

УДК 539.43: 620.191.33

Ю.Пиндус

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ЦИКЛІЧНУ ТРИЩИНІСТІЙКІСТЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ Д16ЧТ

Досліджено вплив асиметрії циклу навантаження на швидкість росту втомних тріщин, порогові і критичні коефіцієнти інтенсивності напружень алюмінієвого сплаву Д16ЧТ.

При розробці експериментально-аналітичних методів прогнозування росту втомних тріщин в конструкційних елементах машин і механізмів під впливом експлуатаційних циклічних навантажень необхідно мати експериментальні дані про вплив асиметрії циклу навантаження на кінетичні діаграми втомного руйнування(КДВР). Результати таких досліджень, їх аналітичне представлення, дають можливість робити реалістичний прогноз РВТ, підрахунок приросту тріщини “цикл за циклом”[1-3].

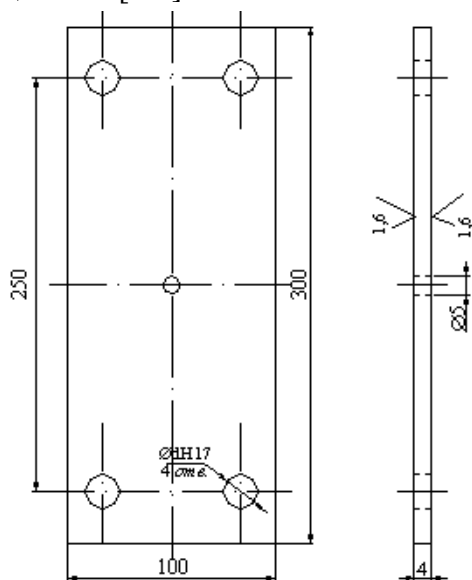


Рис.1. Плоский прямокутний зразок із центральним отвором зі сплаву Д16ЧТ

Швидкість РВТ досліджували на електрогідравлічній машині СТМ-100 на плоских прямокутних зразках з центральним наскрізним отвором (рис.1) з алюмінієвого сплаву Д16ЧТ. Конструкція зразків розроблена згідно з ГОСТ 25.506-85 [4] для зразків, що працюють на вісьовий розтяг – стиск. Хімічний склад за результатами спектрального аналізу, і деякі характеристики механічних властивостей сплаву подані у табл.1.

Для забезпечення можливості знакозмінного циклічного навантаження плоских зразків розроблена конструкція затискачів (рис.2). При розробці конструкції були виключені рухливі з'єднання з зазорами для забезпечення підвищеної жорсткості зв'язку машини із зразком і виключення можливості ударів при зміні напрямку навантажування (розтяг-стиск). Для жорсткого кріплення вилки опори 1 до тяги машини передбачено вісім отворів для болтових з'єднань.

Зусилля від тяги до зразка передається за допомогою вісьмох шайб 2. Для поліпшення зчеплення із зразком на шайбах передбачені кільцеві рівці(зубці) з боку прилягання до зразка 5. Ці рівці також перешкоджають розширенню матеріалу в зоні контакту і виникненню стискувальних напружень поза цією зоною, тобто забезпечується підсилення зони отворів.

Таблиця 1

Хімічний склад і механічні характеристики сплаву Д16ЧТ

Cu,%	Mg,%	Mn,%	Si,%	Fe,%	Ti,%	Al
4,0	1,6	0,75	0,07	0,05	0,03	Основа
$\sigma_{0,2}$,МПа		σ_B ,МПа		HV		
300		430		134		

Шайби притискаються до зразка з допомогою болтових з'єднань 4 без контакту болта із зразком. Таке кріплення вважається міцнішим і спроможне передавати більші зусилля, ніж, наприклад, кріплення з використанням пальця [4].

Тягові зусилля від машини до шайб передаються через вилку 1. З допомогою болтів 3 шайби жорстко затискаються в отворах вилки. Всі деталі виготовлені з сталі

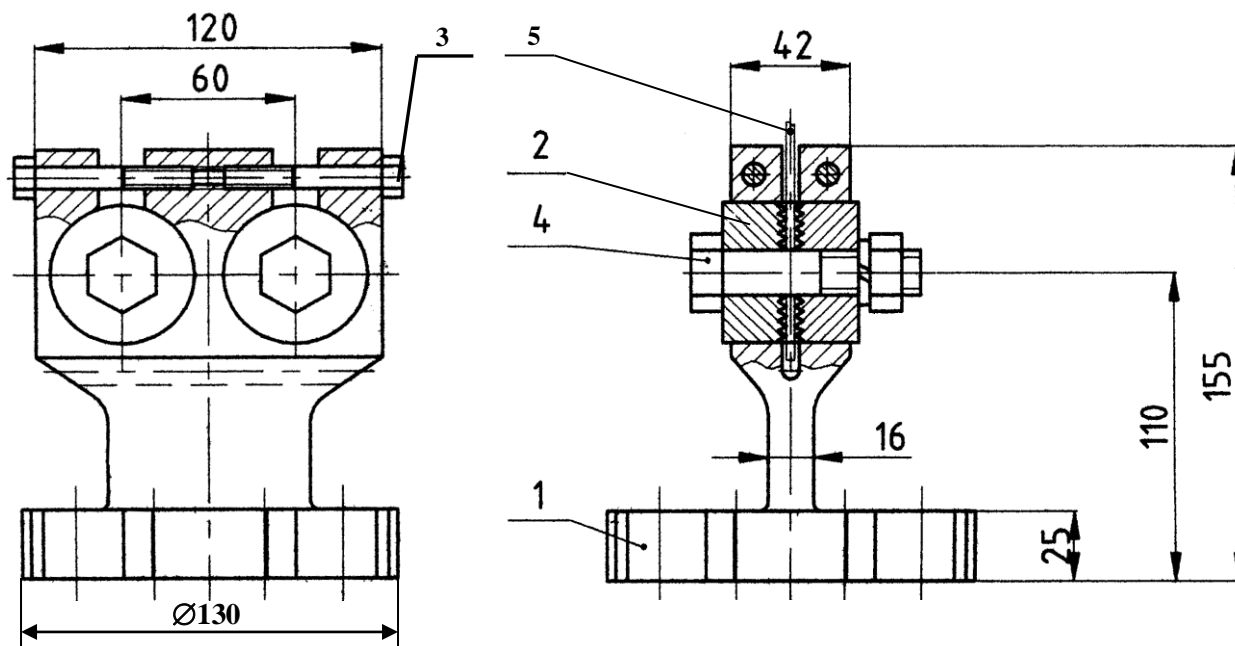


Рис.2. Конструкція захоплювача для передачі зусиль від випробувальної машини СТМ-100 до плоских зразків.

30ХГСА, загартовані до $\sigma_s = 1200 \pm 10 \text{ МПа}$.

Дослідження росту втомних тріщин (РВТ) проводили на електрогідравлічній випробувальній машині СТМ-100, що керується ПЕОМ типу ІВМ РС АТ 286, в умовах одновісного розтягу з контрольованим розмахом зусилля. Частота навантаження $f = 10$ Гц, форма $P = f(t)$ - синусоїда, асиметрія циклу навантаження $R = 0$; $R = 0,3$; $R = 0,5$; $R = 0,7$. Температура проведення випробувань – 293 К.

На попередньо розмічених зразках у напрямку росту тріщини наносили гострі концентратори й ініціювали тріщину при амплітудних значеннях циклічних навантажень, які розрахунково забезпечували б швидкість РВТ, що дорівнює $V = 5 \cdot 10^{-8}$ м/цикл. Початкову тріщину вирощували до довжини $l_0 \geq 4$ мм в обидва боки отвору для усунення впливу концентратора на показники тріщиностійкості матеріалу. Довжину тріщини вимірювали на поверхні зразка. За моментом появи і розвитком втомних тріщин спостерігали використовуючи систему змонтовану на базі промислової телевізійної установки ПТУ-44. Якісне спостереження за вістрям тріщини і приростом її довжини з використанням системи забезпечується за рахунок значного діапазону дискретно регульованого збільшення досліджуваної зони при високій розрізняльній здатності. При кожній асиметрії розмах навантаження спочатку знижували і проходили низькоамплітудну ділянку КДВР, визначаючи порогове значення коефіцієнта інтенсивності навантаження (КІН) ΔK_{TH} , а потім розмах навантаження збільшували і проходили середньо- і високоамплітудну ділянки КДВР до критичного значення КІН K_{fc} . Значення ΔK_{TH} і K_{fc} при $R = 0$; $R = 0,3$; $R = 0,5$; $R = 0,7$ подані у табл.2.

Розмах номінального напруження циклу навантаження визначали з виразу (1):

$$\Delta \sigma = \frac{P_{max} - P_{min}}{F} \quad (1)$$

де F - площа поперечного перерізу зразка (брутто); P_{min} , P_{max} - найменше і найбільше зусилля циклу.

Розмах КІН визначали за формулою [6]:

$$\Delta K = \left[1 - 0,025 \left(\frac{W/2}{l} \right)^2 + 0,06 \left(\frac{W/2}{l} \right)^4 \right] \Delta \sigma \sqrt{\pi l} \sqrt{\sec \frac{\pi l}{W}} \quad (2)$$

де $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ - розмах КІН; l – половина довжини тріщини; W – ширина зразка; K_{max}, K_{min} – мінімальне і максимальне значення КІН циклу навантаження.

Експериментальні дані швидкості РВТ при різних асиметриях циклу навантаження подані на рис. 1.

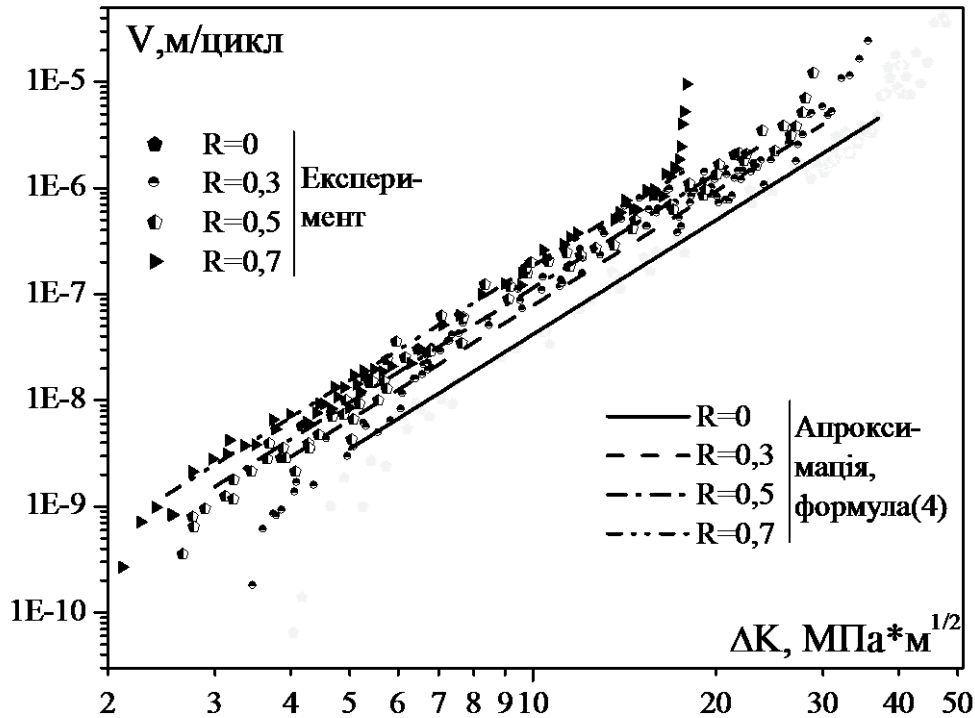


Рис.3. Експериментальні дані і КДВР сплаву Д16сТ при різних асиметриях циклу навантаження за залежністю Періса(4).

Для аналітичного опису середньоамплітудних ділянок експериментальних діаграм була використана модифікована модель Уокера [7]:

$$V = C_0 \left[\frac{\Delta K}{(1-R)^{(1-m)}} \right]^n, \quad (3)$$

де V - швидкість РВТ; m - коефіцієнт урізання (Уокера); $C_0 = 1,1 \cdot 10^{-11}$, $n = 3,58$ - параметричні сталі швидкості РВТ визначені для матеріалу при асиметрії $R = 0$. Сталі визначалися методом ітерацій Левенберга – Маргуарта.

Підхід використаний для визначення коефіцієнта урізання Уокера, такий: для набору експериментальних точок швидкості РВТ при $R = 0,3; 0,5; 0,7$ визначали коефіцієнт C_R рівняння Періса (4). Коефіцієнт $n = 3,58$ залишався сталим для кожної асиметрії циклу навантаження.

$$V = C_R \Delta K^n \quad (4)$$

Експериментальні дані і результати обчислення швидкості РВТ за формулою (4) подані на рис.3.

Визначені коефіцієнти C_R для кожної асиметрії зведені в табл.2. Ці дані використовуються для визначення коефіцієнта урізання Уокера.

Таблиця 2

Характеристики циклічної тріщиностійкості сплаву Д16чТ

R	0	0,3	0,5	0,7
$C_R, \frac{м/цикл}{(МПа\sqrt{м})^n}$	$1,10 \cdot 10^{-11}$	$2,06 \cdot 10^{-11}$	$3,02 \cdot 10^{-11}$	$4,87 \cdot 10^{-11}$
n	3,58	3,58	3,58	3,578
$K_{fc}, МПа\sqrt{м}$	48,43	56,85	59,08	59,8
$\Delta K_{thR}, МПа\sqrt{м}$	3,90	3,34	2,53	2,00

Прирівнявши праві частини залежностей (3) і (4), визначимо C_R :

$$C_R = C_0 \frac{1}{(1-R)^{(1-m)n}} \quad (5)$$

Дані $C_R = f(R)$, що подані в табл.2 і їх апроксимація залежністю (5) зображені на рис.4 (а). Коефіцієнт урізання рівня асиметрії Уокера, визначений для залежності (5) методом ітерацій, дорівнює $m = 0,65$.

Отже, тепер, використовуючи залежність (3), можна визначати швидкість РВТ для різних значень КІН на середньоамплітудній ділянці КДВР при будь-якій асиметрії циклу навантажування.

Для врахування згасяючого впливу асиметрії на значення порогового КІН (рис.4(б)) використана залежність [4]:

$$\Delta K_{thR} = (1-R)^\chi \Delta K_{th0}, \quad (6)$$

де $\chi = 0,55$ константа матеріалу, ΔK_{th0} - порогове значення КІН при $R = 0$.

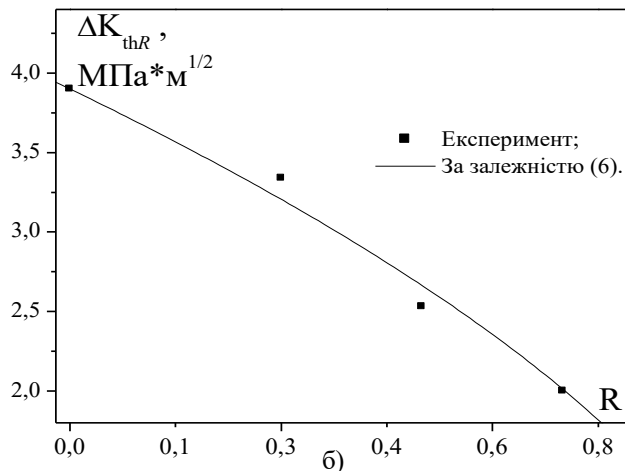
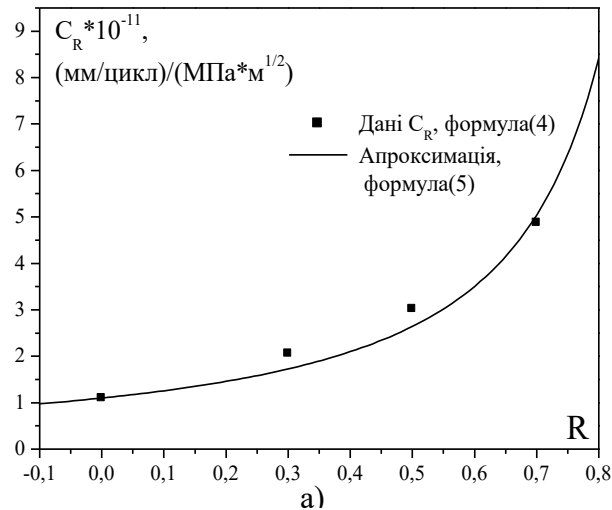


Рис.4. Залежність коефіцієнта C_R (а) і порогового КІН ΔK_{th} (б) від коефіцієнта асиметрії циклу навантаження R .

Вплив асиметрії циклу навантаження на критичний КІН K_{fc} зображено на рис.5. КДВР для $R = 0; 0,3; 0,5; 0,7$, побудовані за залежністю (3), зображені на рис.6.

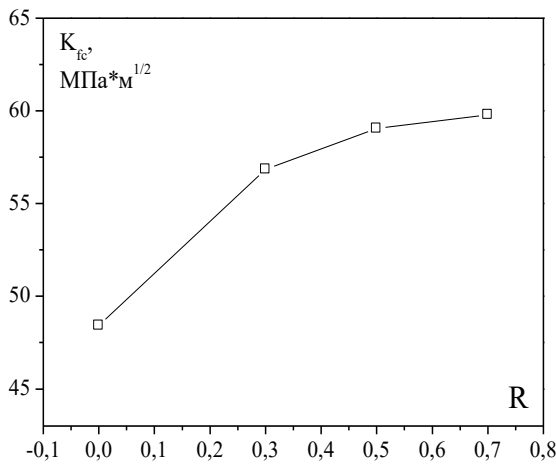


Рис.5. Залежність критичного КІН від коефіцієнта асиметрії циклу навантаження.

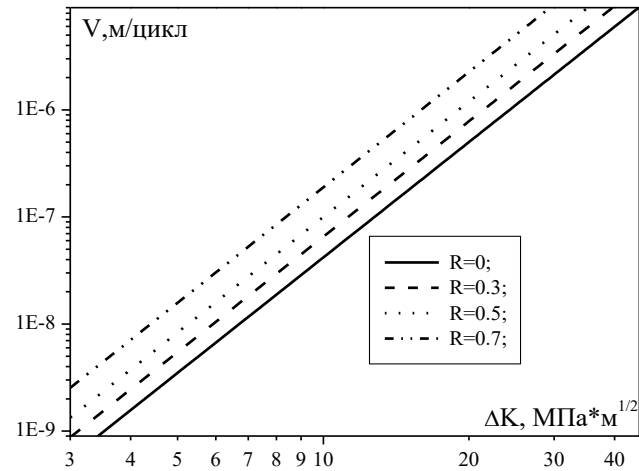


Рис.6. КДВР обчислені за модифікованою формулою Уокера (3), при різних R .

Висновки:

1. Розроблено методикку дослідження швидкості РВТ при одновісному знакозмінному і знакосталому циклічному навантаженні пластин з центральною тріщиною.
2. Досліджено вплив асиметрії циклу навантаження на циклічну тріщиностійкість алюмінієвого сплаву Д16чТ. Підвищення коефіцієнта асиметрії циклу навантаження з 0 до 0,7 майже вдвічі зменшує пороговий КІН і у 1,2 раза збільшує критичні КІН при циклічному навантаженні.
3. Обчислено параметри модифікованого рівняння Уокера, що описує вплив асиметрії на РВТ для середньоамплітудних ділянок КДВР алюмінієвого сплаву Д16чТ.

The influence of stress ratio R on fatigue crack growth rate, on the threshold stress intensity range and on the critical stress intensity factor of cyclic loading of an aluminium alloy D16chT, was investigated.

Література

1. Sunder R. A Regression Model of Fatigue Crack Propagation Under Flight Simulation Loading// Engineering Fracture Mechanics.-Pergamon Press Ltd.-1979.- Vol.12.-P.147-154.
2. Newman J. C., Jr. A Crack-Closure Model for Predicting Fatigue Crack Growth under Aircraft Spectrum Loading//Methods and Models for Predicting Fatigue Crack Growth under Random Loading.-ASTM STP 748.- 1981.- P.53-84.
3. Chang J. B., Szamosi M., Liu K-W. Random Spectrum Fatigue Life Predictions With or Without Considering Load Interactions//Methods and Models for Predicting Fatigue Crack Growth under Random Loading.-ASTM STP 748.-1981.-P.115-132.
4. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4 т./Под общей ред. В.В.Панасюка. – Киев: Наук. думка, 1988-1990.-Т.4. – 680 с.
5. РД-50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении.-М.:Изд-во стандартов,1983.-95с.
6. Tada H. The Stress Analysis of Cracks Handbook/Del Research Corporation, Hellertown, Pa.-1973.
7. Rudd J.L., Engle R.M. Crack Growth Behavior of Center Cracked Panels under Random Spectrum Loading //Methods and Models for Predicting Fatigue Crack Growth under Random Loading.-ASTM STP 748.- 1981.- P.103-114.

Одержано 25.02.01 р.