

А.В. Усов, А.Д. Ницевич, Е.Ю. Кутяков, Одесса, Украина

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА КАЧЕСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

*Розроблено модель впливу технологічних дефектів зносостійких покриттів на якість і експлуатаційні характеристики деталей транспортних машин представлена у вигляді комплексу критеріальних співвідношень, які дозволяють управляти обробкою деталей з покриттям для забезпечення необхідної якості.*

*Разработана модель влияния технологических дефектов износостойких покрытий на качество и эксплуатационные характеристики деталей транспортных машин представлена в виде комплекса критеріальных соотношений, которые позволяют управлять обработкой деталей с покрытием для обеспечения требуемого качества.*

*A model of the impact of technological defects of wear-resistant coatings on the quality and performance details of transport vehicles provided in the form of a complex criterion relations that control the processing of parts with a coating to ensure the required quality.*

В процессе эксплуатации транспортных машин происходит изменение их технического состояния, основными причинами которого являются изнашивание, усталостное разрушение, пластическая деформация, коррозия. Пластическая деформация и усталостное разрушение являются следствием конструктивно-технологических недоработок или нарушения правил эксплуатации.

Для упрочнения и восстановления деталей транспортных машин широко применяются различные методы наплавки, металлизации и напылений. При этом на границе покрытия – основной металл возможны дефекты нарушения сплошности соединения двух граничных тел. Такие дефекты могут быть причиной скалывания покрытий на финишных технологических операциях, или появляться в процессе эксплуатации, что в конечном итоге приводит к нарушению работоспособности сопряжения и механизма в целом.

Ввиду изложенного, возникает задача исследования равновесного состояния наследственного частичного дефекта под действием термомеханических напряжений формирующихся при шлифовании рабочих поверхностей с покрытиями и контактных эксплуатационных нагрузок.

Для рассмотрения модели кинетики формирования термомеханических процессов при обработке шлифованием и контактных нагрузок деталей с покрытиями предполагаем, что деталь представляет собой двухслойную полуплоскость, и разрушение происходит непосредственно в зоне воздействия нагрузок. Прочность покрытия определяется по возникающим в них напряжениям изгиба, а основания – по максимальным контактным напряжениям, которые имеют место непосредственно в зоне контакта сопряжения.

Для разработки критериев сплошности покрытия необходимо определить контактные напряжения в зоне положительного отрывающего направления (в предложении отсутствия отрыва покрытия) и сравнить их с напряжениями, разрушающими сцепление.

Дифференциальное уравнение изгиба покрытия, лежащего на упругом основании при безразмерных величинах нагрузок и размеров в случае, когда нагрузка  $q(x,y)$ , действуя на покрытие толщиной  $h$ , зависит от координаты  $y$  и  $x$ . Допустим на границе покрытия - матрица образовалось отслоение, занимающее плоскую область  $\Omega$ .

Задача заключается в отыскании коэффициентов интенсивности контактных напряжений в граничных точках  $\Omega$ , с помощью которых, как известно [1, 2] можно решать вопрос о равновесном состоянии рассматриваемого дефекта, и определить условия скалывания частично отслоившегося покрытия.

Предположим, что между покрытием и основным материалом нет касательного взаимодействия, то есть отличны от нуля только контактные нормальные напряжения  $P(y)$ .

Поэтому задачу можно сформулировать в виде следующей системы:

$$D_1 \frac{d^4 w}{dy^4} = P(x) - q(y) \quad (-\infty < y < \infty) \quad (1)$$

Здесь через  $D_1$  обозначена жесткость покрытия  $D_1 = \frac{E_1 h}{12(1-\mu^2)}$ ,  $E_1$  - модуль упругости материала покрытия,  $h$  - толщина покрытия,  $\mu$  - коэффициент Пуассона материала покрытия,  $P(y)$  - нормальные контактные напряжения, действующие между покрытием и матрицей,  $q(y)$  - нагрузка, отрывающая покрытие от основного материала,  $w(y)$  - прогиб покрытия.

Вертикальные смещения  $w(y)$  поверхностных точек матрицы в области отслоения  $\Omega$ , ( $|y| < a$ ), которые можно интерпретировать как раскрытие трещины, согласно [1] могут быть определены через основную матрицу-ядро в виде:

$$w(\dot{o}) = -\frac{D_2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_0(\beta|y-s|) P(s) ds \quad (2)$$

где  $D_2 = \frac{2(1-\mu_2^2)}{E_2}$ ;  $E_2$ ,  $\mu_2$  - коэффициенты упругости и Пуассона основного материала;  $K_0(\beta|y-s|)$  - функция Макдональда, обладающая свойством

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} K_0(\beta|y-s|) = \ln \ln \frac{1}{|y-s|} + \gamma$$

Так как контактные напряжения на участке  $|y| = |s| \leq a$  отсутствуют, то имеет место условие:

$$P(s) \equiv 0, |s| < a \quad (3)$$

Неизвестная разность (скачек функции)  $\chi(y)$  между прогибами покрытия  $w(y)$  и вертикальными смещениями  $w_3(y)$  поверхностных точек основного материала в области  $\Omega$  частичного отслоения представлена в виде:

$$W(y) - W_3(y) = \chi(y), \quad \chi(y) \equiv 0, \quad |y| > a$$

В результате проведенных исследований определяем контактное напряжение:

$$P(y) = \frac{D_1}{\pi A} \sum_{m=0}^{\infty} \chi_m \frac{d^2}{dy^2} \int_{-1}^1 \sqrt{1-s^2} U_{2m}(sa) \left[ B + \ln \frac{1}{|y-s|} - \int_0^{\infty} \frac{\cos \alpha (y-s) - e^{-\alpha}}{\alpha (\alpha^3 + \gamma)} d\alpha \right] ds + \frac{1}{2\pi A} \int_{-a}^a q(as) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-i\alpha|y-s|}}{\gamma + |\alpha|^3} d\alpha ds$$

Коэффициенты интенсивности контактных напряжений (КИН) определяются следующим образом:  $K_I^+ = \frac{D_1}{\pi A} \lim_{y \rightarrow 1+0} \sqrt{2\pi(y-1)} \sum_{m=0}^{\infty} \chi_m P_m(y)$

$$K_I^- = \frac{D_1}{\pi A} \lim_{y \rightarrow 1-0} \lim_{y \rightarrow 1-0} \sqrt{2\pi(y-1)} P^*(y)$$

Анализ зависимости КИН от отношения  $h/a$  при различных значениях параметра  $\beta = \frac{D_1}{D_2} \mu_1 = \mu_2 = 0,3$ ;  $D_1 = \frac{E_1 h}{12(1-\mu^2)}$ ;  $D_2 = \frac{2(1-\mu_2^2)}{E_2}$  показывает, что при подборе покрытий для основного материала следует руководствоваться соответствием физико-механических свойств покрытий и материала матрицы ( $\beta=1$ ), а также условиями нанесения их на поверхность изделий. Длина  $a$  участков частичного несхватывания покрытия с матрицей не должна превышать  $1/3$  толщины наносимого покрытия. В противном случае значения КИН начинают резко возрастать, что свидетельствует о возможном отрыве с покрытия на указанном участке при обработке шлифованием.

Таким образом, разработана модель влияния технологических дефектов износостойких покрытий на качество и эксплуатационные характеристики деталей транспортных машин представленная в виде комплекса критериальных соотношений. В этом комплексе технологические параметры представлены через температуру шлифования и интенсивность теплового потока  $q(y)$ , которые позволяют управлять обработкой деталей с покрытием для обеспечения требуемого качества даже при наличии дефектов типа частичного отслоения.

**Список использованных источников:** 1. Усов А.В., Дмитришин Д.В., и др. Моделирование систем с распределенными параметрами Одесса, Астропринт, 2002г-716с. 2. Попов Г.Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений. — М: Наука, 1982.

*Поступила в редколлегию 15.06.2012*