

ДОБРОТНОСТЬ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Поддубная Н.Н.¹, Кузнецова Т.В.²Институт технической акустики НАН Беларуси¹, г. Витебск,
poddubnaya.n@rambler.ruИнститут тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси², г. Минск

Работа представляет исследование добротности слоистых композиционных структур металл - пьезоэлектрик – металл в зависимости от методики их получения: ионно-лучевого распыления металлических пленок на керамические заготовки, электрохимического осаждения металла либо соединения готовых металлических пластин и пьезокерамики посредством полимерного композита.

В качестве пьезокомпоненты использовалась керамика марки ЦТС 42. Образцы изготавливались в форме дисков диаметром 8-9 мм при толщине керамики порядка 500 мкм. С двух сторон на заготовки наносили методом ионно – лучевого напыления тонкие пленки никеля толщиной 2 мкм. Электрохимическое осаждение никеля толщиной 30 мкм и 60 мкм осуществлялось поверх затравочного контактного слоя толщиной до 0,5 мкм, полученного ионно-лучевым напылением. Поляризация проводилась вдоль оси дисков в течение двух часов в силиконовом масле при температуре 150°C в поле 4 кВ/мм с последующим охлаждением в этом поле. Механическое соединение пластин из фольги никеля толщиной 125 мкм и пьезокерамики обеспечивалось соединением посредством эпоксидного полимера.

Измерение добротности проводилось на частоте акустического резонанса f_p . С этой целью образец, зажатый с помощью гибких контактов, размещался внутри катушки, подключенной к генератору высокочастотных сигналов. Частота переменного магнитного поля изменялась от 10 кГц до 500 кГц при напряженности от 0,08 А/м до 0,8 А/м. Катушка с образцом размещалась в постоянном магнитном поле электромагнита, соответствующем по величине максимальному низкочастотному МЭ эффекту. Результаты исследований представлены в таблице.

	металлические пластины		электроосаждение по 60 мкм		электроосаждение по 30 мкм		напыление по 2 мкм	
$h_{\text{керамики}}$ мкм	530	490	500	470	530	450	500	500
$\square h_{\text{металла}}$ мкм	250	250	120	114	60	57	4	4
$f_{\text{резонанса}}$ кГц	318,26	289,24	289,5	299,53	296,31	317,47	328	306
$tg \square$	0,051	0,06	0,131	0,056	0,043	0,04	0,07	0,05
Q	159,13	115,70	307,98	356,58	548,72	793,68	1171,43	1224,0

Представленные данные показывают снижение добротности образцов с увеличением толщины магнитострикционной компоненты структуры. В композиционных структурах с толщиной металла 250 мкм величина добротности составляет 100 – 150 единиц. В материалах, полученных электрохимическим осаждением, с изменением толщины металла от 30 до 60 мкм добротность падает от 700 до 300 единиц. Структуры, полученные ионно-лучевым напылением (толщина магнитострикционного покрытия составляла 4 мкм), имеют добротность порядка 1200. Метод изготовления структуры не оказывает влияния на величину тангенса угла потерь $tg \square$. Полученный результат объясняется замещением объемной доли фазы с высокой добротностью (до 2000 в пьезокерамике) [1] на фазу с меньшей добротностью (100 для никеля) [2].

Кроме того, величина добротности в композиционных структурах будет зависеть от взаимосвязи компонент структуры. Чем выше добротность слоистой структуры пьезоэлектрик/металл, тем большей должна быть величина адгезии металлического покрытия к подложке. Такое предположение подтверждается результатами проведенного исследования адгезионной прочности сцепления для покрытий электрохимически осажденного никеля с поверхностью керамики от длительности осаждения. Критерием прочности сцепления никелевого слоя с подложкой являлась адгезионная прочность – нормальная нагрузка, при которой разрушается покрытие при использовании метода царапания. В эксперименте участвовали структуры, полученные электрохимическим осаждением никеля на заготовки ЦТС 42 в течение часа и в течение двух часов.

В процессе работы на поверхность с покрытием наносили царапину длиной 15 мм с возрастающей нагрузкой от 0 до 50 Н при скорости движения индентора по поверхности до 5 мм/мин с использованием автоматического комплекса для анализа свойств поверхности. Морфологию полученной царапины изучали в электронном микроскопе “Mira” (фирмы «Tescan», Чехия) с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром “Inca 350” фирмы “Oxford Instruments” (Великобритания), отмечая расстояние от начала царапины для каждой новой картины разрушения. По графику изменения нагрузки от длины пути, зная расстояние от начальной точки, определяли нагрузку разрушения.

Для структуры, полученной в течение часа, величина критической нагрузки при определении адгезионной прочности никелевого слоя составила 27 Н (рис.1,а). Использовался диапазон нагружения 0 – 5 кг. Морфология поверхности разрушения в царапине представлена на рис. 1.б и имеет хрупкий характер разрушения.

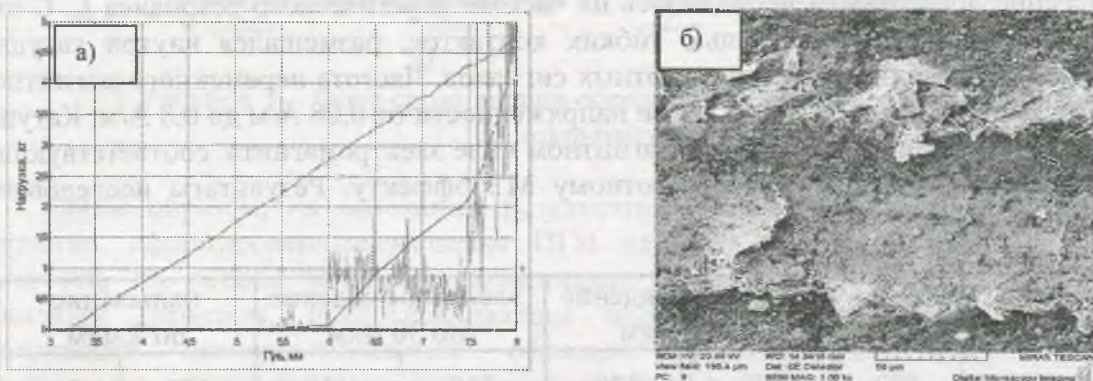


Рисунок 1 – Исследования адгезионной прочности и морфология поверхности разрушения образца ЦТС 42/никель, полученного электрохимическим осаждением в течение часа.

а) зависимость нагрузки (синий) и интенсивности сигналов акустической эмиссии (красный) от длины пути индентора при движении; б) морфология поверхности, хрупкий характер разрушения.

Величина критической нагрузки при определении адгезионной прочности никелевого слоя в образцах а и б, полученных осаждением в течение двух часов, составили соответственно 4 Н (а) и 8 Н (б) (рис.2). Использовался диапазон нагружения 0 – 3 кг. Морфология поверхности разрушения в царапине показала ярко выраженный хрупкий характер разрушения (рис. 3).

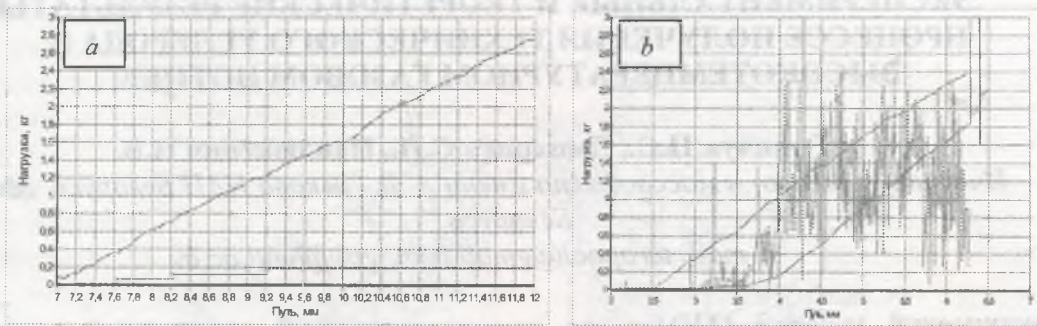


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки (синий) и интенсивности сигналов акустической эмиссии (красный) от длины пути индентора при движении со скоростью 5 мм/мин в структурах ЦТС 42/Ni. Длительность осаждения 2 часа. Диапазон нагружения 0 – 3 кг.

Значение критической нагрузки составляет 4 Н в образце *a* и 8 Н в образце *b*.

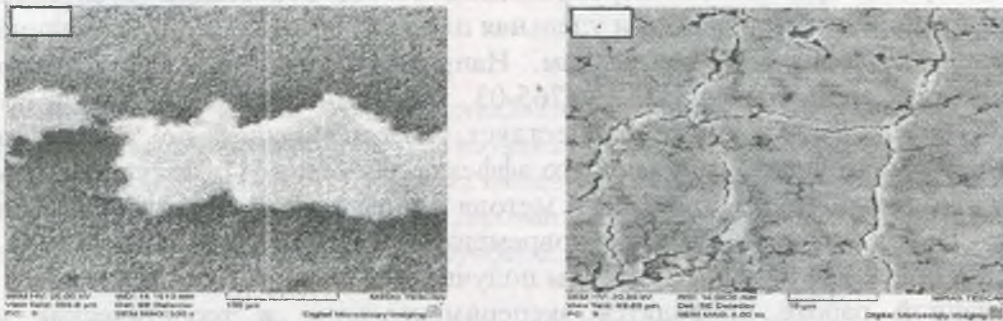


Рисунок 3 – Морфология поверхности разрушения в царапине на композиционном материале на основе ЦТС 42/Ni, осажденного в течение двух часов (*a*) и (*b*).

Хрупкий характер разрушения.

Результаты исследований показывают, что во всех случаях покрытия имеют хрупкий характер разрушения. Лучшее значение адгезионной прочности среди испытанных композиционных материалов на основе керамики ЦТС42 и никелевого слоя 27 Н определено для покрытия, осаждавшегося в течение 1 часа. Покрытия, полученные при длительности осаждения 2 часа, значительно уступают по величине адгезионной прочности. Приведенные данные подтверждают предположение о зависимости добротности композиционных структур от степени взаимосвязи между компонентами структуры.

Список литературы

1. Пьезоматериалы и пьезоэлементы [Электронный ресурс] / ОАО «НИИ Элпа». – Электрон. текстовые дан. – Москва: [б.и.], 2003 - 2012 – Режим доступа: <http://www.elpapiezo.ru/elements.shtml>
2. Маленькая энциклопедия Ультразвук /гл.ред И.П.Голямина/ Москва: Советская энциклопедия, 1979. – с. 133.