



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42549 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 17/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ВТОМНОЇ ЗОНИ ПЕРЕДРУЙНУВАННЯ

1

2

(21) u200901247

(22) 16.02.2009

(24) 10.07.2009

(46) 10.07.2009, Бюл.№ 13, 2009 р.

(72) ОСТАШ ОРЕСТ ПЕТРОВИЧ, МУРАВСЬКИЙ  
ЛЕОНІД ІГОРОВИЧ, АНДРЕЙКО ІГОР МИХАЙЛО-  
ВИЧ, ВОРОНЯК ТАРАС ІВАНОВИЧ, КМЕТЬ АР-  
КАДІЙ БОРИСОВИЧ, ВІРА ВОЛОДИМИР ВОЛО-  
ДИМИРОВИЧ(73) ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В.  
КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ(57) 1. Спосіб визначення розмірів втомної зони  
передруйнування, що полягає у встановленні роз-  
поділу величини пластичної деформації вздовж осі  
X, що збігається з віссю концентратора напружень,  
і визначенні віддалі від краю об'єкта контролю (ве-  
ршини концентратора напружень) до характерної  
точки цього розподілу, що визначає розмір  $d'$  вто-  
мної зони передруйнування, який **відрізняється**  
тим, що використовують прямий спосіб визначен-ня величини пластичних деформацій, а їх розподіл  
вимірюють на поверхні об'єкта контролю безконта-  
ктно.2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що ви-  
значають зміну профілю зразка (стоншення пере-  
різу в околі вершини концентратора напружень) за  
рахунок пластичної деформації по осі Z, а розмір  
 $d'$  зони передруйнування визначають за абсцисою  
точки, в якій локальна деформація максимальна,  
тобто переріз зразка сягає свого мінімального зна-  
чення.3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що зміну  
профілю поверхні зразка в околі вершини констру-  
ктивного концентратора напружень за циклічних  
навантажень експериментально встановлюють  
методом лазерної інтерферометрії з використан-  
ням фазозсувної технології обробки інтерферо-  
грам оптично гладкої поверхні зразка до прикла-  
дання навантажень і після певної кількості циклів  
навантажень.

Корисна модель відноситься до методів ви-  
значення структурно-механічних параметрів кон-  
струкційних матеріалів, зокрема розміру зони пере-  
друйнування при циклічних навантаженнях, яка  
формується в приповерхневих шарах гладких і  
надрізаних об'єктів [1]. Зона передруйнування є  
місцем локалізації інтенсивної пластичної дефор-  
мації матеріалу, що визначає особливості зарод-  
ження та розвитку втомних тріщин [1, 2].

Відомий спосіб визначення розміру зони пе-  
редруйнування  $d'$  полягає в проведенні випробу-  
вань на втому зразків з різним (не менше 5 зна-  
чень) радіусу надрізу (конструктивного концентра-  
тора напружень) та побудові залежності числа  
циклів до зародження макротріщин від радіусу  
надрізу. Розмір  $d'$  зони передруйнування прийма-  
ють рівним абсцисі точки, в якій побудована зале-  
жність переходить від горизонтальної до монотон-  
но зростаючої ділянки [1, 2].

Недоліком відомого способу є необхідність  
доведення досліджуваних об'єктів до часткового  
руйнування (зародження макротріщин). Таким  
чином, відомий спосіб не є прямим і не може вва-  
жатися неруйнівним методом, що обмежує сферу

його можливого застосування. Крім того, відомий  
спосіб є дуже трудомістким і потребує складного  
обладнання для випробувань значної кількості  
зразків. Крім того, він не дає можливості визначати  
розмір  $d'$  в зоні концентратора напружень із зада-  
ним радіусом його вершини.

Близьким до запропонованого винаходу є спо-  
сіб визначення розміру  $d'$  зони передруйнування  
на основі прямого рентгеноструктурного мікроана-  
лізу зони концентрації напружень циклічно наван-  
тажених об'єктів [1].

Спосіб полягає у визначенні розподілу ширини  
рентгеновської лінії, яка залежить від величини  
пластичної деформації, від поверхні вглиб матері-  
алу вздовж осі OX надрізу, для чого проводиться  
послідовне видалення приповерхневих шарів до-  
сліджуваного матеріалу в зоні надрізу заданого  
радіуса його вершини. Параметр  $d'$  матеріалу ви-  
значається абсцисою точки максимуму встановле-  
ного розподілу [1].

Недоліком цього способу є надзвичайно вели-  
ка трудомісткість пошарового видалення матеріа-  
лу в зоні надрізу. Крім того, він є руйнівним мето-

(13) U

(11) 42549

(19) UA

дом, точність якого недостатня, так як вона залежить від товщини видалених шарів матеріалу.

Найбільш близьким до запропонованого виходу є неруйнівний метод визначення розміру  $d'$  зони передруйнування за допомогою вимірювання термоелектрорушійної сили термозондом з поверхні циклічно навантаженого зразка [3]. За цими даними встановлюють розподіл значення локальної контактної термоелектрорушійної сили (яка корелює з величиною пластичної деформації) в околі конструктивного концентратора напружень, і визначають віддаль від вершини конструктивного концентратора напружень до характерної точки встановленого розподілу. Цю віддаль приймають відповідною розміру  $d'$  зони передруйнування.

Недоліком цього способу є надзвичайно високі вимоги до чистоти поверхонь зразка та термозонду, що має вплив на повторюваність результатів. Крім того, цей метод є контактним, а електричний опір в зоні контакту є нестабільним, що приводить до розкиду даних і зменшення точності визначення параметра  $d'$ .

Мета запропонованого способу - забезпечення можливості визначення розміру зони передруйнування неруйнівним безконтактним методом, підвищення точності та зменшення трудомісткості контролю.

Запропонована мета досягається тим, що як і у випадку реалізації відомого способу, встановлюють розподіл величини пластичної деформації вздовж осі  $X$ , що збігається з віссю конструктивного концентратора напружень, і визначають віддаль від краю об'єкта контролю (вершини концентратора напружень) до характерної точки цього розподілу, яку вважають відповідною розміру зони передруйнування. На відміну від відомого способу, де опосередковано встановлюють зміну пластичних деформацій через певну фізичну характеристику матеріалу (термоелектрорушійну силу), у запропонованому способі використовують прямий спосіб визначення пластичних деформацій матеріалу, а їх розподіл вимірюють на поверхні об'єкта контролю безконтактно. За характерну точку розподілу приймають ту, де переріз зразка в околі вершини концентратора напружень найбільш стоншений за рахунок пластичної деформації по осі  $Z$ , а розмір  $d'$  зони передруйнування визначають як віддаль від краю об'єкта контролю (вершини конструктивного концентратора напружень) до абсциси точки, в якій локальна деформація має максимум, тобто переріз зразка сягає свого мінімального значення (Фіг.1). Величина локальної деформації в поперечному перерізі зразка, який відповідає точці  $x$ , рівна  $\varepsilon_{zx}=2z_x/z_0$ , де  $z_0$  - товщина зразка.

Зміну профілю поверхні зразка за рахунок стоншення його перерізу в околі вершини конструктивного концентратора напружень за циклічних навантажень експериментально встановлюють методом лазерної інтерферометрії з використанням фазозсувної технології обробки інтерферограм оптично гладкої поверхні зразка до прикладання навантажень і після певної кількості циклів навантаження.

Розглянемо реалізацію запропонованого способу на прикладі випробувань при циклічному навантаженні стандартного компактного зразка з конструктивним концентратором напружень (Фіг.2) базового розміру  $W=40\text{мм}$ , товщиною  $z_0=4,0\text{мм}$ , з вирізом  $\rho=1,5\text{мм}$  із феритної сталі 08кп ( $\sigma_{0,2}=456\text{МПа}$ ,  $\sigma_b=510\text{МПа}$ ,  $\delta=12\%$ ).

Бокову поверхню зразка полірували і його навантажували за постійного розмаху номінальних напружень  $\Delta\sigma_n=230\text{МПа}$  з частотою  $10\text{Гц}$  при коефіцієнті асиметрії циклу  $R=0,05$  в лабораторному повітрі.

На Фіг.3, 4, 5 наведено основні етапи реалізації фазозсувної технології обробки інтерферограм поверхні і побудови профілю переміщення поверхні після прикладання циклічних навантажень. На Фіг.3 наведено зображення різницевого поля переміщень поверхні, отриманого внаслідок обробки двох інтерферограм поверхні зразка до прикладання навантаження (вихідної першої і другої зі зсунутим на довільний кут  $\alpha$  ( $0<\alpha<\pi$ ) опорним паралельним променем) та двох таких же інтерферограм поверхні після прикладання до зразка циклічних навантажень (100 циклів). Ділянка спостереження мала площу  $7,5\times10\text{мм}^2$ , яку розбивали на  $600\times800$  пікселів, тобто кожен піксел відповідав ділянці спостереження  $12,5\times12,5\text{мкм}^2$ . На Фіг.4 наведено ізометричне зображення різницевого поля переміщень поверхні, на якому вздовж осей  $X$  і  $Y$  відкладено кількість пікселів цифрового зображення, а вздовж осі  $Z$  – профіль у мікронах. Абсолютна похибка визначення висоти профілю не перевищувала  $\pm 25\text{нм}$ . Для оцінки віддалі від краю об'єкта контролю (вершини концентратора напружень) до характерної точки, яка регламентує розмір  $d'$  зони передруйнування і відповідає перерізу зразка з максимальною величиною пластичної деформації по осі  $Z$ , будували наведений на Фіг.5 переріз вздовж осі  $X$ , що проходить через центр концентратора напружень.

Максимальна деформація (мінімальний переріз) має місце на певній віддалі від вершини концентратора (Фіг.5), що узгоджується з положеннями уніфікованої моделі втомного руйнування [1], згідно якої віддаль до цієї точки визначає розмір  $d'$  зони передруйнування.

Порівняння розміру зони передруйнування, визначеного запропонованим інтерферометричним методом (297мкм) добре узгоджується із встановленими раніше відомими експериментально-розрахунковими методами: 200...250мкм - експериментально [2]; 249мкм - за формулою Нойбера [2]; 306мкм - за формулою Стадника-Різничука [2].

Таким чином, запропонований спосіб є неруйнівним безконтактним методом контролю, який дозволяє визначити розмір  $d'$  втомної зони передруйнування на дослідних зразках.

Список джерел

1. Осташ О.П., Панасюк В.В., Костик Є.М. Уніфікована модель зародження та росту втомних макротріщин. Частина 1: Застосування силових параметрів механіки руйнування матеріалів на стадії зародження тріщини // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 1998. - №3. - с.7-21.

2. Осташ О.П. Роль зони передруйнування у визначенні концентрації напружень для циклічно деформованих матеріалів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2001. - №3. - с.47-58.

3. Патент України №64240А. Спосіб визначення розміру зони передруйнування /О.П. Осташ, В.М. Учанін, І.М. Андрейко, Ю.В. Головатюк - Опубл. 16.02.2004; Бюл. №2.

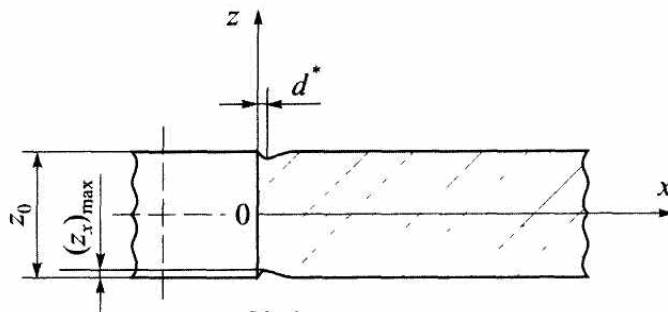


Fig. 1

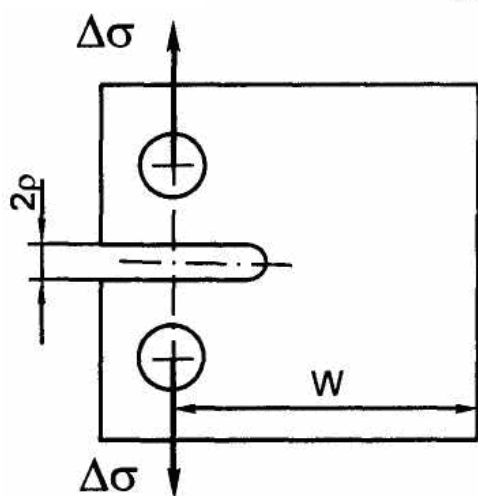


Fig. 2

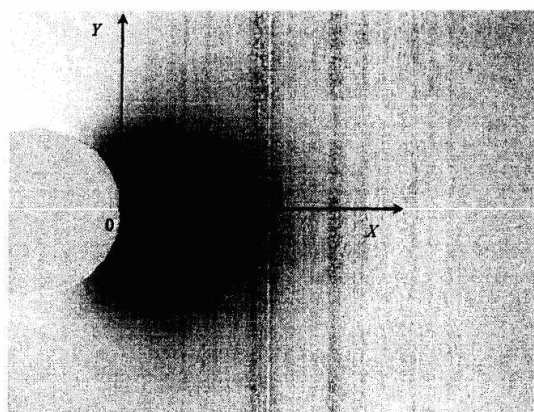


Fig. 3

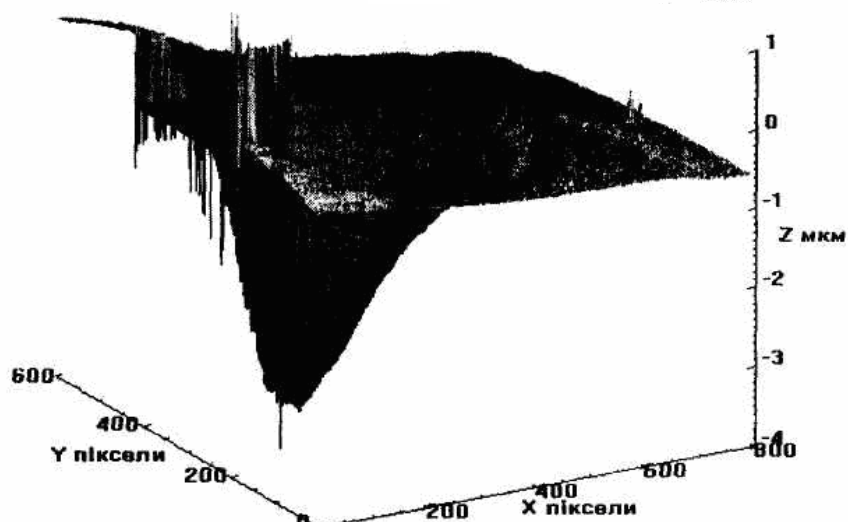


Fig. 4

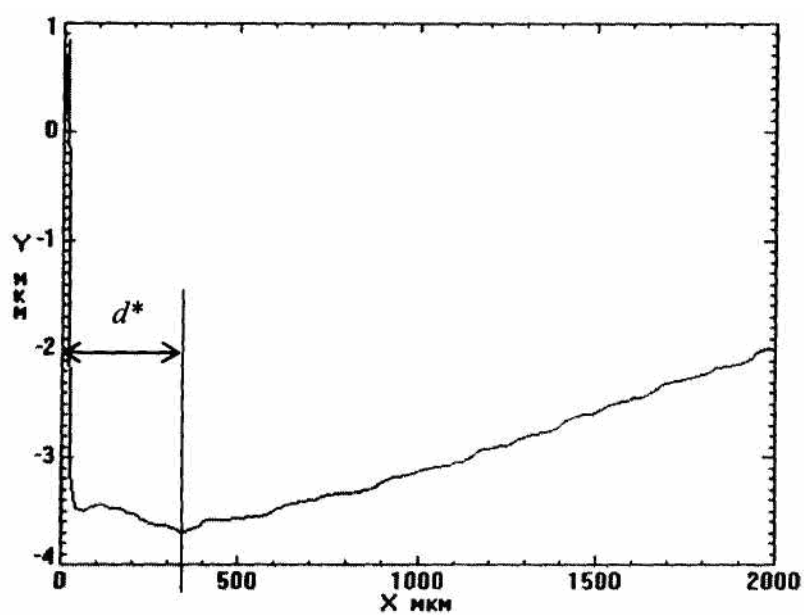


Fig. 5