

Винахід відноситься до способів випробувань матеріалів на механічні властивості і, зокрема, до випробувань конструкційних матеріалів і їх сплавів на тріщиностійкість.

Відомий спосіб визначення характеристики тріщиностійкості матеріалу [Авт. св. СРСР №823953, кл. G 01 N 1/28, 3/00, 1979] шляхом деформування призматичного зразка з боковою тріщиною на позacentровий розтяг, для якого фіксують руйнівне зусилля та розміри тріщини і за відомими формулами механіки руйнування визначають характеристику тріщиностійкості  $K_{IC}$  матеріалу.

Але, як показали дослідження, такий спосіб не придатний для досліджень за тріщиностійкістю в'язких матеріалів, оскільки в процесі їх руйнування спостерігаються значні пластичні деформації по бокових гранях зразка з явно вираженими смугами пластичності, які впливають на достовірність визначення характеристики  $K_{IC}$  матеріалу. Для визначення характеристики  $K_{IC}$  потрібні зразки великих розмірів.

Найбільш близьким технічним рішенням являється спосіб визначення характеристики тріщиностійкості  $K_{IC}$  матеріалу [Панасюк В.В., Андреев А.Е., Ковчик С.Е. Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов. Киев, "Наукова думка", 1977, с. 135-142], шляхом осьового розтягу циліндричного зразка з діаметром  $d$  в площині кільцевої тріщини, фіксації для нього руйнівного зусилля  $F^*$  і визначення характеристики тріщиностійкості  $K_{IC}$  на підставі відомої емпіричної формули механіки руйнування

$$K_{IC} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi \cdot d}} \cdot \frac{F^*}{d \cdot f(\varepsilon)} \quad (1)$$

$$\text{де } f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{1 - \varepsilon}} (1 - 0,5000 \varepsilon - 0,1250 \varepsilon^2 + 0,2757 \varepsilon^3 - 0,2032 \varepsilon^4 + 0,0663 \varepsilon^5 + 0,0048 \varepsilon^6 - 0,0130 \varepsilon^7) \quad (2)$$

тут  $\varepsilon = d/D$  - відносний розмір кільцевої тріщини;

$D$  - зовнішній діаметр циліндричного зразка;

$f(\varepsilon)$  - функція для визначення відносного розміру кільцевої тріщини.

При цьому для одержання достовірних значень  $K_{IC}$  щодо вибору габаритів циліндричного зразка користуються такими співвідношеннями:

$$D \geq 2,3 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}} \right)^2 ; d \geq 1,6 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}} \right)^2 ;$$

$$L = 10 D, \quad (3)$$

де  $\sigma_{0,2}$  - межа текучості матеріалу;

$L$  - довжина циліндричного зразка.

Але і в цьому випадку, коли необхідно дослідити в'язкі матеріали для одержання достовірних значень  $K_{IC}$  потрібні зразки великих габаритів ( $D = 200$  мм,  $L = 2000$  мм) і потужні розривні випробувальні машини для їх руйнування (максимальне зусилля на розрив до 10000 кН).

В основу винаходу поставлено завдання створення такого способу визначення характеристики тріщиностійкості  $K_{IC}$  для в'язких матеріалів, в якому використання малогабаритних циліндричних зразків дозволило би одержати достовірні значення характеристики  $K_{IC}$  матеріалу, що облегчить процедуру проведення таких експериментів і зменшить витрати матеріалу на виготовлення дослідних зразків.

Поставлене завдання вирішується тим, що у способі визначення характеристики тріщиностійкості  $K_{IC}$  матеріалу шляхом осьового розтягу циліндричного зразка з діаметром  $d$  в площині кільцевої тріщини і фіксації для нього руйнівного зусилля  $F^*$ , згідно з винаходом, використовують циліндричний зразок з діаметром в площині кільцевої тріщини  $d \geq 10$  мм, для якого визначають характеристику тріщиностійкості  $K_{IC}$ , його руйнівне напруження  $\sigma^* = 4F^*/\pi d^2$  і коефіцієнт зміцнення матеріалу  $n = \sigma^*/\sigma_{0,2}$ , а характеристику тріщиностійкості матеріалу підраховують за формулою

$$K_{IC} = n \cdot K_C, \quad (4)$$

де  $\sigma_{0,2}$  - межа текучості матеріалу

На підставі випробувань великогабаритних і малогабаритних циліндричних зразків з кільцевою тріщиною встановлений кореляційний коефіцієнт  $n$  можна вважати деякою функцією від кількох змінних, тобто

$$n = f\left(\frac{\sigma^*}{\sigma_{0,2}} \cdot D, l\right) \quad (5)$$

Тут  $\sigma^*$  - величина напружень для циліндричного зразка з кільцевою тріщиною після руйнування силою  $F^*$ ;

$\sigma_{0,2} = 4 F^*/\pi d_{гн}$  - межа текучості матеріалу;

$d_{гн}$  - діаметр гладкого циліндричного зразка;

$D, l$  - зовнішній діаметр зразка та глибина кільцевої тріщини відповідно.

З другого боку, якщо прийняти до уваги, що для діаметра зразка з кільцевою тріщиною  $d \geq 10$  мм та  $l = 0,4 \dots 0,7 d/D$  добуток  $K_C$  на  $n$  - стала величина (дорівнює  $K_{IC}$ ), тобто  $n = 1$ , то формулу (5) наближено можна записати у вигляді

$$n = f(\sigma^*/\sigma_{0,2}) \quad (6)$$

Підставивши (6) у (4) одержимо кінцеву формулу для визначення характеристики тріщиностійкості  $K_{IC}$  матеріалу, незалежну від розмірів зразка та тріщини:

$$K_{IC} = K_C(\sigma^*/\sigma_{0,2}) \text{ тобто } K_{IC} = n \cdot K_C \quad (7)$$

Слід визначити, як показали експериментальні дослідження з визначення розмірів та форми пластичних зон у вершині кільцевої "втомної" тріщини, було встановлено, що вони мають форму "Ізоклини" і розгалужуються приблизно під кутом  $72^\circ$  у виді двох смуг із вершини кільцевої тріщини і утворюють подвійний кільцевий тор, що може зімкнутись ідучи назустріч один одному при певному діаметрі циліндричного зразка з кільцевою тріщиною; тим самим спластифікувати вихідний матеріал і привести до зміни значень  $K_{IC}$  матеріалу. Для крихких матеріалів - до зменшення  $K_{IC}$ , а для в'язких - до збільшення  $K_{IC}$ . Експериментально було також встановлено, що, починаючи від діаметра циліндричного зразка, в площині кільцевої тріщини  $d \geq 10$  мм відсутнє змикання цих пластичних смуг, що виходять із вершини кільцевої тріщини, і як доказ цього - добуток  $K_C$  на  $n$  дорівнює завжди сталій величині, тобто  $K_{IC}$ , яку слід вважати за достовірну характеристику для даного матеріалу, а не для дослідного зразка як  $K_C$ .

Отже, одержана формула (7) дозволяє достовірно вирахувати значення  $K_{IC}$  матеріалу на малогабаритному циліндричному зразку, не проводячи дорогих випробувань на великогабаритних зразках і була перевірена більш ніж на 50-ти марках конструкційних сталей, титанових сплавах та алюмінієвих сплавах і дала хорошу збіжність результатів  $K_{IC}$  для цих матеріалів.

Спосіб здійснюють наступним чином. Виходячи з того, що діаметр циліндричного зразка в площині кільцевої тріщини не повинен бути меншим 10 мм, тобто  $d \geq 10$  мм, підраховували його зовнішній діаметр  $D$ ; тобто  $D = 1,5d$ . Посередині зовнішньої діаметра циліндричного зразка нарізали кільцевий надріз  $dk = 0,8D$  з радіусом закруглення дна  $\rho < 0,1$  мм і кутом при вершині  $\alpha = 60^\circ$ , а по кінцях зразка нарізали різь М14 х 2 для загвинчення його в захват випробувальної машини.

Перед випробуванням на  $K_{IC}$  у зразку шляхом кругового згину при жорстко фіксованій стрілі прогину і напруженнях згину  $\sigma_{32} \leq 0,7 \sigma_{0,2}$ , тобто  $\sigma_{32} = 0,67 K_{IC}$  матеріалу ініціювали кільцеву тріщину до діаметра  $d=0,7D$ , тобто  $d \geq 10$  мм. Він і являвся достатнім діаметром в площині кільцевої тріщини циліндричного зразка для одержання характеристики  $K_{IC}$  досліджувальних в'язких матеріалів.

В процесі розтягу такого зразка на розривній машині РМ-50 фіксували руйнівне зусилля  $F^*$ , підраховували його руйнівні напруження  $\sigma^* = 4F/\pi d^2$ , коефіцієнт зміцнення матеріалу  $\tau = \sigma^*/\sigma_{0,2}$ , де  $\sigma_{0,2}$  - межа текучості матеріалу, а потім, для зруйнованого зразка, визначали характеристику тріщи нестійкості  $K_C$  за відомою

$$K_C = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi} \cdot d} \cdot \frac{F^*}{d \cdot f(\epsilon)}$$

формулою - де функцію  $f(\epsilon)$  для визначення відносного розміру кільцевої тріщини встановлювали за формулою (2).

І, накінець, маючи значення  $K_C$ ,  $n$ ,  $\sigma^*$ ,  $\sigma_{0,2}$  за формулою винаходу  $K_{IC} = n K_C$  встановлювали фактичні значення характеристики тріщиностійкості ( $K_{IC}$ ) досліджуваних матеріалів.

Нижче подано результати експериментальних досліджень для деяких конструкційних матеріалів.

Дослідження виконано для сталі 40 X (пруток, стан поставки), титанового сплаву ВТ3-1 (пруток, гартування з 1143 К, витримка 1 год., відпуск при 923 К, витримка 2 год. охолодження на повітрі) і сталі У8 (пруток, нормалізація з 1053 К, витримка 2 год, охолодження на повітрі).

Розміри циліндричних зразків для досліджуваних матеріалів складали:  $D = 15$  мм;  $d > 10$  мм;  $L = 150$  мм,  $\alpha=60^\circ$ ;  $\rho \leq 0,1$  мм.

Для прототипа розміри циліндричних зразків складали:

а) для сталі 40X -  $D = 32$  мм;  $L = 320$  мм;

б) для сплаву ВТ3-1 -  $D = 25$  мм;  $L = 250$  мм;

в) для сталі У8 -  $D = 20$  мм;  $L = 200$  мм.

Результати проведених досліджень над циліндричними зразками малогабаритних розмірів і розмірів за прототипом щодо підрахунку значень характеристики  $K_{IC}$  для 3-х конструкційних матеріалів зведено у таблицю, тобто показані значення  $K_{IC}$ , підраховані за формулою (7) винаходу і за відомими формулами (1) і (2) прототипу.

Добре співпадання значень  $K_{IC}$  за пропонованим способом згідно з винаходом і за відомим прототипом свідчить про коректність виконаних досліджень на малогабаритних циліндричних зразках (див. дані таблиці).

Ініціювання кільцевих тріщин здійснювали шляхом кругового згину циліндричного зразка при жорсткофіксованій стрілі прогину (трюхточковий круговий згин) при регламентованих напруженнях для двох типорозмірів циліндричних зразків, тобто згідно з винаходом і згідно з прототипом, для яких напруження згину  $\sigma_{32} = 0,67 K_{IC}$  заданого матеріалу. Це виключало похибку від наклепу матеріалу в процесі втомного деформування зразків.

Назва матеріалу та режим термообробки	Діаметр зразка з тріщиною, d, мм	Межа текучості матеріалу $\sigma_{0.2}$ , МПа	Руйнуючі напруження $\sigma^*$ , МПа	K <sub>IC</sub> , МПа $\sqrt{\text{м}}$	
				згідно з ви-находом	згідно з про-тотипом
Сталь 40X, стан поставки	11,20	460	515	72,7	71,2
Титановий сплав BT3-1, після термообробки	10,55	1020	980	52,5	52,7
Сталь У8, після нормалізації	10,38	520	509	36,5	37,0