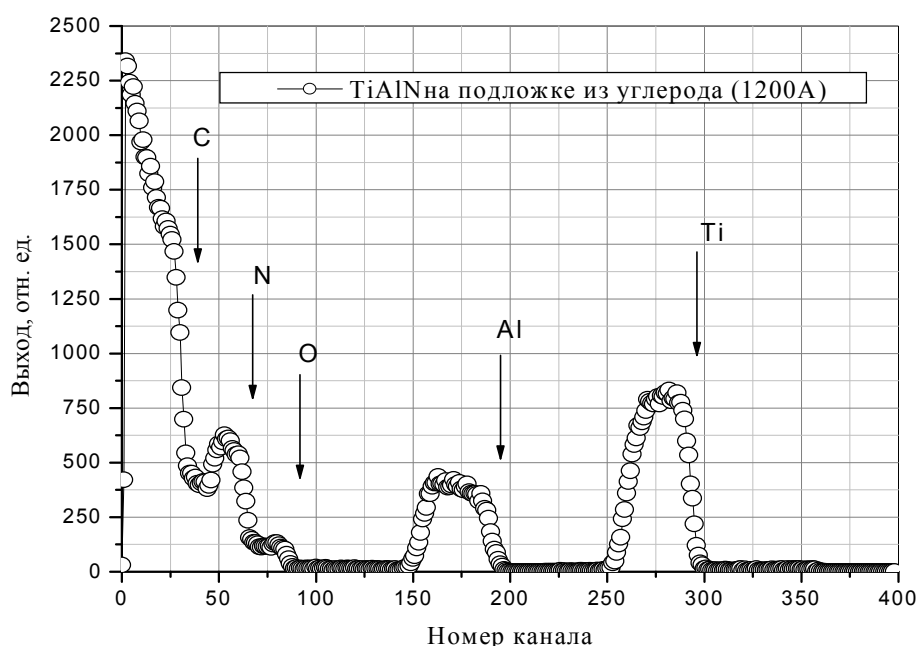


Рис. 1. Спектр РОР ионов гелия с энергией 1.3 МэВ от слоя Al-Ti-N, осажденного на поверхности спектрально чистого углерода

Таблица

Количественные соотношения элементов в покрытии

Глубина, нм	Ti, %	Al, %	N, %	O, %
20	24,0	26,0	37,0	13,0
40	23,0	25,0	39,0	13,0
60	22,5	24,5	42,0	11,0
80	23,0	24,0	41,0	12,0
100	22,0	24,0	41,0	13,0
120	21,5	23,5	42,0	13,0

Как видно из таблицы, контролируемое реактивное магнетронное нанесение позволило получить однородную по составу плёнку, содержание металлоидов в плёнке позволяет предположить, что весь металл находится в химически связанном состоянии. Толщина плёнки составила порядка 120 нанометров в приближении средней объёмной плотности всех соединений, входящих в её состав $6 \cdot 10^{22}$ ат/см³. Присутствие кислорода можно связать с адсорбцией остаточных газов в процессе нанесения.

Структура плёнки изучалась методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Исследования проводили на электронном микроскопе Hitachi H-800 (Япония), со следующими основными техническими характеристиками: разрешение электронно-оптической системы в просвечивающем режиме (ПЭМ) – 0,2 нм, диапазон увеличений ПЭМ – 100–600000, диапазон ускоряющих напряжений: 35–200 кВ. На рисунке 2 представлена микрофотография и картина дифракции от плёнки TiAlN.

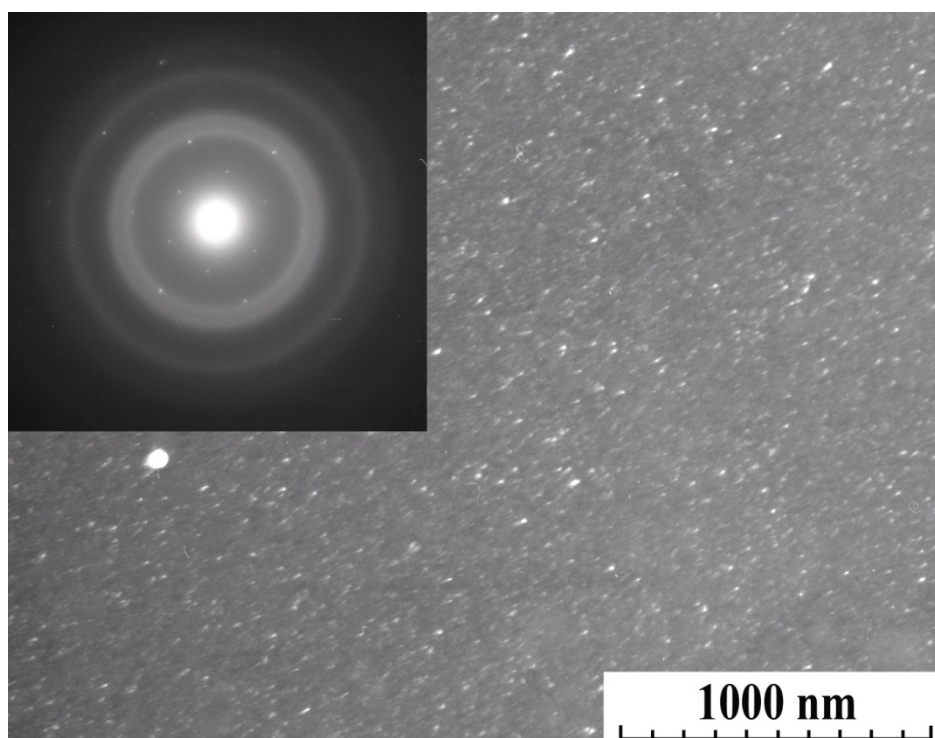


Рис. 2. Темнопольная микрофотография и картина дифракции покрытия Ti–Al–N

Как видно из микрофотографии, в покрытии присутствует нанокристаллическая фаза со средним размером зёрен порядка 20 нм. Расчёт дифракционной картины, представленной на рисунке позволил идентифицировать её как TiN. Как можно заметить из картины дифракции, в покрытии присутствует ультрадисперсная фаза, которая проявляется в виде диффузионного гало. Для более полного описания структуры плёнки представляется целесообразным использовать метод Фурье-анализа диффузной составляющей картины дифракции.

При исследовании твёрдости покрытия в работе применялся стандартный микротвердомер ТП-7Р-1 с индентором Виккерса для определения статической микротвердости вдавливанием. При испытаниях вдавливанием использовались нагрузки 0,1; 0,25; 0,5 и 1 Н. Для контроля отпечатков индентирования использовали микроскоп МБС-2. Обработка результатов измерения микротвёрдости представлена на рисунке 3. Микротвёрдость покрытия изменялась от 12 до 2,5 ГПа, что можно объяснить толщиной нанесённой плёнки и процессами её разрушения. Существующее в нашем распоряжении оборудование не позволило проводить испытания при меньших нагрузках, что вынудило использовать метод аппроксимации нагрузочной кривой полиномом, который позволил сделать оценить микротвёрдость покрытия как близкую к 20 ГПа. Для измерения коэффициента трения нами был использован комплекс приборов для исследования трибологических характеристик нанопокровтий при трении в паре «диск-плоскость». Исследования показали, что коэф-

коэффициент трения стали с покрытием приблизительно в два раза меньше чем у стали без покрытия.

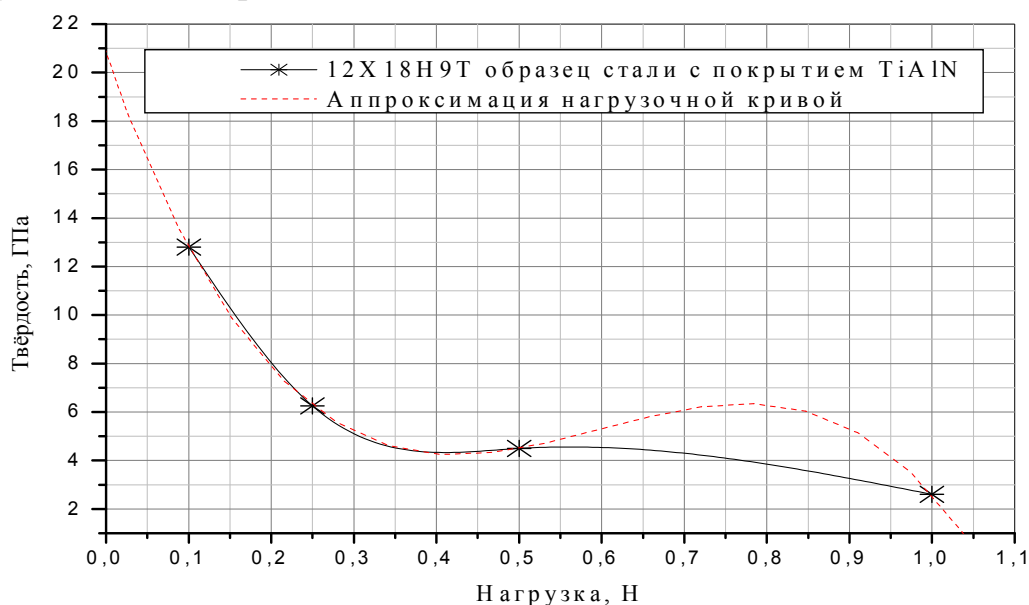


Рис. 3. Зависимость твердости от величины приложенной нагрузки для нержавеющей стали 12Х18Н9Т с покрытием TiAlN.

ВЫВОДЫ

Контролируемое магнетронное нанесение позволило получить покрытие, однородное по составу. Результаты РОР позволяют предположить, что весь металл находится в химически связанном состоянии. При помощи электронной микроскопии установлено, что размер нанокристаллов порядка 20 нм. Дифракционная картина позволила идентифицировать нанокристаллическую фазу как нитрид титана, а также утверждать о наличии ультрадисперсной фазы, исследовать которую представляется целесообразным с помощью Фурье-анализа. Измеренное значение микротвердости покрытия превышает значение микротвердости стали приблизительно в 5 раз. Системы TiN, (Ti-Al)N можно считать перспективными материалами в качестве покрытий на изделиях из металлов и сплавов.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ УЧЕБНОГО НАНОСПУТНИКА

Ю. Е. Резников, О. Н. Стош, Е. С. Мотуз

Всё более широкое применение находят малые космические аппараты (МКА), которые созданы коллективами специалистов, не входящими в традиционную кооперацию производителей космической техники. В основном к таким МКА относятся орбитальные средства учебного и науч-