

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фазовый состав плазменного покрытия из интерметаллида TiNi/ Н.В. Рогов, И.С. Гельман, В.В. Кудинов и др. // Физика и химия обработки материалов. — 1984. — № 5. — С. 37–41.

УДК 669.14.018

Е.В. МАКАРЕВИЧ, С.А. ИВАЩЕНКО, канд.техн.наук,
И.С. ФРОЛОВ, А.М. САМАЛЬ (БПИ)

ФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИОННО-ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЯХ ИЗ НИТРИДА ТИТАНА И В АЛМАЗОПОДОБНОЙ ПЛЕНКЕ

Напряжения, возникающие при напылении тонкопленочных покрытий, оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства системы подложка—покрытие. В ряде случаев внутренние напряжения могут привести к растрескиванию и отслаиванию покрытий, ухудшению их антифрикционных, коррозионных, декоративных и некоторых других свойств. В то же время многочисленными исследованиями показано, что внутренние напряжения можно использовать как дополнительный резерв повышения надежности изделий и конструкций.

Ионно-вакуумные покрытия, получаемые методом КИБ (конденсации вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки), в силу ряда факторов (значительные микроискажения кристаллической решетки, морфологическая неоднородность покрытия, значительный приток тепла на подложку в процессе напыления и т.д.) характеризуются высоким уровнем внутренних напряжений. Отсюда вытекает необходимость изучения процесса формирования напряжений в системе подложка—покрытие, что в конечном итоге даст возможность регулировать величину и знак внутренних напряжений.

Были проведены исследования процесса формирования внутренних напряжений в ионно-вакуумных покрытиях из нитрида титана и алмазоподобной пленки, полученных методом КИБ. Исследования проводились как на стадии подготовки подложки под напыление (ионная бомбардировка), так и на стадии конденсации покрытия. Толщина наносимых покрытий составляла 1... 5 мкм.

Покрытия наносились в ионно-плазменной установке типа "Юнион" со специальным испарителем для получения алмазоподобной пленки. Для исследований использовались образцы из алюминиевого сплава Д16, отожженные в вакууме. Соотношение длины и ширины образцов составляло 10:1, толщина изменялась от 0,3 до 1 мм. Один конец образца на длине 5...7 мм полировался для обеспечения высокой отражательной способности. Перед вакуумированием образцы подвергались ультразвуковой мойке, обезжириванию и сушке.

Подготовленные образцы устанавливались в специальном устройстве для исследования напряженно-деформированного состояния системы подложка—покрытие в процессе нанесения упрочняющего покрытия. Принцип измерения

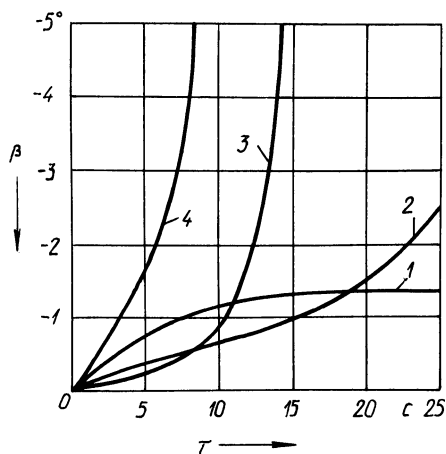


Рис. 1. Зависимость коробления образцов от продолжительности бомбардировки ионами титана:
1,2,3,4 – толщина образца соответственно 1; 0,8; 0,5; 0,3 мм

напряжений при напылении покрытий основан на регистрации угла наклона β плоского образца, закрепленного консольно, при изменении напряженного состояния его поверхностного слоя [1]. Угол наклона образца определялся по перемещению его свободного конца, которое фиксировалось путем измерения отклонения луча лазера на специальном градуированном экране.

На стадии подготовки поверхности подложки под напыление при бомбардировке ее относительно тяжелыми ионами металла (железа, титана) в поверхностном слое были зафиксированы растягивающие напряжения (рис. 1). По мере увеличения длительности бомбардировки наблюдался рост напряжений в поверхностном слое и одновременный сильный поверхностный разогрев образцов. Разогрев образцов небольшой толщины приводит к потере прочностных свойств и катастрофическому их короблению (кривые 3 и 4).

При обработке поверхности подложки ионами инертных газов (аргон, гелий и др.) изменения напряженного состояния поверхностного слоя образцов не зафиксированы. Очевидно, энергия ионов инертных газов недостаточна для образования в поверхностном слое образцов сколько-нибудь заметных напряжений.

В ряде случаев перед нанесением тонкопленочного покрытия из нитрида титана или алмазоподобной пленки на подложку наносят слой более вязкого материала, например титана или железа. Поэтому отдельно проводилось исследование влияния этого фактора на изменение напряженного состояния поверхностного слоя образцов. Нанесение на алюминиевую подложку подслоя титана или железа (рис. 2) приводит к образованию в поверхностном слое образцов сжимающих напряжений. Последние возникают вследствие различия коэффициентов линейного расширения материалов основы и покрытия, а также за счет образования в поверхностном слое образцов различных интерметаллических соединений алюминия с титаном или железом.

Динамика изменений напряжений в поверхностном слое плоских образцов при нанесении тонкопленочных упрочняющих покрытий приведена на рис. 3. При конденсации покрытий из нитрида титана и алмазоподобной пленки в поверхностном слое образцов формируются сжимающие напряжения, которые возрастают с увеличением продолжительности процесса напыления, т.е.

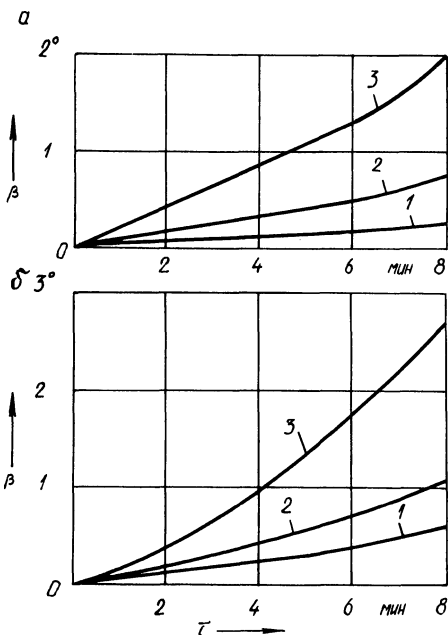


Рис. 2. Зависимость коробления образцов от продолжительности процесса при нанесении подслоя металла: а — титана; б — железа; 1, 2, 3 — толщина образца соответственно 0,8; 0,5; 0,3 мм

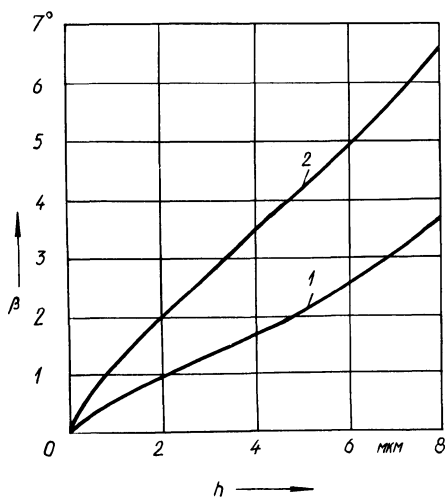


Рис. 3. Динамика изменения напряжений при нанесении покрытий из нитрида титана (1) и алмазоподобной пленки (2)

с ростом толщины покрытия. Напряжения, образующиеся при конденсации покрытия из алмазоподобной пленки, значительно превосходят напряжения, возникающие при конденсации покрытий из нитрида титана. На наш взгляд, это связано с большей пластичностью покрытий из нитрида титана, что обеспечивает более интенсивное протекание релаксационных процессов при формировании покрытий.

Результаты измерений деформации образцов, приведенные на рис. 3, объясняют различную адгезионную прочность покрытий из нитрида титана и алмазоподобной пленки большими напряжениями, возникающими при нанесении последней, а также указывают на основную причину, по которой на практике весьма трудно получить качественное покрытие из алмазоподобной пленки толщиной более 5 мкм.

Приведенные результаты исследований напряжений дают лишь качественную оценку процессов, происходящих при нанесении упрочняющих тонкопленочных покрытий. Для количественной оценки напряжений, возникающих в поверхностном слое образца с покрытием, была использована зависимость Бреннера—Сендерофа [2], позволяющая определить напряжения в системе подложка—покрытие в каждый момент времени напыления покрытия по изменению радиуса кривизны образца:

$$\sigma = \frac{E_2 h_2}{\sigma R h_1} \left[h_2 + \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{5/4} h_1 \right],$$

где E_1 и E_2 — модуль упругости материалов соответственно покрытия и подложки; h_1 — толщина покрытия; h_2 — толщина подложки; R — радиус кривизны образца.

Радиус кривизны образца можно определить, зная зависимость изменения угла наклона образца в процессе нанесения покрытия $\beta = f(T)$ по методике, приведенной в работе [1].

В результате расчетов установлено, что максимальные напряжения поверхностного слоя образцов с покрытием из нитрида титана составляют около 600 МПа, а с покрытием из алмазоподобной пленки — более 900 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- И в а щ е н к о С.А., М а к а р е в и ч Е.В., П л а х о т н ю к В.И., М о и с е е н к о С.И. Устройство для определения напряжений в тонкопленочных покрытиях // Машиностроение. — Мн., 1987. — № 12. — С. 62–66.
- Х а с у й А. Техника напыления: Пер. с яп. — М., 1975. — 288 с.

УДК 621.785

Ф.БЛЮМЕ, доктор (Дрезд. техн. унив.), Г.Я. БЕЛЯЕВ,
Ю.Ю. ЯРМАК, кандидаты техн. наук,
Г.Г. ЕЖЕНКОВ, Е.А. ВЕРШИНА (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАКИРУЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ ПОРОШКА НА СОСТАВ И СТРУКТУРУ ПОКРЫТИЙ ИЗ КАРБИДА ТИТАНА

В работе исследовались фазовые превращения в покрытиях из карбида титана, протекающие в процессе плазменного напыления, влияние химического состава плакированных порошковых материалов на основе карбидов титана на состав и структуру покрытий, распределение в них химических элементов. Особое внимание было уделено покрытиям из TiC, плакированного никель-молибден-фосфорной оболочкой.

Покрытия наносились с использованием аргоно-водородной плазмы. Применялись порошки "чистого" карбида титана TiC, механическая смесь 65 % TiC + 35 % Ni, агломерированный порошок 50 % TiC + 50 % Ni–В–Cr–Si и плакированный порошок TiC–Ni–Mo–P составов 65 % TiC + 35 % Ni–Mo–P и 50 % TiC + 50 % Ni–Mo–P.

Для определения изменения состава порошка в процессе плазменного напыления покрытие наносилось на металлическую подложку и по достижении определенной толщины скалывалось. После этого оно измельчалось, а в полученном таким образом порошке определялось содержание различных элементов.