

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПОКРЫТИЙ ПОД НАГРУЗКОЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

М. А. Выбойщик, Д. Л. Мерсон, Д. И. Панюков  
*Тольяттинский политехнический институт*

В настоящее время существует множество различных методов контроля физико-механических свойств покрытий, но ни один из них не позволяет одновременно судить о таких характеристиках покрытий, как адгезия, когезия, предельная деформируемость и др. В этом плане существенную помощь может оказать метод акустической эмиссии (АЭ).

Целью настоящей работы является исследование физико-механических свойств и кинетики повреждаемости покрытий на основе метода АЭ.

Исследованию подвергали различные типы покрытий (порошковые полимерные, фторопласт, TiN) на стали (сталь 10кп и 12Х18Н10Т). Образцы размерами рабочей части 0,65х10х50 мм испытывались методами одноосного растяжения, индентирования и склерометрии. Сигналы АЭ воспринимались в диапазоне пропускаемых частот 60-1500 кГц широкополосным пьезодатчиком. В качестве наиболее информативных параметров для характеристики поведения объекта в целом использовали мощность и огибающую сигналов АЭ, а для анализа отдельных импульсов АЭ – энергию (E) и медианную частоту ( $F_{med}$ ) импульса. Состояние поверхности образцов с покрытием TiN на разных стадиях деформации исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Испытание образцов на одноосное растяжение показало, что с помощью метода АЭ можно с высокой точностью измерять пластические свойства покрытия на подложке, а также косвенно судить об адгезионных свойствах покрытия. При испытании образцов методами индентирования и склерометрии установлено, что адгезионное разрушение покрытия сопровождается повышением общего уровня акустической эмиссии, при этом нагрузка, соответствующая этому моменту, определяется качеством адгезии покрытия к подложке, а уро-

вень акустического излучения определяется интенсивностью разрушения адгезионных связей. Кроме того, было обнаружено явление демпфирования покрытием акустического излучения подложки. В этих испытаниях в качестве основного критерия оценки использовалось поведение интегральных энергетических характеристик, таких как мощность и огибающая акустической эмиссии, а спектральным особенностям акустического излучения должного внимания уделено не было.

Для детализации кинетики повреждаемости покрытий в процессе нагружения была применена методика определения спектрального состава импульсов АЭ. В качестве материала подложки была выбрана листовая сталь 12Х18Н10Т, на которую наносили покрытие нитрид титана (TiN).

Анализ полученных результатов показал следующее. Во всех случаях акустическая активность в образцах с покрытием выше, чем в образцах без покрытия. Поведение огибающей АЭ в процессе деформации независимо от технологии нанесения покрытия имеет общие закономерности: наряду с традиционным максимумом в области предела текучести имеется еще один экстремум, который проявляется при определенной для каждого типа образца деформации. По-видимому, первый пик АЭ связан с релаксацией остаточных напряжений, накапливаемых в покрытии в процессе осаждения, а второй – с процессами деструкции покрытия.

Частотно-временной анализ, проведенный по точечным диаграммам, построенным в координатах « $F_{med}$ -деформация» показал, что все сигналы по медианным частотам разделяются на три характерных диапазона: низкочастотные (70-100 кГц), среднечастотные (150-300 кГц) и высокочастотные (400-600 кГц). При этом распределение во времени каждого из указанных типов

сигналов для разных типов образцов имеет свои характерные особенности. Так, у образца без покрытия высокочастотные сигналы вообще практически не наблюдаются, а основную массу составляют сигналы с частотами менее 250 кГц, а у образцов с покрытием - средне и высокочастотные сигналы.

Из общих соображений можно предположить, что единые по природе происхождения сигналы АЭ имеют сходные значения энергии и медианной частоты, поэтому разбиение импульсов на кластеры в пространстве признаков  $E-F_{med}$  должно свидетельствовать о различной природе источников АЭ. Всего можно выделить три кластера, причем, что и неудивительно, их частоты соответствуют установленным выше диапазонам. Наибольшую энергию имеет низкочастотный кластер. Поскольку низкочастотные импульсы наблюдаются только для образцов без покрытия или для покрытых образцов после обнажения подложки, очевидно, что низкочастотный кластер связан с деформированием подложки.

Для установления природы происхождения импульсов АЭ, принадлежащих двум другим кластерам, была проведена растровая электронная микроскопия поверхности исследуемых образцов на различных этапах деформирования. В результате данного исследования установлено следующее.

Для всех образцов с покрытиями при деформациях, соответствующих первому максимуму огибающей АЭ, каких-либо следов разрушения покрытия не обнаружено. Это подтверждает сделанное выше предположе-

ние о связи первого пика АЭ с микропластической деформацией покрытия, активность которой определяется уровнем остаточных напряжений в покрытии после осаждения.

Повторный подъем огибающей АЭ вызван образованием в покрытии кривой регулярной сетки трещин по сдвиговому механизму и появлением внутри нее более коротких перпендикулярных оси растяжения трещин отрыва. Установлено: импульсы высокочастотного диапазона ответственны трещины, развивающиеся по сдвиговому механизму, а среднечастотного – трещины отрыва.

На основании проведенного исследования покрытия TiN на подложке 12X18H10T сделаны следующие выводы.

1) Величина первого пика огибающей АЭ определяется уровнем остаточных напряжений в покрытии после его осаждения и может служить косвенным показателем склонности данного покрытия к хрупкому разрушению. Формирование второго максимума огибающей АЭ связано с процессами деструкции покрытия, а положение максимума определяется пластическими свойствами покрытия.

2) Путем выделения кластеров на точечных диаграммах в пространстве признаков медианная частота - энергия можно проводить разбраковку импульсов АЭ по природе их происхождения.

3) Наличие высокочастотного кластера связано с процессом трещинообразования по сдвиговому механизму, а среднечастотного – по механизму отрыва.

УДК 533.5

## **ВЫСОКОВАКУУМНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК**

**Н. В. Камышанченко, И. С. Мартынов**

*Белгородский государственный университет*

**И. М. Неклюдов, В. Ф. Рыбалко**

*НИИ Харьковский физико-технический институт*

В работе описана конструкция высоковакуумного стенда для получения тонких пленок металлов. Предварительное разряжение в экспериментальной камере, до давления