

РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПО 4-Х ТОЧЕЧНОЙ СХЕМЕ ДЛЯ ОБРАЗЦА С МНОГОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Ибрагимов А.Р.

Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

STRAIN ENERGY CALCULATING BY TENSION ON 4 POINTS SCHEME FOR SPECIMEN MULTILAYER COATED

Ibragimov A.R. Equation derived in the paper which make it possible confront value mathematical proceeding from parameter research coated with real behavior coating. This confrontation indicated proof deformation coating systems/

При исследовании деформационных и прочностных свойств покрытий у образцов с многослойным покрытием, предназначенных для деталей ГТД, важное значение имеет разработка методов расчета энергии упругой деформации для возможности моделирования поведения системы «покрытие – основа». Мной выведено данное уравнение на растяжение по 4-х точечной схеме (рис.1). Принципиальное отличие 4-х точечного изгиба от 3-х точечного заключается в отсутствии концентрации нагрузки в одной точке, распределение нагрузки по внутреннему пролету образца, что является более информативным.

Техническим результатом разработанного уравнения заключается в получении математических значений исходя из параметров исследуемых покрытий, которые при сопоставлении с реальными свойствами покрытий показывают способность системы покрытий сопротивляться деформаций. Выводы о различии экспериментальных и теоретических исследований, например, по 3-х точечной схеме изгиба есть у авторов [1]. Авторы установили различие в экспериментально определенной прочности межслойного сдвига для коротких стержней на трехточечный изгиб, вследствие чего результаты могут служить лишь для качественного сопоставления механических свойств разных композитов. Это показывает об актуальности данных исследования и необходимости разработать методы сопоставления и анализа экспериментальных и теоретических результатов.

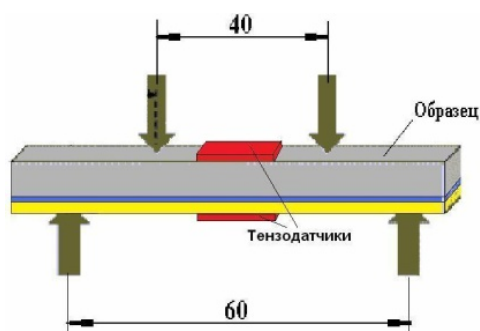


Рис. 1. Схема 4-х точечного изгиба

В работе авторов [2] представлена методика определения энергии упругой деформации при растяжении для сплошного материала на основе диаграммы нагружения сила (P) – перемещение (деформация) (δ). Где полная энергия деформации:

$$U = \frac{P\delta}{2} \quad (1)$$

Пользуясь законом Гука, мы получаем следующие два выражения для энергии деформации в призматическом стержне:

$$U = \frac{P^2 l}{2FE} \quad (2)$$

$$U = \frac{FE\delta^2}{2l} \quad (3)$$

Первое из этих уравнений дает энергию деформации как функцию силы P, а второе дает ту же энергию, как функцию перемещения δ. В практических приложениях

часто имеет важное значение энергия деформации, отнесенная к единице объема. Из уравнений (2) и (3) она равняется

$$U' = \frac{U}{Fl} = \frac{\sigma^2}{2E}$$

$$U' = \frac{E\varepsilon^2}{2},$$

где $\sigma = P/F$ есть растягивающее напряжение и $\varepsilon = \delta/l$ - относительное перемещение. Уравнения определяют наибольшее количество энергии деформации в единице объема, которое может быть накоплено в стержне безостаточной деформации¹.

Для нас приемлем использование уравнения (2),

$$\text{где } \sigma = \frac{3Pa}{bh^2},$$

$$\text{а } E = \frac{E_s h_s + E_{bc} h_{bc} + E_{tc} h_{tc}}{h_{\text{общ}}}.$$

Следовательно,

$$U' = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{\left(\frac{3Pa}{bh_{\text{общ}}^2}\right)^2}{2\left(\frac{E_s h_s + E_{bc} h_{bc} + E_{tc} h_{tc}}{h_{\text{общ}}}\right)} \quad (3)$$

При наличии соответствующего оборудования, также возможна решение и через ε перемещение (деформацию) по уравнению

$$U' = \frac{E\varepsilon^2}{2},$$

$$\text{где } \varepsilon = \frac{s's}{nn_1} = \frac{y}{r}.$$

Недостатком уравнения (3) является отсутствие коэффициента сцепления покрытий (следовательно, мы рассматриваем идеальную модель), однако исследование раз-

рушения покрытий показывает, что характер образования трещин различна и факторов влияющих на это также многочисленны, в особенности, зависит от технологии напыления покрытий. Если дальнейшие исследования позволят выявить обоснованный коэффициент сцепления покрытий, то оно легко может быть введено в уравнение.

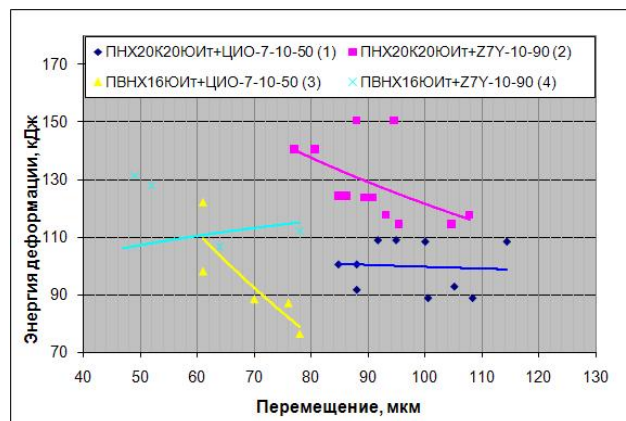


Рис. 2. Диаграмма соотношений энергии деформации (кДж) к перемещению (мкм)

Сопоставление величин наибольшего количества энергии деформации в единице объема, которое может быть накоплено в многослойном образце безостаточной деформации с экспериментально полученными значениями перемещения керамического слоя по рис.2 показывает, что система №4, затем №3 из композиционных систем имеет способность более всего сопротивляться деформации (перемещению), соответственно система №1 менее всего. От этого следует, что системы №4, 3 более всего обеспечивают адгезионно-когезионные прочностные свойства покрытий.

Библиографический список

1. Васильев, В.В. Композиционные материалы. Справочник / В.В. Васильев. - М. Машиностроение, 1990. - 225 с.
2. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов / С.П. Тимошенко. - Том 1, Изд. «Наука», М., 1965. - С. 255-257.