

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ХЕМОГРАФІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ЯВИЩ ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

Вивчаючи процеси окислення заготовки з деяких напівпровідників та металів (таких як Si, Ge, GaP, Ti, Cu, In), було встановлено [1], що у певних умовах поверхневі окислювальні процеси здатні створити у фотоемальсії плівки приховане зображення поверхні цих заготовок. Відкритий ефект реєстрації гетерогенних реакцій слабкої інтенсивності на поверхні твердого тіла отримав назву хемографії.

Проведені дослідження [2], [3] показали, що у переважній більшості випадків хемографічний ефект не пов'язується з окремою хімічною реакцією або присутністю конкретного реагента-домішки (хоча деякі матеріали становлять виключення: наприклад, алюміній та його сплави. Для таких матеріалів саме домішки дозволяють візуалізувати хемографічний ефект, долаючи товщину завжди присутньої на поверхні оксидної плівки  $Al_2O_3$ ). Достеменно встановлено, що відкритий ефект ґрунтується на хімічній взаємодії молекул бромистого срібла з продуктами гетерогенних реакцій окислювального характеру, які протікають на поверхні твердого тіла. За схожістю впливу на молекули бромистого срібла активних молекул та дії світла поверхневі реакції було названо фотомолекулярним потоком (ФМП).

Можна вважати, що ФМП у хемографічному ефекті утворюють молекули одного й того ж елементного складу. Дослідники [1] вважають, що це проміжні продукти багатостадійних гетерогенних реакцій, які ведуть до утворення конкретного оксиду.

Коло задач, які можуть бути розв'язані при використанні методу хемографії, достатньо широке. Перед усім це задачі, пов'язані зі зміною стану поверхневого шару здатних до хемографічного ефекту матеріалів. Така зміна відбувається як при обробці матеріалів, так і при деградації поверхонь, що сприймають різні види динамічних навантажень, термічних впливів.

Для машинобудування відомо, що якісна та надійна робота інструменту забезпечується належним його контролем перед використанням, раціональними умовами експлуатації, відсутністю випадкових збурень, що порушують нормальний хід технологічного процесу. Прогнозованість працеспроможності інструменту та побудова відповідних моделей відмов дозволить виключити (або звести до мінімуму) аварійні ситуації, особливо в умовах автоматизованого виробництва. Використання хемографії може стати альтернативним методом, спроможним досить ефективно прогнозувати стан різальних поверхонь та розвиток ушкоджень у часі.

Іншим прикладним аспектом є задача опису розвитку пошкоджень при обробці матеріалів потужними рідинними потоками, або потоками вільного та ушільненого абразиву.

З фізики поверхні відомо, що будь-який згин на поверхні володіє надлишком енергії, що обумовлюється наявністю певної збільшеної кількості радикалів розташованих у приповерхневому шарі молекул. Однак ділянки поверхні на мікроставіях на мікрозаглибленнях у рівних енергетичних умовах знаходяться не будуть.

Потрапляння молекул води у мікрозаглиблення та їх наступна орієнтація може значно активізувати окислювальні поверхневі процеси, місце протікання яких позначиться ділянками засвітки на фотоплівці. При цьому інтенсивність окислення може бути досить високою, що з урахуванням розділювальної здатності метода і значної відстані  $h$  між поверхнею плівки і тіла викликати виникнення значно більших за розмірами плям на фотоплівці.

Однак при таких дослідах існує ряд обмежень, пов'язаних перш за все зі здатністю матеріалу до окислювання протягом певного часу. Таку здатність виявляють лише метали, у той час коли задача дослідження полягає у виявленні картин руйнування композитів, які переважно не є струмопровідними та нездатні до окислювальних реакцій, необхідна вакуумна металізація досліджуваної поверхні неметалевого композита із закріпленням отриманого шару металу хімічними реагентами. Створений таким чином додатковий шар металу надає змогу отримувати хемографічний ефект протягом певного часу. При цьому нанесена плівка внаслідок малої товщини шару суттєво не змінює фізико-механічні характеристики дослідних зразків, а хімічне закріплення плівки дає задовільну адгезію з поверхнею, що передувало передчасному руйнуванню плівки і її видалення швидкоплинним струменем або потоком евакуйованої рідини. У якості металу для осадження доцільно використовувати електротехнічну мідь.

Для виявлення прихованого зображення на поверхні твердого тіла та підвищення його якості та розрізняювальної спроможності зразки досліджуваних матеріалів потребують попередньої підготовки. Така підготовка зводиться до очищення поверхні від оксидів шляхом відколу, шліфування та полірування абразивними мікропорошками або шляхом травлення в HF. На час хемографічної експозиції досліджувані зразки з фотоплівкою слід поміщати у світлонепроникну камеру, розроблену так, щоб поверхні фотопластили і зразка були паралельними між собою та розташованими на відстані  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  м. У зазорі між поверхнями має бути рідина або газ.

За час експозиції відбувається обробка фотоемальсії потоком продуктів гетерогенних реакцій, емітованих з досліджуваної поверхні з утворенням у фотоемальсії прихованого зображення.

В роботі доведено наступне:

- різні матеріали при еталонному порівнянні мають відмінний ступінь засвічення;

- засвічення неоднорідне за густиною та за площиною дослідження, і пов'язане, переважно, з мікрогеометрією поверхні; граничним рівнем шорсткості для металевих зразків є шорсткість Ra 1.6 мкм; зменшення шорсткості проти зазначеного рівня істотних відмінностей при хемографії не викликає;
- ступінь засвічення корелює з кількістю вуглецю в досліджуваному зразку;
- існування поверхневого дефекту супроводжується різкою зміною густини засвічення у місці виникнення дефекту, при цьому мінімальний розмір зафіксованого дефекту становить 0.005 мм.

Показано ряд прикладних аспектів використання методу отримання хемографічних відбитків. Базуючись на попередніх дослідженнях хемографічного ефекту окремих металевих матеріалів, встановлено, що ступінь засвічення фотоматеріалу напряму залежить від тих особливостей технологічних переходів, які виконували для отримання дослідного зразка. Так, наприклад, обробка поверхні зі значною потужністю різання викликає збільшення ступеня засвічення фотопластинки на 15...40% у той час, коли мікрогеометричні параметри поверхні для всіх порівнюваних зразків залишалися незмінними. З поданого можна зробити висновок, що певну роль у візуалізації гетерогенних поверхневих реакцій відіграють енергетичні параметри поверхневого та приповерхневого шарів – зокрема, напружений стан поверхні.

Дійшовши висновку, що хемографічний ефект в основному пов'язаний із величиною залишкових напружень у поверхневому шарі, а не зі ступенем деформування кристалічної решітки матеріалу або з наявністю кристалічних дефектів, вакансій, дислокацій, тощо, активність яких значно зростає при прикладанні навантаження на поверхню, автором зроблено спробу отримати картини напруженого стану поверхні під дією швидкоплинного струменя. Порівняння ступеня засвічення матеріалу (у відсотках густини сірого кольору, встановленого програмою PPWIN) з розрахунковими значеннями залишкових напружень на глибині до 1.5 мм довело існування між цими двома факторами тісного кореляційного зв'язку ( $R=0.958$ ).

Іншим прикладом є отримання ймовірнісних моделей відмов для твердосплавних пластинок марки ТК. Маючи хемографічне зображення початкової пластинки та порівнюючи його з еталонним, можна оцінити стан матеріалу, спрогнозувати період експлуатації пластинки. При цьому критерієм дефектів та недосконалості структури може бути параметр індексу чорноти, максимальне значення якого свідчить про мінімум структурних порушень та внутрішніх дефектів.

При цьому основною гіпотезою є гіпотеза про збільшення щільності та площі хемографічного затемнення контрольованої поверхні перед началом критичного пошкодження.

Ще одним можливим аспектом використання даного методу є розроблена методика оцінки рівня газовиділення матеріалів, що використовуються у ракетно-космічній галузі. На відміну від відомих прийомів, хемографія дозволяє досить точно визначати масову долю летких речовин на поверхнях для конденсації, отже, дає можливість за відомими розрахунковими даними прогнозувати місця встановлення оптичного обладнання, а також перевірити пригодність технічних рішень з точки зору надійності експлуатації космічного апарату.

Застосування відповідного обладнання та методики дозволяє суттєво уточнити рівень прогнозування газовиділення і конденсації, а також дозволяє виконувати безпосереднє моделювання зазначених явищ для різних схемних рішень та використовуваних матеріалів.

Таким чином, доведено можливість використання хемографії як метода візуалізації деструктивного шару та мережі поверхневих мікротріщин при вивченні процесів руйнування матеріалів, у тому числі, неметалевих; відзначено основні переваги даного методу: простота виконання, можливість оцінки рівня залишкових напружень, візуалізація різних поверхневих дефектів, обумовленим станом досліджуваних неметалевих матеріалів. Встановлено взаємозв'язок стану досліджуваної поверхні з інтенсивністю виникаючих фотомолекулярних потоків, що фіксує бромне срібло.

В прикладному аспекті проведені дослідження дозволяють запропонувати новий високоефективний метод оцінки працездатності твердосплавних пластин на основі інтенсивності хемографічного ефекту, що фіксується на поверхні пластин. При цей зазначений ефект визначається початковим недосконалістю структури поверхневого шару (в тому числі, наявністю дефектів) і деградацією поверхні різання в процесі обробки. Доведено можливість застосування методу для вивчення механізму руйнування матеріалу.

#### Література:

1. Єлізаров М. О. Хемографічний метод візуалізації гетерогенних процесів малої і надмалої інтенсивності: автореферат дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.01 / М. О. Єлізаров. – Харків: ХНУРЕ, 2008. – 22 с.
2. Єлізаров М. О. Застосування фотоплівки для візуалізації гетерогенних реакцій надмалої інтенсивності / М. О. Єлізаров // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – Т. 8, № 3. – С. 597–600.
3. [Estimation of Damage Development and the Time of Failure of Cutting Inserts Made of Hard Alloys and Superhard Composites by Chemography Methods.](#) // M Zagirnyak, A Salenko, M Elizarov, O Chencheva... - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020.