ÓÄÊ 620.179.11

Ô.Ô. Í³íàñ³â³í÷à Ñîòà

ÌÅÒÎÄÈÊÀ ÅÊÑÏÅÐÈÌÅÍÒÀËÜÍÎÃÎ ÄÎÑË²ÄÆÅÍÍß ÏÎØÊÎÄÆÅÍÎÑÒ² ÏÎÂÅÐÕÍ² ÌÀÒÅÐ²ÀË²Â

Íà îñíîâ³ ³ñíóþ÷èõ çàñîá³â êîíòðîëþ ðîçðîáëåíà ìåòîäèêà âèÿâëåííÿ ì³êðîìåòðîâèõ òð³ùèí ³ îòðèìàíîãî ê³ëüê³ñíî¿ ³íôîðìàö³¿ ïðî ñèñòåìó ïîøêîäæåíü. Ìåòîäèêà ðîçðîáëåíà äëÿ ñïîñòåðåæåííÿ çà ïðîöåñàìè çàðîäæåííÿ ³ çðîñòàííÿ ì³êðîìåòðîâèõ òð³ùèí ïðè ìàëîöèêëîâîìó íàâàíòàæåíí³ çðàçê³â ³ç æàðîì³öíîãî ñòàâó ÇÈ698ÂÄ. Äëÿ âèÿâëåííÿ ì³êðîìåòðîâèõ òð³ùèí íà ïîâåðõí ãëàäêèõêðóãëèõçðàçê³âáóâ îáðàíèé ìåòîä êîëüîðîâî¿ êàï³ëÿðíî¿ äåôåêòîñêîï³¿.

Ïðè âòîì³ ìàòåð³àë³â ³ ³ñíóþ÷èõ ïðè ìàëîöèêëîâ³é âòîì³ ðóéíóâàííÿ ³í³ö³þº òüñÿ ïîâåðõíåâîìó øàð³. Ïðåø³ ìàë³ òð³ùèíè (ÌÒ) ç'ÿâëÿþòüñÿ íà ïîâåðõí³ ï³ñëÿ â³äîñ³ íåçíà÷íîãî ïåð³îäó íàâàíòàæåíÿ, ùî ìîæå äîð³âíþâàòè ìåíøå 5 % çàãàëüíî¿äîâãî³÷íîñ [1]-

Ñåðåä ð³çíîìàí³òíèõ ôàêòîð³â ïîøêîäæåííÿ ïîâåðõí³ ìàòåð³àë³â îñíîâè ₧ ïîñ³äàþòü ÌÒ, ÿê³ ìîæíà ðîçïîä³ëèòè íà äâà âèäè [2]:

1) ì³êðîòð³ùèíè ðîçì³ðîì ²...Ç0 ìêì;

2) ô³çè÷íî ìàë³ òð³ùèíè, ÿê³ ìàþòü ðîçì³ðè 10^2...10^3 ìêì.

Êîëè ÌÒ ïðîñòàþòü ÷åðåçïîâåðõíåâèé øàð ó ãëèáèíó ìàòåð³àëó, âîíè ïåðåõîä³ äî ðîçðÿäó âåëè÷èí³ ðîçâèâàþòüñÿ äàë³ÿê ìàêðîòð³ùèíè.

Ìàë³ òð³ùèíè ðîçì³ðîì 10^3...10^3 ìêì ùå íàçèâàþòü ì³êðîìåòðîâèìè (ÌÌÒ) | Äåôåêòè öüîãî êëàñó íá'ºêòîì äàíîãî äîñë³äæåííÿ.

Íà â³äì³íó â³ä ³íøèõ ïðîÿâ³â ðóéíóâàííÿ, ìàòåðèàë³ â ³ääíîêð³âêè³ ³ íå ðîçðîáëåíà äîñèòü øèðîêî. Áàãàòîñó÷àñíèõ çàñîá³â íåðóéí³âíîãî êîíòðîëþ äîçâîëÿé âèÿâëÿòèäåôåêòè³çíà÷íî ìåíøèìè ðîçì³ðàìè, í³æ ÌÒ. Àëå ³íôîðìàö³ÿ, ÿêà îòðèìóºø ïðè öüîìó, îáìåæóºòüñÿ ôàêòè íàÿâíîñò³ äåôåêò³ â äåÿêèõ âèïàäêàõ éîãî ïðèáëèçíè³ ðîçì³ðàìè. Äàí³ ñòîñîâíî âñ³º¿ñèñòåìè äåôåêò³â,íàïðèêëàä, ïðî ¿õíþ êîíöåíòðàö³þ îáìåæåí³é ïëîù³ ïîâåðõí³, ñåðåäí³ ðîçì³ðè, ðîçïîä³ë ðîçì³ð³â ìîæíà îòðèìàòè ò³ëüêè¿ ïðîâåäåíí³ òðóäîì³ñòêèõ áåçïîñåðåäí³õ âèì³ðþâàíü.

Îñíîâíà ìåòà äîñë³äæåííÿ - ðîçðîáêà íà îñíîâ³ ³ñíóþ÷èõ çàñîá³â êîíòðîëþ ìåòîäè âèÿâëåííÿ ÌÒ ³ îòðèìàííÿ ê³ëüê³ñíî¿ ³íôîðìàö³¿ ïðî ñèñòåìó ïîøêîäæåíü. Ìåòîäè ðîçðîáëåíà äëÿ ñïîñòåðåæåííÿ çà ïðîöåñàìè çàðîäæåííÿ ³ çðîñòàííÿ ÌÒ ã ìàëîöèêëîâîìó íàâàíòàæåíí³ çðàçê³â³ç æàðîì³öíîãî ñïëàâó ÇÈ698ÂÄ. Çðàçêè¿ðð³îäè÷íàâàíòàæóâàëè íà óñòàíîâö³ ÓÌÇ-10ÒÌ ³ ï³ñëÿ êîæíîãî åòàïó íàâàíòàæåííÿ ïäàäâà êîíòðîëþ. Ïðè öüîìó âèð³óâàëèñÿââ³çäà÷³:

- âèÿâëåííÿ ç äîñòàòí³ ñòóïåíÿ ³ìîâ³ðíîñò³ âñ³õòð³ùèí íà ïîâåðõí³ çðàçê³â;
- ³äåíòè÷êàö³ÿòð³ùèí, ÿê³ ç'ÿâèëèñÿäî ïîòî÷íîãî åòàïó íàâàíòàæåííÿ, ³ òð³ùèí, ³ âèíèêëè âiððîäîâæ îñòàíüîãî åòàïó íàâàíòàæåííÿ.

Вимірювання параметрів тріщин (їхньої кількості, розмірів і координат) на поверхні здійснювалося періодично при різних напрацюваннях згідно з розробленою програмою досліджень.

Для забезпечення автоматизації обробки експериментальних даних, що були отримані при дослідженні поверхневої пошкодженості зразків, використовували спеціально розроблене програмне забезпечення, до складу якого ввійшов пакет програм, за допомогою яких вирішувалися задачі статистичної обробки даних для кожного зразка і для кожного етапу контролю їхньої поверхні. Інформація стосовно пошкодженості кожного зразка вводилася в комп'ютер у вигляді масивів і оброблялася за допомогою відповідних програм для вирішення конкретної задачі. Серед цих задач треба виділити такі:

– введення масивів статистичних вибірок;
– розрахунок перших (початкових) і центральних моментів розподілів;
– пошук максимальних і мінімальних значень статистичних вибірок;
– розрахунок кореляційних і спектральних функцій;
– оптимальне апроксимування емпіричних функцій;
– підбір законів розподілу випадкових величин і визначення їхніх числових характеристик;
– введення результатів розрахунків на екран монітору та їхнє роздрукування.

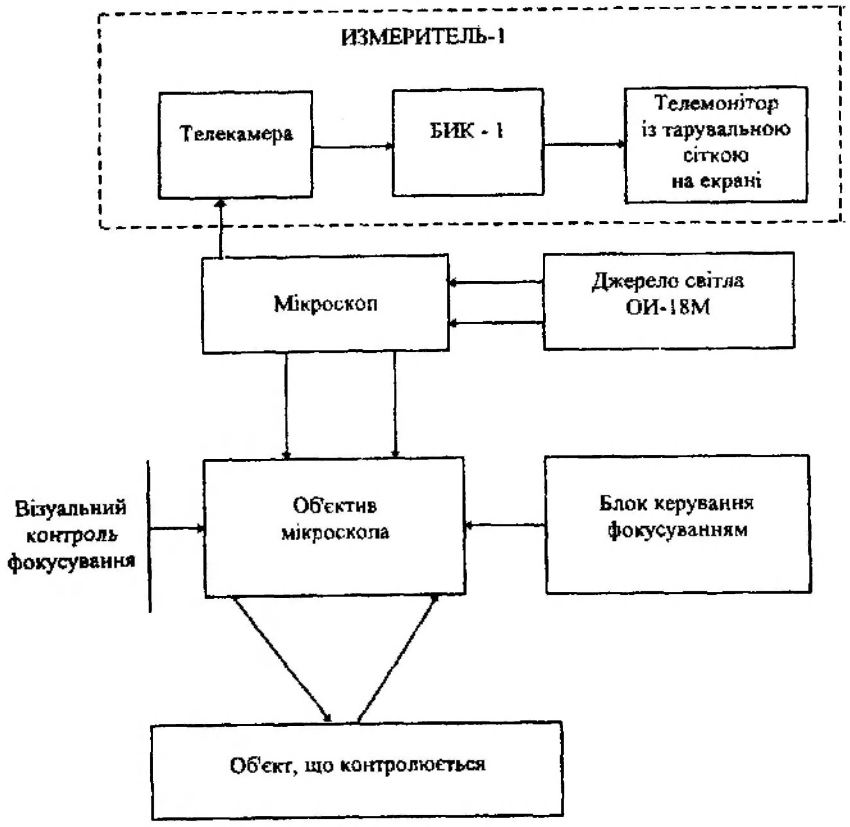

Рис. 1. Блок-схема оптико-електронної системи реєстрації поверхневих тріщин на зразках

Інформаційна база розробленої програми для статистичної обробки експериментальних даних стосовно кінетики зростання поверхневих МТ складається з довідкового файла та файлів, які вміщують результати вимірів довжини тріщин та розрахунків швидкості їхнього зростання за кожним зразком. Довідковий файл вміщує імена файлів з даними по тріщинах, що були виміряні, розмірах ділянки зразка, а також з інформацією про параметри

навантаження і напрацювання. Окрім цього, він вміщує дані стосовно швидкостей зростання тріщин. У файлах, які вміщують результати вимірів довжини тріщин, також присутня інформація про кутові та лінійні координати кожної тріщини.

Як результат виконання всіх вище згаданих задач на екран монітора виводять гістограми розподілів довжини тріщин та швидкостей їхнього зростання для кожного масиву відповідних даних. Водночас на фоні кожної гістограми виводять криві різноманітних стандартних законів розподілу випадкових величин, параметри яких розраховують на базі даних масивів (рис. 2). Це дозволяє встановлювати той чи інший закон розподілу, що краще описує емпіричну гістограму і відповідно дає можливість обгрунтовано стверджувати, що дане фізичне явище добре описується даним законом розподілу.

Експериментальні дослідження показали наявність значного розкиду значень

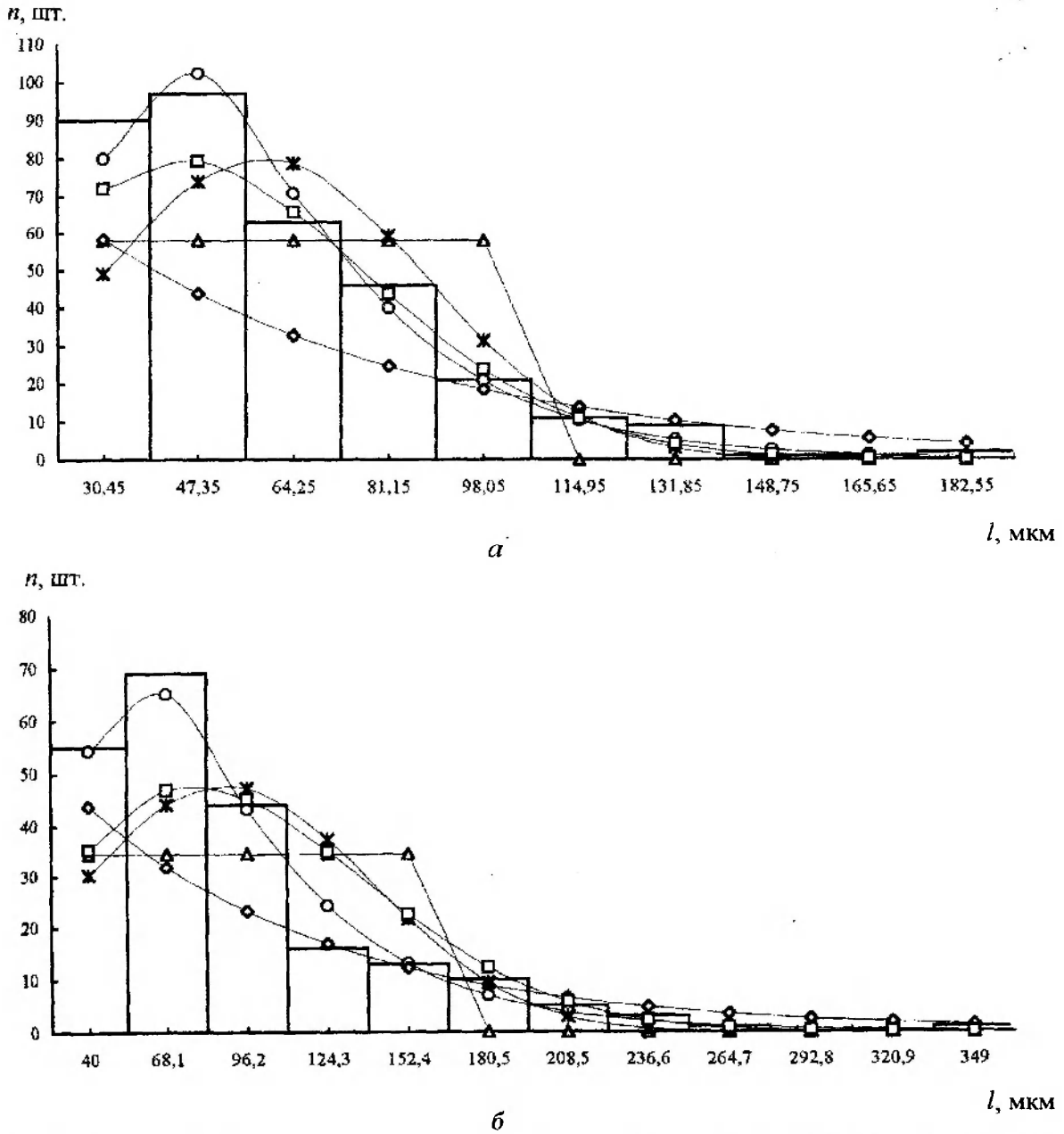

Рис. 2. Апроксимація експериментальних гістограм розподілу кількості поверхневих тріщин за довжинами різними законами розподілу довжини тріщини для малоциклового навантаження сплаву ЭИ698ВД при $T = 20$ °С, $\sigma_{max} = 1100$ МПа, $N = 1500$ цикл. (*а*) і $T = 600$ °С, $\sigma_{max} = 950$ МПа, $N = 1000$ цикл. (*б*): ▭ – експеримент; ○ – лог-нормальне; △ – рівномірне; ◇ – показове; ✱ – нормальне; □ – Релея

швидкості зростання поверхневих тріщин. На всіх режимах навантаження має міс показовий розподіл швидкості тріщин (рис. 3). Частка незростаючих тріщин чи тріщин, щ мають дуже маленьку швидкість – значна. Отримані численні значення основних числов характеристик швидкості зростання тріщини.

Згідно з експериментальними даними більшість емпіричних гістограм розподіл кількості тріщин за їхніми довжинами для різних режимів навантаження і чисел цикл напрацювання описуються логарифмічно-нормальним і гамма-розподілами довжин тріщини. Правий "хвіст" емпіричних розподілів задовільно апроксимується показовим законом.

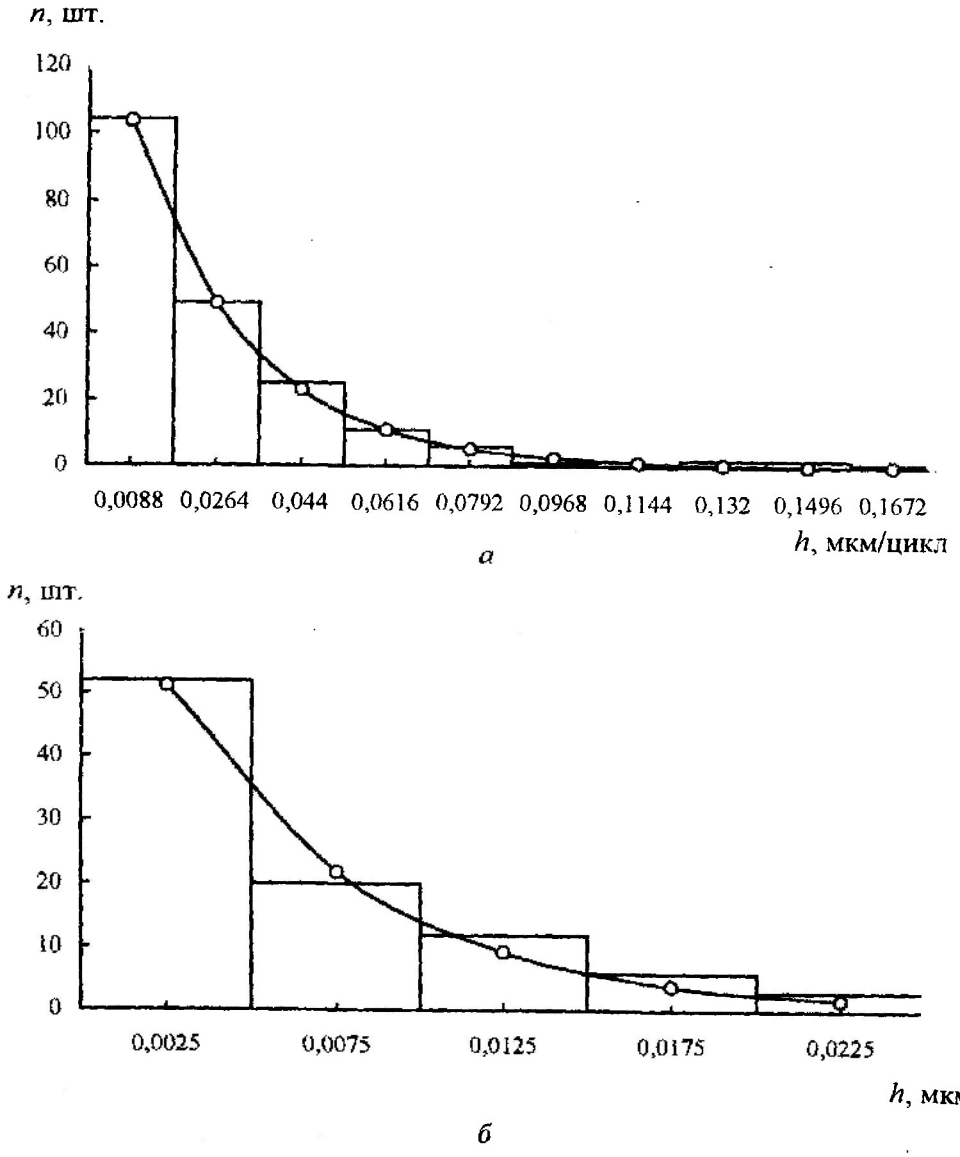

Рис. 3. Експериментальні гістограми та розраховані розподіли кількості поверхневих тріщин за швидкістю зростання для різних чисел циклів і режимів малоциклового навантаження сплаву ЭИ698ВД при $T = 20°C$, $\sigma_{max} = 1100$ МПа, $N = 1000$ цикл. (*а*) і $T = 400$ °С, $\sigma_{max} = 980$ МПа, $N - 2000$ цикл. (*б*): ▭ – експеримент; o – показовий розподіл

При поєднуванні всіх розподілів, що були отримані для різних режимів навантаження і чисел циклів напрацювання, точки емпіричних гістограм у відносних координатах досить щільно групуються між собою і вміщуються у вузьку полосу розкиду (рис. 4). Тим самим підтверджується гіпотеза про автомодельність пошкодженості при множинному руйнуванні, згідно з якою розподіли довжини тріщини інваріантні по відношенню до умов навантаження різних матеріалів і в приведеному вигляді можуть бути описаними узагальненим розподілом.

Отримані численні значення числових характеристик довжини тріщини для режимів навантаження, що досліджувалися. Залежності математичного очікування та середньоквадратичного відхилення довжини тріщини від числа циклів є лінійними. До того ж криві залежностей математичного очікування та середньо-квадратичного відхилення практично еквідистантні. Це зумовлює інваріантність значень коефіцієнта варіації довжини тріщини по відношенню до параметрів малоциклового навантаження, причому середнє значення коефіцієнта варіації становить 0,5338.

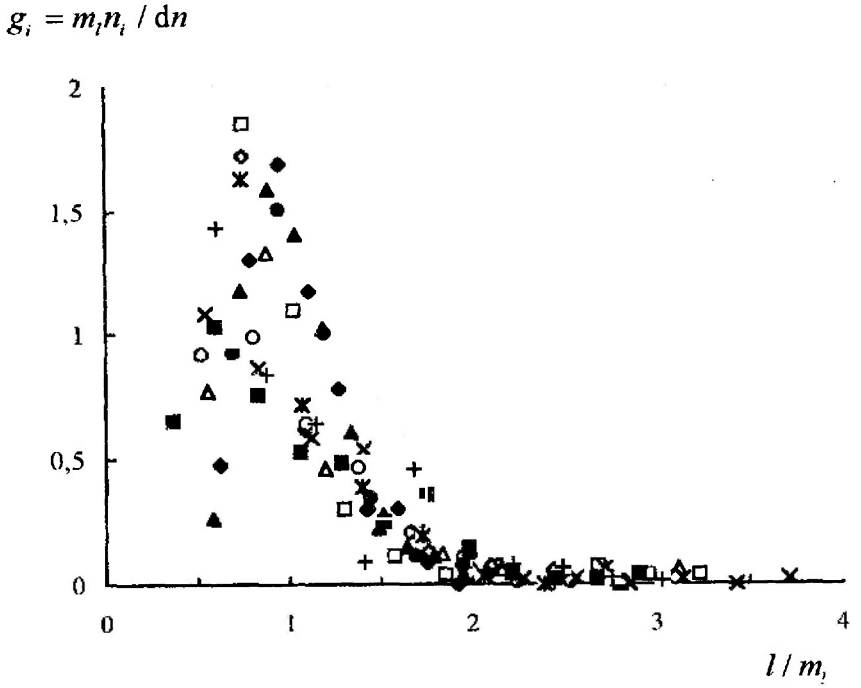

Рис. 4. Узагальнення експериментальних розподілів довжини тріщини, нормованої до її математичного очікування m_l, при різних видах та режимах навантаження сплаву ЭИ698ВД: малоциклове навантаження: при T = 20 °C: □ – σ_{max} = 1000 МПа, N = 2000 цикл.; ◇ – σ_{max} = = 1000 МПа, N – 10000 цикл.; △ – σ_{max} = 1100 МПа, N = 500 цикл.; ○ – σ_{max} = 1100 МПа, N = 1500 цикл.; × – σ_{max} = 1150 МПа, N = 500 цикл.; при T = 400 °C: ✱ – σ_{max} = 980 МПа, N = 2000 цикл.; + –σ_{max} = 980 МПа, N = 5000 цикл.; при T = 600 °C: ■ – σ_{max} = 950 МПа, N = 200 цикл.; деформування потягом: при T = 20 °C: ◆ – ε_p = 9,95 %; ▲ – ε_p = 12 %; при T = 400 °C; ● – ε_p = 12,52 %

Список літератури

1. *Fedelich B., Frenz H., Österle W., Stark K.* A stohastic model for LCF small cracks growth in a Nickel-base Superalloy // Procceedings of Fatigue`96.– Vol. II.– Pergamon, Elsevier Science.– Berlin, 1996.– P. 1263–1268.

2. *Немец Я.* Развитие усталостных трещин // Пробл. прочности.–1988. – № 7.– С. 9–18.

3. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общи требования. – Введ. 01.07.81. (Взамен ГОСТ 18442–73).

4. *Suh C.M., Yuuki R., Kitagawa H.* Fatigue microcracks in a low carbon steel // Fatigu Fract. Eng. Mater. Stractur.– 1985.– Vol. 8. – № 2.– P. 193–203.

5. *МИ 1317-86.* Методические указания. ГСИ. Результаты и характеристик погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытания образцов продукции и контроле их параметров. – Введ. 01.01.87. (Взамен ГОСТ 8.011–72).

Стаття надійшла до редакції 3 жовтня 1997 року.

Нінасівінча Сото Ф.Ф. (1968) закінчив Київськ міжнародний університет цивільної авіації в 1995 році. Аспірант к федри авіаційних двигунів Київського міжнародного університе цивільної авіації. Спеціалізується в галузі динаміки та міцності м шин. Автор 5 наукових публікацій.

Ninasivincha Soto F.F. (b.1968) graduated from Kyiv Internatio University of Civil Aviation (1995). Aspirant of Aviation Engin Department of Kyiv International University of Civil Aviation. Specializ in the field of dynamics and machine strength. Author of 5 publications.