

ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НЕМОДИФИЦИРОВАННОГО КЛЕЯ ЭД – 20 ПРИ ПОМОЩИ СКРЕТЧ-ТЕСТА

Смирнов С. В., Веретенникова И.А., Смирнова Е.О., Коновалов Д.А., Пестов А.В.
Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
irincha@imach.uran.ru

Одним из методов оценки адгезионных и когезионных свойств тонких покрытий и их трибологических свойств является скретч- тест (царапание) [1]. Во время скретч - теста алмазный индентор (чаще всего индентор Роквелла) с постоянной скоростью движется по исследуемой поверхности с постоянной или линейно увеличивающейся нагрузкой. Данный метод позволяет исследовать покрытия в различных условиях контакта и моделировать, таким образом, условия эксплуатации. Тест на царапины особенно эффективен в случае исследования адгезии твердых и хрупких покрытий. Хотя оценка адгезии для мягких покрытий намного сложнее, она по-прежнему применима в качестве дополнительного испытания для других тестов. Целью настоящего исследования являлась оценка адгезионной прочности покрытия на разных подложках и подбор оптимального критерия оценки.

В работе исследовали немодифицированный клей ЭД – 20. В качестве основы для покрытия применялись пластины алюминий-магниевого сплава АМг6 и стали 3. Толщина покрытия 0,292 мм на подложке из Амг6 и 0,211 мм – на Стале 3.

Механические свойства материала (твердость и приведенный модуль упругости) на разных подложках были измерены на комплексе NanoTriboindenter TI 950. Испытания индентором Роквелла проводили на универсальном испытательном комплексе Zwick 2,5, модернизированном для проведения экспериментов по царапанию, при температуре 22 ± 2 град.С. Скретч-тест осуществляли с возрастающей нагрузкой до возникновения отслоения перед индентором. На каждой подложке было сделано по 5 царапин. Перемещение индентора, нормальное и тангенциальное усилие в процессе испытаний записывалось с использованием штатных возможностей прибора. После испытаний участок царапины и отслоения изучали и измеряли характеристические размеры на оптическом бесконтактном профилографе-профилометре NT 1100. На рисунке 1 приведен общий вид царапины до расслоения на пластине из АМг6 (а) и образование «бороздок» на боковой поверхности царапины (б).

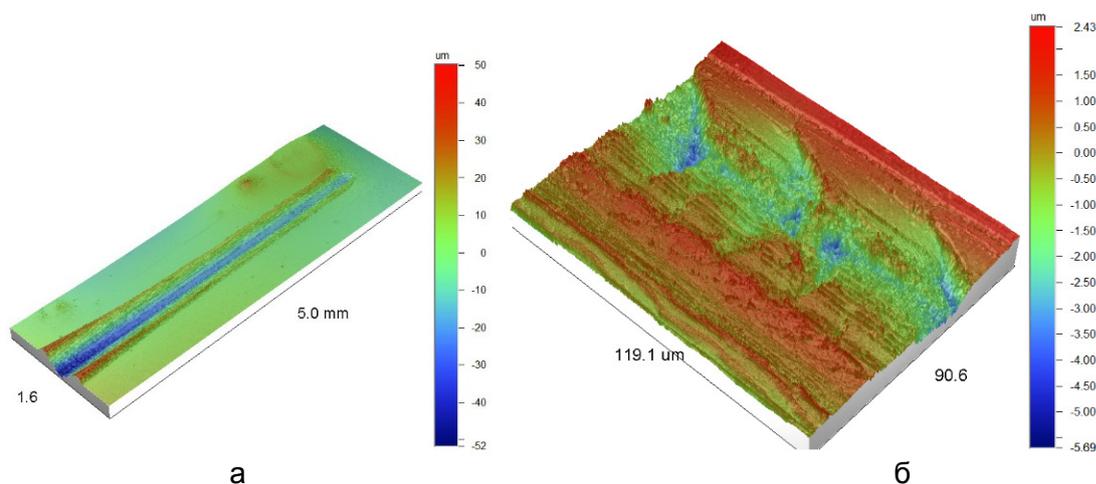


Рисунок 1 – 3D топография поверхности царапин с возрастающей нагрузкой (а) и образование «бороздок» на боковой поверхности царапины (б) на поверхности Клея ЭД-20 (ПЭПА), подложка АМг6

В диапазоне времени $t_n = 1 - 40$ с нагружения до максимальной нагрузки 1Н образцы проявляют вязкие свойства, выражающиеся в уменьшении твердости при уменьшении скорости приложения нагрузки, т.е. от 0,46 Н при 5 с до 0,43 Н при 40 с для обеих подложек. Величина контактного нормального модуля упругости

зависимости от скорости нагружения не проявила. Дальнейшее увеличение времени t_* оказывает незначительное влияние на величину твердости.

Характер образования бороздок и общий вид царапин в начале скретч - теста на разных подложках для одного и того же материала аналогичны, однако характер образования пятна отслоения в конце отличается. На основании литературного анализа в качестве характеристики, получаемой из экспериментальных данных, была выбрана величина поверхностной энергии адгезионного разрушения $\Delta\gamma$ [2].

Для ее расчета использовали приближенную формулу Hutchinson и Suo [3]

$$F \approx 2B \left(\tan \theta + \frac{a}{B} \right) \sqrt{2E_1 \Delta\gamma t},$$

где F – тангенциальное усилие при скалывании, t – толщина покрытия, E_1 – модуль упругости покрытия $\theta = \beta$, a – полуширина, L – длина. На рисунке 2 приведен общий вид царапины покрытия из Клея ЭД-20 на подложке АМг6 и показаны определяемые параметры. В результате расчетов было получено, что $\Delta\gamma$ равна 0,12 Дж/кв.м и 0,21 Дж/кв.м для покрытий на образцах из сплава АМг6 и стали 3, соответственно. Значения поверхностной энергии адгезионного разрушения $\Delta\gamma$ на порядок превышают значения, определённые в прямых экспериментах на разрыв склеенных между собой П-образных профилей.

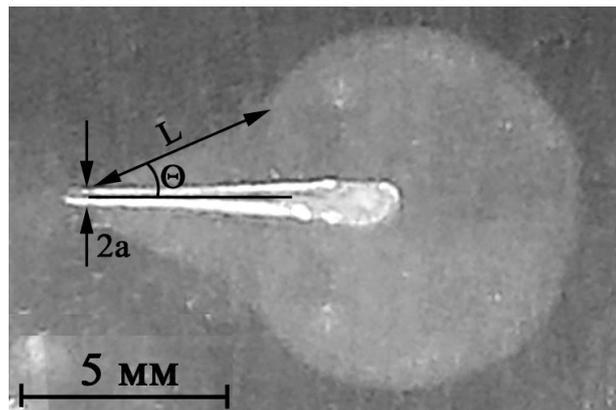


Рисунок 2 – Общий вид царапины покрытия из Клея ЭД-20 (ПЭПА) на подложке АМг6 и характерные размеры, необходимые для последующих расчетов

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-08-01154 А.

Литература

1. ASTM G171 – 03 (REAPPROVED 2009) Standard Test Method for Scratch Hardness of Materials Using a Diamond Stylus
2. Z. Liu, J. Sun, J.-D. Wu, P.-N. Wang and W. Shen (2004) «Determination of Adhesion Energy of CNx Thin Film on Silicon from Micro-Scratch Testing», Tribology Transactions, 47, pp. 130-137.
3. J. W. Hutchinson and Z. Suo, (1992), «Mixed Mode Cracking in Layered Materials», Adv. Appl. Mech., 29, pp 63-191.