

- С. Гунько. — Львів, 1996. — 136 с. 7. Гавенко С. Системний аналіз і методи керування якістю книжкової продукції / С. Гавенко, І. Корнілов, В. Ничка. — Ужгород : Карпати, 1996. — 78 с. 8. Друкарське устаткування : підруч. / В. О. Босак, В. П. Дідич, В. Т. Сенкус, Я. І. Чехман. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2005. — 468 с. 9. Дурняк Б. В. Видавничо-поліграфічна галузь України: стан, проблеми, тенденції, статистично-графічний огляд : моногр. / Б. В. Дурняк, А. М. Штангрет, О. В. Мельников. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 274 с. 10. Згуровський М. З. Технологічне передбачення для України: завдання та проблеми / М. З. Згуровський // Київський політехнік. — 2002. — № 28. — С. 2–3. 11. Мельников О. В. Технологія плоского офсетного друку / О. В. Мельников — Львів : Афіша, 2003. — 384 с. 12. Мельнічук С. І. Офсетний друк / С. І. Мельнічук, С. М. Ярема. — К. : УкрНДІСВД «ХАГАР», — 2000 — Кн. 1. — 488 с. 13. Мельнічук С. І. Офсетний друк. / С. І. Мельнічук, С. М. Ярема. — К. : УкрНДІСВД «ХАГАР», 2002 — Кн. 2. — 512 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПЕЧАТАНИЯ КАК СИСТЕМА: МОДЕЛЬ И КРИТЕРИИ ОПТИМАТИЗАЦИИ

Рассматриваются определения плоской офсетной печати как информационной системы, предлагаются обобщенные пути и критерии моделирования и оптимизации этой системы.

TECHNOLOGICAL PROCESS OF SEAL AS SYSTEM: MODEL AND CRITERIA OF OPTIMATIZACHII

The photo-offset's definition as an information system is scrutinized, as well as the generalized ways and criterion for such system's modelling and optimization are suggested.

Стаття надійшла 22.04.10

УДК 655.1/3:54.03

В. М. Юзевич

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка

М. Ф. Ясінський, Л. М. Ясінська, А. В. Маркелова

Українська академія друкарства

АНАЛІЗ АДГЕЗИЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У СИСТЕМІ «МЕТАЛЕВА ПІДКЛАДКА – ДІЕЛЕКТРИЧНА ПЛІВКА»

Окреслено теоретичні основи неруйнівого методу визначення енергетичних характеристик міжфазних шарів у системі «металева підкладка — діелектрична плівка» з урахуванням зондування поверхні розділу інфрачервоними променями. Наведено обґрунтування більш високої якості запропонованого методу порівняно з руйнівним методом мікродавлювання на основі зіставлення числа потенційно визначальних параметрів.

Адизійні зв'язки, металева підкладка, діелектрична плівка, міжфазні поверхні

Проблема якості закономірно торкається відбору та передачі інформації в інформаційно-вимірювальних системах. Розглянемо аналіз сучасного стану якості інформації про адгезійні зв'язки в системі «плівка (адгезив, діелектрик) — підкладка (субстрат, метал)» з урахуванням даних, які отримують на основі інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів поверхневих і міжфазних шарів твердих тіл [6, 7, 15].

У пам'ять ЕОМ заносимо масиви даних. Оскільки інформація про поверхню твердих тіл характеризується широкою розгалуженістю і складною структурою, то інформаційні потоки повинні постійно нарощуватися в банках даних. Обмежимося, зокрема, твердими тілами, які в початковому стані перебувають у контакті з доволі сухим повітрям. У кінцевому стані два тіла контактують між собою, і їх взаємодія характеризується адгезійними зв'язками. Поверхню металу (підкладки) маємо гладку, без виступів і впадин, досить добре відшліфовану. Локальні бази даних, що створюються для детального вивчення фізичних характеристик поверхонь, повинні бути систематизовані і використані для формування знань, потрібних для проведення робіт з розроблення досконаліших зміцнювальних покриттів металів [8] і виведення їх на якісно новий рівень.

У матеріалознавстві існує ряд проблем, де важливо знати не лише якість об'єкта та інформацію про нього. Зокрема, якість поверхні твердих тіл (підкладки), процесу нанесення на неї плівки, адгезійних зв'язків між плівкою і підкладкою, які забезпечують достатню міцність композиції. Ці питання тісно пов'язані з однією з центральних проблем матеріалознавства — дослідженням поверхневих і міжфазних наночарів товщиною $h = [1; 5 \text{ nm}]$.

Обмежимося проблемами якості металевої підкладки (наприклад з міді) та зв'язків між прозорою плівкою (приміром зі скла) й підкладкою, які забезпечують найоптимальнішу адгезійну міцність композиції. Для теоретичного аналізу стану поверхневих і міжфазних шарів металів і діелектриків використаємо модельні подання в рамках макроскопічного підходу нерівноважної термодинаміки та фізики поверхні [12, 14].

Важливим фундаментальним напрямком дослідження приграничних і міжфазних шарів є контроль параметрів, які зв'язані між собою термодинамічними співвідношеннями. Зокрема, це поверхневі енергія W_s і натяг σ_{h^+} , міжфазні енергія W_m та натяг σ_m , робота адгезії [3]:

$$\sigma_{ad} = \sigma_{h^+} + \sigma_{h^-} - \sigma_m \quad (1)$$

Тут індекси (+), (-) відповідають металу та діелектрику.

Уведемо енергію адгезійних зв'язків γ_{ad} як у виразі (1):

$$W_{ad} = W_{s^+} + W_{s^-} - W_m \quad (2)$$

Ці вісім параметрів (σ_{h^+} , σ_{h^-} , W_{s^+} , W_{s^-} , σ_m , σ_{ad} , W_m , W_{ad}) і визначатимуть якість поверхонь. Для оцінки їх використовують різні методи діагностики поверхні [1, 4, 9]. Під фізичною діагностикою поверхні розуміють сукупність

методів дослідження процесів на поверхні та вимірювання її характеристик (густини, енергії і т. д.) [1, 4, 9].

Жоден з відомих методів і приладів діагностики поверхні не є універсальним і не може достатньою мірою задовольнити вимоги практики [5]. З огляду на це бажано поєднувати методи та створювати відповідно нові інформаційно-вимірювальні системи (ІВС), де постає питання якості передачі інформації. Детальний теоретичний аналіз процесів, що відбуваються в поверхневих шарах металів при використанні багатьох відомих способів обробки тіл і їх поверхонь, показав, що структуру та властивості міжфазних шарів можна впорядкувати. Однак, застосовуючи відомі способи, не можемо стабільно змінювати в необхідному напрямі параметри та фізичні характеристики поверхневих і міжфазних шарів.

Мета нашої роботи — викласти необхідну інформацію стосовно термодинамічних параметрів поверхневих і міжфазних шарів, за допомогою якої можна можна прогнозувати якість неруйнівного методу діагностики, що ґрунтується на використанні електромагнітних хвиль інфрачервоного діапазону.

У праці [6] запропоновано структуру і набір руйнівних методів для вимірювання мікротвердості, поверхневих енергій W_s та натягів σ_n . Розглянемо неруйнівний метод оцінки міжфазних напружень і, відповідно, характеристик адгезійних зв'язків у системі «діелектрична плівка — металева підкладка», що базується на зондуванні поверхні розділу середовищ електромагнітним випромінюванням. Взаємодію інфрачервоного випромінювання з поверхневим або міжфазним шаром опишемо інтегральним співвідношенням [2, 5]:

$$\int_{-h_1}^{h_2} Q(x, \lambda, m - i \cdot \kappa) \cdot dx = \frac{1}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} \right], \quad (3)$$

де λ — довжина хвилі зондуючого випромінювання; h_1, h_2 — товщини приграничних шарів у двох середовищах ($h_i, i = 1, 2$); $l = h_1 + h_2$ — загальна товщина приграничного шару; $I_0(\lambda)$ — інтенсивність падаючої на поверхневий шар електромагнітної хвилі; $I(\lambda)$ — інтенсивність електромагнітної хвилі, що двічі пройшла тонкий шар, товщиною l ; $m - i \cdot \kappa$ — комплексний показник заломлення речовини, яка відповідає поверхневому шару поблизу границі «метал — діелектрик»; $Q(x, \lambda, m - i \cdot \kappa)$ — диференціальний коефіцієнт екстинкції для поверхневого шару, що описує поглинання й розсіювання електромагнітної хвилі.

Обмежимося розглядом тонкого приграничного (поверхневого або міжфазного) шару. Вважатимемо, що оптичні характеристики m, κ у межах приграничного шару змінюються неперервно. При цьому враховуємо подвійний електричний шар й адсорбовані частинки зовнішнього середовища. Для оцінки компонент напружень σ_x і σ_y і товщин приграничних шарів використаємо результати праць [12, 14]. Вважаємо, що характеристики

матеріалу, за допомогою яких можна описати для поверхневих шарів перерозподіл електронів провідності в металі та зв'язаних електричних зарядів у діелектрику, є постійними. Як приклад розглянемо метал (мідь), зразок якого в першому випадку контактує з повітрям, у другому — з тонкою плівкою скла. На основі розрахунків згідно з методикою праць [12, 14] встановлено, що для системи контактуючих середовищ мідь — повітря напруження розтягу в першому атомному шарі поверхневої області металу має значення

$$\sigma_y = 7394 \text{ МПа}; \sigma_x = 1313 \text{ МПа}; \sigma_0 = (2\sigma_y + \sigma_x)/3 = 5,4 \text{ МПа} \quad (4)$$

і товщину $h_n \approx 0,9 \text{ нм}$.

Експериментально визначено, що коефіцієнт заломлення електропровідних тіл $m - i \cdot k$ лінійно зростає при навантаженні зразка гідростатичним тиском p . Зокрема, для міді відповідно до [17] при $p = 100 \text{ МПа}$ зменшення складових m і k становить:

$$\Delta m = 0,01; \Delta k = 0,003. \quad (5)$$

Використавши оцінки (5), для першого атомного шару поверхневої області металу, який контактує з повітрям, отримуємо такі прирости: $\Delta m = 0,54$; $\Delta k = 0,162$.

Як зазначається в праці [2], на показник заломлення електропровідного тіла впливають електрони провідності та дипольні частинки. Оскільки вплив подвійного електричного шару на Δm і Δk у рамках термодинамічної моделі дослідити неможливо, то оцінимо поправки Δm і Δk за допомогою механічних напружень поверхневого шару (4) і відповідних експериментальних оцінок (5). Враховуючи, що усереднену товщину електронної хмарки за межами металу в повітрі наближено можна апроксимувати аналітичним співвідношенням $h_e \approx \pi / k_f$ [14], отримуємо $h_e \approx 0,23 \text{ нм}$. Обмежившись найхарактернішими для міді значеннями показника заломлення [17] (якщо $\lambda_e = 1 \text{ мкм}$)

$$m - i \cdot k = 1,95 - 1,02i, \quad (6)$$

для першого атомного шару поверхневої області металу (відповідний індекс 1), який контактує з повітрям, отримуємо:

$$m_1 - i \cdot k_1 = 1,41 - 0,86i. \quad (7)$$

Аналогічно знаходимо $m_2 - i \cdot k_2$ для другого атомного шару поверхневої області і т. д. ($j = 1, 2, \dots$).

Таким чином, в інтегральному співвідношенні (3) коефіцієнт екстинкції

$$Q^* = Q^*(x, \lambda, n_j - i \cdot k_j). \quad (8)$$

Для визначення механічних напружень й енергетичних характеристик контактуючих систем проводимо зондування поверхневих і міжфазних шарів електромагнітним випромінюванням згідно з методикою [11] (джерела — світлодіоди типів АЛ 115 А і ЗЛ 341 В) для двох довжин хвиль: $\lambda_1 = 0,55 \text{ мкм}$; $\lambda_2 = 0,95 \text{ мкм}$. Для дослідження залежності складових показника заломлення

$m - i \cdot \kappa$ від навантаження в межах поверхневого чи міжфазного шару використаємо співвідношення [2]

$$m = \sqrt{(\sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2} + \alpha_1)/2}, \quad \kappa = \sqrt{(\sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2} - \alpha_1)/2}, \quad (9)$$

де $\alpha_1 = 1 + \omega_p^2 \cdot (\omega_i^2 - \omega_e^2) / ((\omega_i^2 - \omega_e^2)^2 + \gamma_1^2 \cdot \omega_e^2)$; $\beta_1 = \omega_p^2 \cdot \gamma_1 \cdot \omega_e / ((\omega_i^2 - \omega_e^2)^2 + \gamma_1^2 \cdot \omega_e^2)$; $\omega_p = (N_e \cdot q_0^2 / (m_e \cdot \epsilon_0))^{0,5}$ — плазмова частота; ω_i — резонансна частота; N_e — концентрація вільних електронів; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг — ефективна маса електрона; ω_e — частота зондуючого випромінювання; $\epsilon = \alpha_1 + \beta_1 \cdot i$ — комплексна діелектрична проникність матеріалу середовища; γ_1 — коефіцієнт ослаблення електромагнітних хвиль.

Використовуючи співвідношення (9), знаходимо, що для міді при $\lambda_1 = 1,0 \mu\text{м}$ і $\lambda_2 = 0,436 \mu\text{м}$ з урахуванням даних праці [17]

$$\omega_p = 1,64 \cdot 10^{16} \text{ Гц}; \quad \omega_0 = 5,78 \cdot 10^{15} \text{ Гц}; \quad \gamma_1 = 3,58 \cdot 10^{16} \text{ Гц} \quad (10)$$

А в першому поверхневому шарі атомних частинок

$$\omega_{p_c}^c = 7,03 \cdot 10^{18} \text{ Гц}; \quad \omega_0^c = 5,97 \cdot 10^{15} \text{ Гц}; \quad \gamma_c = 3,13 \cdot 10^{16} \text{ Гц} \quad (11)$$

За допомогою числових значень фізичних величин $\gamma_1, \gamma_c, \omega_p, \omega_p^c, \omega_0, \omega_0^c$ (10), (11) знаходимо для зондуючих електромагнітних хвиль ($\lambda_1 = 0,55 \mu\text{м}$; $\lambda_2 = 0,95 \mu\text{м}$) залежності $Q(x, \lambda)$ (тобто $Q_1(x, \lambda_1), Q_2(x, \lambda_2)$), а експериментально $I_1(\lambda_1)$ і $I_2(\lambda_2)$ — інтенсивності електромагнітних хвиль, що двічі пройшли тонкий поверхневий наночар.

З використанням експериментальних значень $I_1(\lambda_1)$ і $I_2(\lambda_2)$ і відповідних величин диференціальних коефіцієнтів екстинкції $Q_1(x, \lambda_1), Q_2(x, \lambda_2)$ отримаємо достатньо інформації для оцінки механічних напружень у поверхневих і міжфазних шарах твердих тіл системи «метал – діелектрик», які в першому випадку контактують з повітрям, а в другому — між собою.

Розглянемо приклад оцінки механічних напружень, на основі якого можна визначити характеристики адгезійних зв'язків у системі «мідна підкладка – плівка скла». Нехай область « $0 < x < h_m$ » (шар V^*) займає діелектрик (скло). Підкладку (неполяризований електропровідний метал (мідь) моделюємо півбезмежним середовищем (« $x < 0$ » область V) у декартових координатах « x, y, z ». Запишемо міжфазну енергію W_m аналогічно як поверхневу W_s [12]:

$$W_m = W_E + \xi_m \cdot W_p; \quad W_E = \int_{-h_m}^{h_m} w_E \cdot dx; \quad W_p = \int_{-h_m}^{h_m} w_p \cdot dx \quad (12)$$

де W_E, W_p — електрична та механічна (пружна) складові міжфазної енергії відповідно; ξ_m — емпіричний параметр (фізична характеристика матеріалу, яка відповідає рівноважному стану поверхні розділу S_r^S); w_E, w_p — густини енергії електростатичного поля й поля механічних напруг відповідно:

$$w_E = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{2} \cdot \left[\frac{d\Psi}{dx} \right]^2 = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{2} \cdot [E_x]^2; \quad w_p = \frac{\sigma_x}{2 \cdot E} \cdot (\sigma_x - 4 \cdot \nu \cdot \sigma_y) + \frac{1-\nu}{E} \cdot \sigma_y^2; \quad (13)$$

E_x — складова напруженості електричного поля; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — універсальна електрична постійна; ε — діелектрична проникність матеріалу ($\varepsilon = 1$ для міді; $\varepsilon = 4,5$ для кварцу [13]); Ψ — потенціал напруженості електричного поля (для діелектрика — поля зв'язаних зарядів); σ_x, σ_y — компоненти тензора механічних напруг; E, ν — механічні модулі; $h_M = h_{II}^+ + h_{II}^-$ — товщина міжфазного шару, складові якої h_{II}^+ і h_{II}^- визначимо з рівнянь

$$\sigma_y^- + P_a = 0 \quad (\text{для } x = h_{II}^-), \quad \sigma_y^+ + P_a = 0 \quad (\text{для } x = h_{II}^+). \quad (14)$$

Тут $P_a = 100$ кПа — атмосферний тиск.

Для оцінки фізичної характеристики матеріалу ξ_m запишемо

$$\delta W_m / \delta C_e = \delta (W_E + \xi_m W_p) / \delta C_e = 0, \quad (15)$$

вважаючи C_e варіаційним параметром. C_e — питома електроємність матеріалу поверхневого шару (C_e^+, C_e^- — значення C_e для фаз V^+, V^-). Оскільки енергія W_m залежить від характеристик C_e^+, C_e^- то в даному випадку прийемо $C_e = C_e^-$ і виразимо C_e^- через C_e^+ :

$$C_e^- = \xi_e \cdot C_e^+ \quad (\text{якщо } \xi_e = C_e^- / C_e^+). \quad (16)$$

Шукаючи екстремум функціонала W_m , вважаємо:

$$\xi_e = const. \quad (17)$$

Для оцінки ξ_m наближено прийемо:

$$\xi_m = (\xi_s^+ + \xi_s^-) / 2, \quad (18)$$

де ξ_s^+, ξ_s^- — характеристики контактуючих середовищ, які оцінимо для системи «тверде тіло – повітря».

Міжфазний натяг σ_m визначимо за співвідношенням

$$\sigma_m = \int_{h_{II}^-}^{h_{II}^+} \sigma_y \cdot dr = \int_0^{h_{II}^+} \sigma_y^+ \cdot dr + \int_{h_{II}^-}^0 \sigma_y^- \cdot dr = (\sigma_m)_1 + (\sigma_m)_2. \quad (19)$$

Параметри σ_x і σ_y ($\sigma_{11} = \sigma_x; \sigma_{22} = \sigma_y$) визначимо аналітично за допомогою рівнянь стану [12, 14]:

$$\begin{aligned} \sigma_{y^+} &= E(\nu e / (1 + \nu) - b\phi / 3) \delta_{ij} / (1 - 2\nu) + E e_i / (1 + \nu), \\ \omega_y &= \rho \omega = \varepsilon_0 k^2 \phi + b E e / (3(1 + \nu)), \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{y^-} &= E(\nu e / (1 + \nu) - b\phi_c / 3) \delta_{ij} / (1 - 2\nu) + E e_{ij} / (1 + \nu), \\ \omega_{c_v} &= \rho \omega_c = \varepsilon_0 k^2 \phi_c + b E e / (3(1 + \nu)). \end{aligned} \quad (21)$$

Тут для металу (20) (індекси «+» опущені); для діелектрика (21) (індекси «-» опущені); $\varphi = \Phi - \Phi_0$; $\varphi_c = Z_c - Z_{c0}$ — відхилення потенціалу Z_c від його рівноважного значення Z_{c0} далеко від поверхні в об'ємі тіла [6]; $k = (\rho C_0 / \epsilon_0)^{0,5}$ (тобто k_+ , k_-) — характеристики матеріалу; δ_{ij} — символи Кронекера; σ_{ij}, e_{ij} — компоненти тензорів механічних напружень і деформацій ($i, j = 1, 2, 3$); $e = (e_+, e_-)$ — перший інваріант тензора деформацій; $\rho = (\rho_+, \rho_-)$ — густина матеріалу; $\omega_+, \omega, \omega_{c+}, \omega_c$ — густини електричного заряду, зв'язаного електричного заряду в розрахунку на одиницю об'єму і маси речовини відповідно для металу (індекси «-») і діелектрика (с) (індекси «+»).

Подамо граничні умови для межі розділу середовищ, які впливають з праць [12, 14]:

$$\varphi_+ = -\Phi_0; \quad \varphi_{c-} = \varphi_c = -Z_{c0}; \quad \sigma_{x+} = \sigma_{x-}, \quad \sigma_{y+} = \sigma_{y-} \quad \text{при } (x = 0). \quad (22)$$

Співвідношення (12)–(22) створюють систему рівнянь для визначення фізичних характеристик $\xi_m, b = (b_+, b_-), k = (k_+, k_-)$ і товщини h_M поверхневого шару ($h_M = h_{M+} + h_{M-}$).

Як видно з умов на границі (22), задачі визначення розподілу електричних зарядів — граничні, а задача знаходження механічних напруг — контактна. Таким чином, співвідношення (12)–(22) є основою контактної-граничної задачі.

Для зразків кварцу і міді в повітрі методом атомних взаємодій [16] одержано величини поверхневих енергій:

$$W_{s-} = 0,737 \text{ Дж/м}^2; \quad W_{s+} = 1,623 \text{ Дж/м}^2. \quad (23)$$

Експериментальні значення поверхневого натягу σ_s і модулів ν, E для кварцу та міді [13] наступні:

$$\sigma_{s+} = 1 \text{ Н/м}; \quad \nu_+ = 0,25; \quad E_+ = 70 \text{ ГПа}, \quad \sigma_{s-} = 13 \text{ Н/м}; \quad \nu_- = 0,34; \quad E_- = 110 \text{ ГПа}. \quad (24)$$

З використанням значень W_s (23), σ_s (24) і співвідношень (12)–(22), для рівноважної системи «мідь – кварц» отримано:

$$\xi_{m-} = 18,3; \quad b_- = -0,29 \text{ 1/В}; \quad k_- = 1,14 \cdot 10^{10} \text{ 1/м}; \quad \xi_{m+} = 14,9; \\ b_+ = -0,15 \text{ 1/В}; \quad k_+ = 1,35 \cdot 10^{10} \text{ 1/м}. \quad (25)$$

На підставі розрахункового експерименту оцінено потенціал зв'язаних електричних зарядів для кварцу Z_c , міжфазну енергію W_m , міжфазний натяг σ_m , роботу адгезії системи «мідь – кварц» σ_{ad} (1) та енергію адгезійних зв'язків (2):

$$Z_c = -1,07 \text{ В}; \quad W_m = 0,73 \text{ Дж/м}^2; \quad \sigma_m = 0,89 \text{ Н/м}; \quad \sigma_{ad} = 2,24 \text{ Н/м}; \quad W_{ad} = 1,63 \text{ Дж/м}^2. \quad (26)$$

Аналіз отриманих даних дає можливість встановити певні відношення:

$$W_{ad}/W_{s+} = 1,006; \quad \sigma_{ad}/\sigma_{s+} = 1,052; \quad \sigma_{ad}/W_{ad} = 1,368; \quad \Delta\sigma_s = \sigma_{s+} - \sigma_{s-} = 1,125 \text{ Н/м}; \\ \sigma_{ad}/\Delta\sigma_s = 0,79; \quad \Delta W_s = W_{s+} - W_{s-} = 0,888 \text{ Дж/м}^2; \quad W_{ad}/\Delta W_s = 0,82. \quad (27)$$

Відношення $\sigma_{ad}/\Delta\sigma_s$ характеризує відхилення від відомого співвідношення Антонова [3], що експериментально підтверджується для більшості незміщуваних контактуючих рідин.

Використавши запропоновану методику, можна розрахувати величини міжфазної енергії, міжфазного натягу й енергії адгезійних зв'язків на границі розділу між плівкою міді та напівпровідниковою підкладкою.

Таким чином, ми запропонували новий неруйнівний підхід діагностики міжфазної поверхні «метал – діелектрик» з урахуванням зондування інфрачервоними променями. Формування такого підходу органічно впливає з потреби проектування матеріалу з найвищою якістю поверхні. Уперше на прикладі системи контактуючих твердих тіл «метал – діелектрик» показано, що якість адгезійних зв'язків міжфазної поверхні (з гладкою поверхнею розділу) можна характеризувати вісьмома енергетичними параметрами: σ_{hv} ; σ_{hl} ; W_{st} ; W_s ; σ_m ; σ_{ad} ; W_m ; W_{ad} . При оцінці якості міжфазного шару слід враховувати перспективу поверхні, тобто вірогідні зміни в процесі експлуатації, які можна контролювати за допомогою інфрачервоних світлодіодів і фотодіодів.

Перевага запропонованого неруйнівного методу контролю міжфазних поверхонь за допомогою інфрачервоних світлодіодів і фотодіодів порівняно з методом мікродавлювання не тільки якісна, але й кількісна, оскільки дає можливість визначити чотири параметри (σ_m ; σ_{ad} ; W_m ; W_{ad}) [1].

Позитивна властивість його полягає ще й у тому, що в процесі реалізації не потрібно створювати відбиток і фіксувати тріщину, яка спричиняла втрату несучої здатності плівки.

1. Алехин В. П. Новый эффективный метод исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов / В. П. Алехин, С. И. Бульчѳев, М. Х. Шоршоров / Информ. листок. — АН СССР: ИМЕТ им. А.А. Байкова. — № 64. — 8 с. 2. Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами: пер. с англ. / К. Борен, Д. Хафмен. — М.: Мир, 1986. — 660 с. 3. Джейкок М. Химия поверхностей раздела фаз / М. Джейкок, Дж. Парфит. — М.: Мир, 1984. — 269 с. 4. Диагностика поверхностей: материалы Всесоюз. конф. тез. оригинальных докл. — Каунас – Черногловка, 1986. — 197 с. 5. Зуев В. Е. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы / В. Е. Зуев, И. Э. Наац. — Новосибирск: Наука, 1982. — 242 с. 6. Інформаційно-вимірювальна система контролю поверхневих параметрів твердих тіл / [Сопрунюк П. М., Юзевич В. М., Підгірняк Я. Є. Корогода І. І.] // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів «Леогест 2001». — К.; Львів: Центр «Леогест Медіум», 2001. — Вип. 6. — С. 256–261. 7. Камбелл Д. С. Механические свойства тонких пленок. Технология тонких пленок: справ. / под ред. Л. Майселла, Р. Глэнга; пер. с англ. — М.: Сов. радио, 1977. — Т. 2. — С. 246–304. 8. Куць В. Р. Інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів для оцінювання якості поверхні твердих тіл / В. Р. Куць, В. М. Юзевич // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». — Львів: Вид. НУ «Львівська політехніка», 2002. — № 445. — С. 54–62. 9. Петров Н. Н. Диагностика поверхности с помощью ионных пучков / Н. Н. Петров, И. А. Аброян. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. — 1977. — 160 с. 10. Поверхностные свойства твердых тел / под. ред. М. Грина. — М.: Мир, 1972. — 432 с. 11. Сопрунюк П. М. Моделювання фізичних процесів взаємодії електромагнітних хвиль видимого та інфрачервоного діапазону з вугільним пилом / П. М. Сопрунюк, В. Н. Юзевич // Відбір та обробка інформації: зб. наук. пр. — К.: Наук. думка, 1996. — Вип. 10 (86). — С. 44–49. 12. Столярчук П. Якість неруйнівного методу аналізу адгезійних зв'язків / П. Столярчук, П. Сопрунюк, В. Юзевич / Вісн. Нац. ун-ту

«Львівська політехніка». — Львів : Вид. НУ «Львівська політехніка», 2004. — № 500. — С. 3–9. 13. Таблицы физических величин: справ. — М. : Атомиздат, 1976. — 1006 с. 14. Юзевич В. Н. Термодинамическое описание механоэлектротермо-диффузионных процессов в деформируемых диэлектриках и соотношение Антонова / В. Н. Юзевич // Термодинамика необратимых процессов / под. ред. А. И. Лопушанской. — М. : Наука, 1992. — С. 163–168. 15. Eustathopoulos N. Interfacial tension and adsorption of metallic systems / N. Eustathopoulos, I. C. Iond // Current Topics in Material Sciences. — Amsterdam : North-Holland Publishing Company. Edited by E. Kalolis, 1980. — P. 281 – 360. 16. Price C. W. Surface energy and surface stress tensor in an atomistic model / C. W. Price, J. P. Hirth // Surface science. — 1976. — Vol. 57, No. 2. — P. 509–522. 17. Waxler R. M. Effect of hydrostatic pressure on the refractive indices of some solids / R. M. Waxler, C. E. Weir // J. Res. Bur. Standards. — 1965. — A 69, No. 4. — P. 325–333.

АНАЛИЗ АДГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ В СИСТЕМЕ «МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПОДКЛАДКА – ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛЕНКА»

Поданы теоретические основы неразрушительного метода определения энергетических характеристик междофазных слоев в системе «металлическая подкладка — диэлектрическая пленка» с учетом зондирования поверхности раздела инфракрасными лучами. Приведено обоснование более высокого качества предложенного метода в сравнении с разрушительным методом микровдавливания на основе сравнения числа потенциально определяющих параметров.

AN ANALYSIS OF ADHESIVE BONDS IS IN SYSTEM «METALLIC LINING IS DIELECTRIC TAPE»

Outlined theoretical bases of non-destructive method of determination of power descriptions of міжфазних layers in the system the metallic lining is dielectric tape taking into account sounding of interphase by infra-red rays. The ground of top quality of the offered method is resulted as compared to the destructive method of mikrovdavlyuvannya on the basis of comparison of number potentially determining parameters.

Стаття надійшла 14.04.10