

УДК 620; 519.2;

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПІТІНГОПОДІБНИХ ДЕФЕКТІВ НА МІЦНІСТЬ ТОНКОЛИСТОВОГО СПЛАВУ Д16Т

А. Ю. ПОХМУРСЬКИЙ, Б. П. РУСИН, Ю. В. ОБУХ

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Кількісно проаналізовано параметри пітінгоподібних дефектів на поверхні прокородованого тонколистового сплаву Д16Т із застосуванням методів статистичної обробки їх металографічних зображень. Глибину проникнення корозійних уражень визначено з допомогою 3D-оптичної профілометрії та замірами розмірів на поперечних перетинах. Встановлено зв'язок між геометричними параметрами корозійного ураження поверхні і зниженням границі текучості прокородованого сплаву.

Ключові слова: *тонколистовий сплав, пітінгова корозія, кількісний аналіз, обробка металографічних зображень, механічні властивості, неруйнівний контроль.*

Високоміцні тонколистові алюмінієві сплави використовують не тільки в авіаційній техніці, але у вагоно- і автомобілебудуванні, хімічній та енергетичній промисловості, будівельній індустрії тощо. Це зумовлено їх високою питомою міцністю та корозійною тривкістю (особливо з плакованим алюмінієвим шаром) в атмосферних умовах та багатьох корозивних середовищах. Досить часто поверхні авіаційної техніки та інших конструкцій уражені пітінгами і пітінгоподібними дефектами, які можуть суттєво знижувати їхню міцність [1–4]. Існуючі методи дають можливість визначити розмір пітінгів у двовимірній системі координат та їх розповсюдження по поверхні металу [5–7]. Проте за ними не вдається встановити вплив пітінгової корозії на міцність сплаву. Нижче на основі металографічного аналізу вивчено вплив пітінгоподібних дефектів на міцність поверхні зразків із тонколистового алюмінієвого сплаву Д16Т.

Методика досліджень. Випробовували плоскі зразки розміром робочої частини 15 × 4 mm, вирізані з листа сплаву Д16Т товщиною 0,8 mm. Вибираючи товщину, керувалися тим, що вплив поверхневих дефектів на міцність таких матеріалів суттєвіший порівняно з товстими через більшу відносну глибину пошкоджуваності. Для зменшення впливу технології приготування на структуру і властивості зразки вирізали з листа гідроструминним методом, який не призводить до їх пластичного деформування та нагрівання.

Локалізовані корозійні пошкодження на поверхні отримували шляхом експозиції зразків у 5%-му розчині хлориду заліза (до 72 h) за кімнатної температури (рис. 1a). Геометричні параметри дефектів оцінювали за результатами металографічного та профілометричного аналізів, а стан поверхні – за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Глибину пітінгів визначали на поперечних шліфах методом подвійного фокусування під час мікроскопічного аналізу поверхні. Механічні характеристики зразків встановлювали за швидкості розтягання 3 mm/min.

Результати та їх обговорення. Металографічним аналізом виявили, що розмір пітінгових уражень залежить від часу експозиції зразків в корозивному сере-

довищі. Локалізовані корозійні пошкодження суттєво відрізняються за розмірами і формою, що значно ускладнює їх кількісний аналіз. Вони не мають чітких контурів і їх можна було б класифікувати як “розмиті” пітінги.

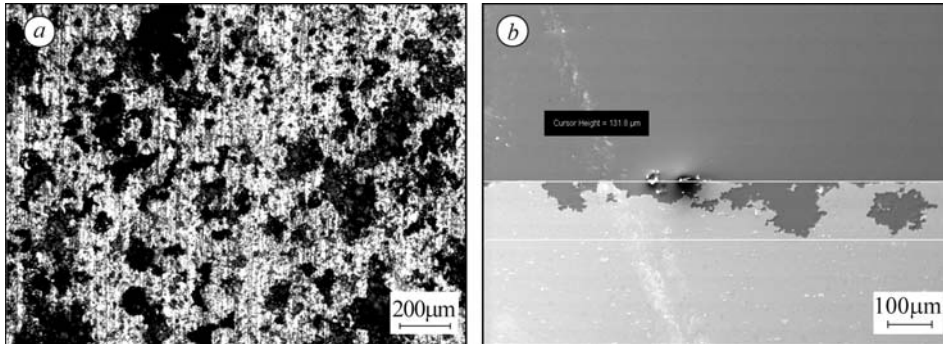


Рис. 1. Вигляд прокородованої поверхні сплаву Д16Т (а) та поперечний перетин зразка з корозійними пітінгами (b).

Fig. 1. General view of the corroded surface of aluminum alloy Д16Т (a) and a cross-section of the specimen with pitting corrosion (b).

Для визначення розмірів пітінгів використовували лінійний метод кількісної оцінки зображення поверхні [8, 9]. Суть його в тому, що на металографічне зображення поверхні прокородованих зразків наносять умовні лінії, які перетинають пітінги, і за сумою довжин відрізків, що пройшли через них, визначають площу, зайняту дефектами. Розрахована так площа корозійних уражень для даного зразка становила від 22 до 30% від контрольованої залежно від положення лінії.

Для автоматизації та пришвидшення кількісної оцінки стану поверхні, а також підвищення достовірності та повторювальності результатів розробили програмне забезпечення (рис. 2а), яке мінімізувало вплив людського чинника. Тепер для вимірів оператору потрібно вказати програмі місце на металографічному зображенні, через яке проведено січну (рис. 2b). Провівши необхідну кількість таких ліній, оператор отримує всі співвідношення значень розмірів проаналізованих об'єктів. Розрахована за цим методом сумарна площа корозійних уражень S_k становила від загальних 22%.

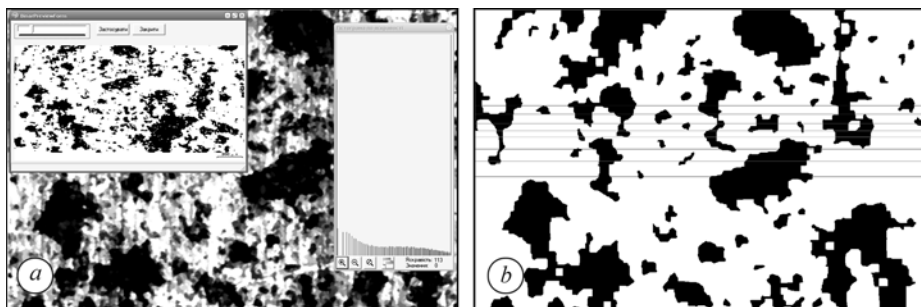


Рис. 2. Вигляд основного вікна програми на етапі бінаризації металографічного зображення (а) та вибрані ділянки зі січними (b).

Fig. 2. Main window of the program on the binarisation stage of the metallographic image processing (a) and the selected areas with cross-lines (b).

Процедура розділення елементів металографічного зображення на об'єкти полягає у згладжуванні зображення медіанною фільтрацією з апертурою 5×5; бі-

наризації на основі встановлення за гістограмою порога яскравості; виділенні об'єктів за площею для усунення випадкових артефактів від вад оптичних сенсорів; морфологічній операції замикання, що є сукупністю операцій нарощування та ерозії.

Крім того, визначали профіль і розміри поверхневих дефектів на поперечних шліфах (рис. 1b). Щоб одержати результати про зміну поперечного перерізу дефектів, застосовували також оптичну профілометрію (рис. 3), а для визначення глибини уражень – метод подвійного фокусування. Встановили, що глибина корозійних уражень сплаву Д16Т за вказаних вище умов експозиції становить в середньому 100 μm (від 70 до 130 μm), а їх площа по поперечному перерізу зразка в зоні найбільшої густини пітінгів – приблизно 0,7...0,8 mm^2 , що становить біля 22% від загальної площі поперечного перетину зразка.

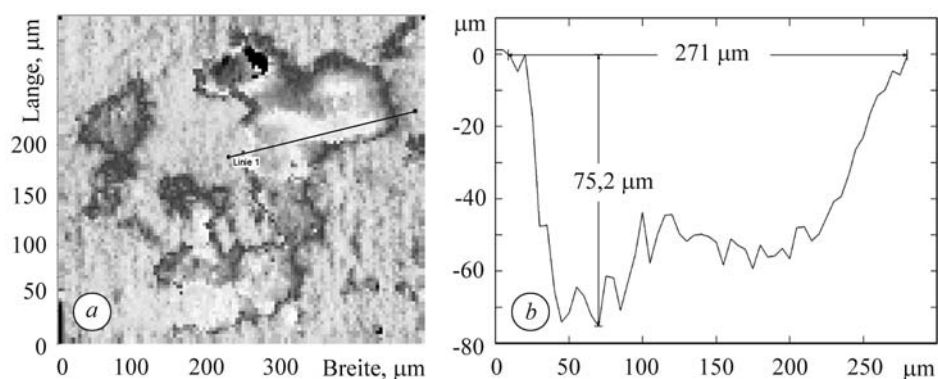


Рис. 3. Зображення типового дефекту на поверхні зразка за допомогою 3D оптичного профілометра (a) та його профіль в окресленій лінійною області (b):
 l – довжина пітінга; b – ширина; h – глибина.

Fig. 3. Image of a typical defect on the sample surface obtained using 3D optical profilometer (a) and defect profile in the marked with a line region (b):
 l – lange pitting; b – wigth; h – depth.

Метод визначення площі зменшення поперечного перетину зразків на основі аналізу шліфів точніший, ніж метод січних, але він руйнівний, через що його часто неможливо реалізувати на практиці. Тому тут придатний профілометричний метод, хоча він і менш точний і дає переважно занижені значення, особливо коли профіль пітінга складний, наприклад, частково закритий [10, 11].

Встановлено (рис. 4), що розрахована за таким підходом площа поперечного перерізу $S_n = \sum_{i=1}^n S_i$, де S_i – площа i -го пітінга, дорівнює 0,55 mm^2 , що становить 18% від загальної площі перерізу.

Результати визначення площі перерізу пітінгів за методом поперечних шліфів (18% від загальної площі) відрізняються від порохованих за методами січних і подвійного фокусування (22%) в бік менших значень, оскільки у другому випадку площу перетину обчислювали як для прямокутника і не враховували реальний профіль пітінга. Таким чином, площа поперечного перетину зразка в напрямку, перпендикулярному до прикладеної сили, зменшується на 18...22%, а похибка методу визначення параметрів пітінгів за металографічним зображенням становить 20%. Тут слід було б очікувати і зниження границі текучості сплаву, якщо не враховувати можливої зміни властивостей самого матеріалу (його деградації під час експозиції в агресивному середовищі). Для перевірки цього припу-

щення визначали механічні характеристики зразків (σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ) у вихідному стані та з корозійними ураженнями.

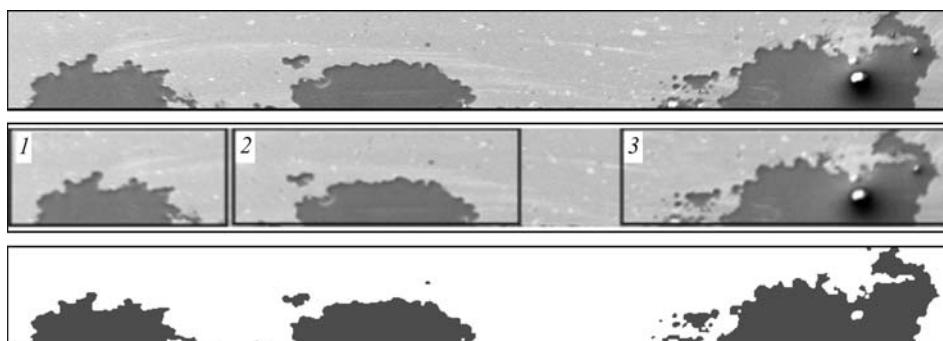


Рис. 4. Підрахунок площі локалізованих корозійних дефектів на зображенні перетину зразків.

Fig. 4. Example of calculating of the area of localized corrosion defects on the image of the sample cross-section.

Встановлено (рис. 5), що корозійні ураження заданої форми і розмірів знижують границю міцності σ_B із 481 до 356 МПа, а умовну границю текучості $\sigma_{0,2}$ – з 360 до 296 МПа, тобто на 24,5 і 17,8% відповідно. При цьому відносне видовження δ зменшується із 9,5 до 2,95%. Таким чином, спостерігається задовільний збіг зниження площі поперечного перетину та рівня умовної границі текучості.

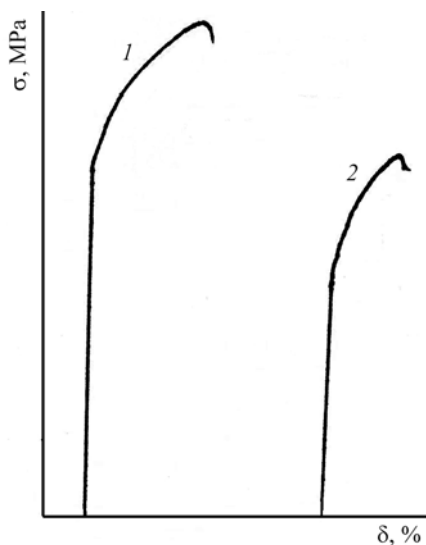


Рис. 5. Криві розтягу зразків сплаву Д16Т у вихідному стані та після корозії:
1 – $\sigma_B = 481$ МПа, $\sigma_{0,2} = 360$ МПа, $\delta = 9,5\%$;
2 – $\sigma_B = 356$ МПа, $\sigma_{0,2} = 296$ МПа, $\delta = 2,95\%$.
Швидкість розтягу 3 mm/min.

Fig. 5. Stress-strain diagram of the D16T alloy samples in the initial state and after corrosion test:
1 – $\sigma_B = 481$ МПа, $\sigma_{0,2} = 360$ МПа, $\delta = 9.5\%$;
2 – $\sigma_B = 356$ МПа, $\sigma_{0,2} = 296$ МПа, $\delta = 2.95\%$.
Tension rate 3 mm/min.

ВИСНОВКИ

На основі комплексного аналізу параметрів піттингоподібних дефектів поверхні, використовуючи методи кількісного аналізу стану об'єкта шляхом обробки металографічних зображень, встановили задовільну кореляцію між зменшенням поперечного перерізу зразків сплаву Д16Т і зміною його границі текучості, на основі чого можна оцінювати залишкову міцність тонколистових сплавів.

РЕЗЮМЕ. Выполнен количественный анализ параметров питтингообразных дефектов на поверхности прокорродированного тонколистового сплава Д16Т с применением методов статистической обработки металлографических изображений. Глубину проник-

новения коррозионных повреждений определяли с использованием 3D-оптической профилометрии на поперечных сечениях. Установлена корреляция между геометрическими параметрами коррозионного повреждения поверхности и понижением границы текучести прокорродированного сплава.

SUMMARY. Quantitative analysis of the parameters of the pitting defects on the surface of corroded thin sheet D16T alloy, using methods of statistic processing of the metallographic images, was carried out. The depth of the corrosion damages was determined applying 3D-optical profilometry and the measurements of the dimensions taken on the cross-sections. It was established, that a correlation exists between the geometrical parameters of surface corrosion defects and decreasing of the yield strength.

1. *Szklarska-Smialowska Z.* Pitting corrosion of aluminium // *Corr. Sci.* – 1999. – **41**. – P. 1743–1767.
2. *Pidaparti R. M. and Patel R. R.* Correlation between corrosion pits and stress in Al alloys // *Materials Letters.* – 2008. – **62**. – P. 4497–4499.
3. *Кайдриков Р. А., Журавлев Б. Л., Нуруллина Л. Р.* Мониторинг питтинговой коррозии технологического оборудования // *Защита металлов.* – 1999. – **35**, № 2. – С. 245–246.
4. *Остап О. П., Андрейко І. М., Головатюк Ю. В.* Дegradaція матеріалів і втомна міцність тривало експлуатованих авіаконструкцій // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2006. – **42**, № 4. – С. 5–16.
(*Ostas O. P., Andreiko I. M., Holovatyuk Yu. V.* Degradation of materials and fatigue durability of aircraft constructions after long-term operation // *Materials Science.* – 2006. – **42**, № 4. – P. 427–429.)
5. *Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях / А. Я. Ищенко Т. М. Лабур, В. Н. Бернадский, О. К. Маковецкая.* – К.: Экотехнология, 2006. – 112 с.
6. *Синявский В. С., Вальков В. Д., Будов Г. М.* Коррозия и защита алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 224 с.
7. *Оцінка розвитку локалізованих корозійних пошкод зварених труб елементів пароводяного тракту ТЕС / І. М. Дмитрах, О. Л. Білий, Б. І. Колодій, Р. Л. Лещак // Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2006. – **42**, № 4. – С. 17–25.
(*Dmytrakh I. M., Bilyi O. L., Kolodii B. I., Leshchak R. L.* Investigation of the development of localized corrosion-induced defects of welded pipes of elements of the water-steam channels of thermal electric power plants // *Materials Science.* – 2006. – **42**, № 4. – P. 440–450.)
8. *Quantitative Image Analysis of Microstructures / Eds. H. E. Exner, H. P. Hougardy // DGM Informationsgesellschaft mbH.* – 1988. – 235 p.
9. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. – 270 с.
10. *Патент № 54276.* Спосіб визначення розміру поверхневих пітингоподібних дефектів з врахуванням закритих зон / Б. П. Русин, А. Ю. Похмурський, Р. Я. Косаревич. – Опубл. 25.02.2010; Бюл. № 11.
11. *Methode zur automatischen Eliminierung von Präparationsdefekten an korrodierten Oberflächen bei metallografischer Bildanalyse / A. Pokhmursky, B. Rusyn, O. Lusy, T. Lampke // Werkstoffe und Werkstofftechnische Anwendungen.* – 2010. – **37**. – P. 325–329.

Одержано 05.12.2011