



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 60464

(13) A

(51) 7 G01N3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ РУЙНУВАННЯ K_{1C} ПЛАСТИЧНИХ СТАЛЕЙ ПРИ НОРМАЛЬНИХ УМОВАХ

1

2

(21) 2002097373

(22) 11 09 2002

(24) 15 10 2003

(46) 15 10 2003, Бюл. № 10, 2003 р.

(72) Камінський Анатолій Олексійович, Галатенко
Григорій Васильович(73) ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ІМ. С. П. ТИМОШЕНКА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ(57) Спосіб визначення в'язкості руйнування K_{1C}
пластичних сталей при нормальних умовах по
границі текучості сталей і в'язкості руйнування K_{1C} при низькій температурі, який відрізняється тим,
що по границі текучості пластичних сталей визна-
чають низьку температуру

$$T_0 = T_1 - \frac{(m_k^{пд}(T_1) - 1)\sigma_{0.2}(T_1)}{E\alpha/(1-2\nu)} \quad \text{і в'язкість руйну-}$$

вання K_{1C} при цій температурі, а потім перерахо-
вують K_{1C} для нормальних умов за формулою $K_{1C} =$
 $m_k^{пд}(T_1)K_{1C}(T_0)$ Винахід відноситься до області механічних іс-
питів, а саме, до іспитів пластичних сталей на в'яз-
кість руйнування K_{1C} при нормальних умовахІспити, як правило, проваляються за ГОС-
Том 25506-85 [1] і розміри зразків повинні задово-
лювати обмеженням

$$L, b-l, t \geq 2,5(K_{1C}/\sigma_{0.2})_2, \quad (1)$$

де l - довжина тріщини, $b-l$ - розмір неушко-
дженого перетину, t - товщина зразка. Тут інтерес
представляють габарити зразків, що залежать від
співвідношення $K_{1C}/\sigma_{0.2}$. Оскільки сталі і високою
пластичністю мають порівняно низьку границю те-
кучості ($\sigma_{0.2}$) і високу в'язкість руйнування (K_{1C}), то
для достовірного визначення K_{1C} вимагаються
зразки великих розмірів, що іноді перевершують
по товщині реальні елементи конструкцій, що істо-
тно утрудняє або унеможливає проведення іспитівВідомі способи визначення в'язкості руйнуван-
ня K_{1C} через пружно-пластичні характеристики
тріщиноспійкості граничне значення J -інтеграла
 J_{1C} [1, 2] і розкриття вершини тріщини σ_{1C} [1, 3],
для визначення яких застосовуються зразки зме-
ншених розмірів. Такі приклади мають місце і мо-
жуть слугити аналогами передбачуваному спосо-
бу. Властивий їм недолік полягає у наступному.
Визначивши характеристики тріщиноспійкості J_{1C} і
 σ_{1C} на малогабаритних зразках, виникає необхід-
ність перерахування їх на K_{1C} за формулами ліній-
ної механіки руйнування [4]

$$K_{1C} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)J_{1C}}}, \quad (2)$$

$$K_{1C} = \sqrt{\frac{E \cdot J_{1C}}{1-\nu^2}} \quad (3)$$

Тут E , ν - пружні постійні, m_k - коефіцієнт об-
меження на пластичність. У результаті виявляєть-
ся, що ці формули несправедливі, оскільки на
фронті тріщини не були реалізовані умови мало-
масштабної текучості, настільки необхідні для за-
стосування коефіцієнта інтенсивності напружень
 K_{1C} . До того ж і розрахункові значення в'язкості
руйнування, отримані за приведеними формула-
ми, можуть перевищувати істинні значення в кіль-
ка разів [5]Найбільш близьким до способу, що заявляєть-
ся, є спосіб визначення K_{1C} через структурно-
механічні характеристики матеріалу [6], прототип,
відповідно до якого на зразку з тріщиною визна-
чають значення K_{1C} при криогенних температурах
(рідкий азот, гелій), при яких звичайні конструкційні
матеріали досить сильно окрихчуються і внаслідок
чого розміри зразків істотно зменшуються. При цій
температурі на гладких зразках визначають меха-
нічні характеристики пружні постійні E , ν , границю
текучості на зсув τ_T , відносне звуження Ψ і за фо-
рмулою

$$K_{1C} = \sqrt{\rho \tau_T E (1-\nu^2)^{-1} \ln(1-\Psi)^{-1}} \quad (4)$$

(13) A

(11) 60464

(19) UA

обчислюють структурний параметр ρ . Надалі для визначення K_{IC} при бажаній температурі визначають тільки E , ν , τ_1 , Ψ і розраховують в'язкість руйнування за формулою (4), вважаючи, що структурний параметр ρ від температури не залежить.

Однак для деяких пластичних сталей, коли відносне звуження Ψ у широкому діапазоні температур практично постійне, а в'язкість руйнування K_{IC} істотно змінюється, питання про застосовність цього способу відпадає. Типовим прикладом можуть служити реакторні сталі, такі як 15X2МФА, 15X2НМФА [7].

В основу передбачуваного винаходу поставлена задача визначення в'язкості руйнування пластичних сталей при нормальних умовах за допомогою визначення K_{IC} при низькій температурі, коли, внаслідок окрихнення матеріалу, розміри зразка зменшуються і спрощують процес іспиту на в'язкість руйнування. В основу запропонованого винаходу покладені явища крихко-в'язкого переходу в сталях [5] і розроблений у роботі [8] підхід для його опису за допомогою двопараметричного критерію руйнування. Під крихко-в'язким переходом мається на увазі різка зміна в'язкості руйнування K_{IC} порівняне вузькому температурному діапазону.

Виходячи із двопараметричного критерію руйнування в роботі [8] отримана залежність в'язкості руйнування $K_{IC}(T)$ від температури в області крихко-в'язкого переходу

$$K_{IC}(T) = \frac{K_{IC}(T_0)}{1 - \frac{\beta(T - T_0)}{\sigma_{0.2}(T)m_k^{nd}(T_0)}}, \quad (5)$$

де температура T належить проміжку $[T_0, T_1]$, $\beta = E\alpha/(1-2\nu)$, α - коефіцієнт лінійного розширення, $m_k^{nd}(T_0)$ - коефіцієнт обмеження на пластичність в умовах плоскої деформації при температурі T_0 . Причому, температурний діапазон $T_1 - T_0$, де має місце залежність (5), обчислюється за формулою

$$T_1 - T_0 \approx \frac{(m_k^{nd}(T_0) - 1)\sigma_{0.2}(T_1)}{\beta} \quad (6)$$

Якщо у виразі (5) за температуру T взяти температуру T_1 при нормальних умовах і зажадати, щоб обмеженості на пластичність при температурах T_1 і T_0 були однаковими, тобто $m_k^{nd}(T_0) = m_k^{nd}(T_1)$, то з (5) і (8) випливає

$$K_{IC}(T_1) = m_k^{nd}(T_1)K_{IC}(T_0) \quad (7)$$

Таким чином, поставлена задача по визначенню в'язкості руйнування пластичних сталей при нормальних умовах розв'язується тим, що по границі текучості пластичних сталей визначають низьку температуру

$$T_0 = T_1 - \frac{(m_k^{nd}(T_1) - 1)\sigma_{0.2}(T_1)}{E\alpha/(1-2\nu)} \quad (8)$$

і в'язкість руйнування K_{IC} при цій температурі, а потім перераховують K_{IC} для нормальних умов за формулою $K_{IC}(T_1) = m_k^{nd}(T_1)K_{IC}(T_0)$.

Теоретичні дослідження [4, 8] показують, що в умовах плоскої деформації і маломасштабної текучості на фронті тріщини коефіцієнт обмеження пластичних деформацій m_k^{nd} знаходиться у межах $1,9 \leq m_k^{nd} \leq 2,5$, при середньому значенні 2,2.

Перевірку запропонованого способу проводи-

ли на корпусних сталях А 533 [9], 15Х2МФА [7], для яких відомі температурні залежності в'язкості руйнування. При розрахунках покладалося $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\nu = 0,3$, $m_k^{nd} = 2,2$, $\alpha = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Для сталі А 533 в'язкість руйнування при $T_1 = 293 \text{ К}$ (Фіг 1) розраховувалася по границі текучості $\sigma_{0.2}(T_1) = 350 \text{ МПа}$. Тоді

$$T_0 = 293 - \frac{(2,2 - 1) \cdot 350}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10,5 \cdot 10^{-6} / (1 - 2 \cdot 0,3)} = 293 - 76 = 217 \text{ К}$$

і в'язкість руйнування при цій температурі дорівнює $62 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$. Отже

$$K_{IC}(T_1) = 2,2 \cdot 62 = 136,4 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

Мінімальне експериментальне значення K_{IC} відповідає $142 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$. Тоді похибка розрахунку по запропонованому способі буде 4%.

Для сталі 15Х2МФА (І) (Фіг 2) границя текучості при $T_1 = 293 \text{ К}$ дорівнює $\sigma_{0.2}(T_1) = 584 \text{ МПа}$ [7], то розрахункова температура T_0 буде

$$T_0 = 293 - \frac{(2,2 - 1) \cdot 584}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10,5 \cdot 10^{-6} / (1 - 2 \cdot 0,3)} = 293 - 127 = 166 \text{ К}$$

При цій температурі в'язкість руйнування складає приблизно $80 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$, а в'язкість руйнування при T_1 буде

$$K_{IC}(T_1) = 2,2 \cdot 80 = 176 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$$

що на 12% менше експериментального значення (Фіг 2).

Становить інтерес порівняти габарити зразків при нормальних умовах і низькій температурі. Для сталі А 533 при нормальних умовах товщина зразка t , згідно ГОСТу, повинна бути не менше $2,5(142/350)^2 = 0,4 \text{ м}$, у той час як при розрахунковій температурі $T_0 = 217 \text{ К}$ маємо $\sigma_{0.2} = 450 \text{ МПа}$ і, отже, $t \geq 2,5(62/450)^2 = 0,047 \text{ м}$. Таким чином, товщина зразка зменшилася майже в 9 раз.

Із приведених вище розрахунків в'язкості руйнування K_{IC} по запропонованому способі очевидно, що спосіб має велике практичне значення для пластичних сталей, застосовуваних при виготовленні таких відповідальних виробів, як корпуси атомних реакторів і т.п. Спосіб наочно показує, яким чином, знаючи необхідні механічні характеристики пластичної сталі, можна з мінімальними витратами істотно зменшити не тільки габарити випробуваного зразка для визначення K_{IC} , але і прогнозувати поведінку матеріалу відповідальної конструкції при дії регламентованих навантажень.

Джерела інформації,

- 1 ГОСТ 25-506-85 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении - М, 1985, - 62с.
- 2 ASTM Standard E 813-81 Standard Test for J_{IC} , A Measure of Fracture Toughness, - 1981.
- 3 British Standards Institution, Methods for Crack Opening Displacement Testing, BS 5762-1979, - 1979.
- 4 Сиратори М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения Пер с англ / Под ред. Е.М. Морозова - М. Мир, 1986 - 336с.
- 5 Красовский А.Я., Красико В.Н. Трещиностойкость сталей магистральных трубопроводов - К.,

Наук думка, 1990 - 171с

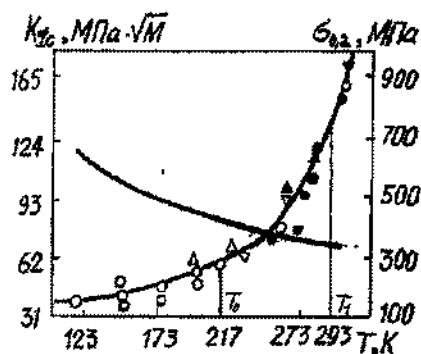
6 Панасюк В В, Андрейкив А Е, Ковчик С Е. Определение вязкости разрушения K_{IC} конструкционных материалов через их механические характеристики и параметр структуры // Физ-хим механика материалов - 1977 - №2 - С 120-122

7 Троценко В Т, Покровский В В, Каплуненко В Г. Прогнозирование трещиностойкости теплоустойчивых сталей с учетом влияния размеров образцов. Сообщение 1. Результаты эксперимен-

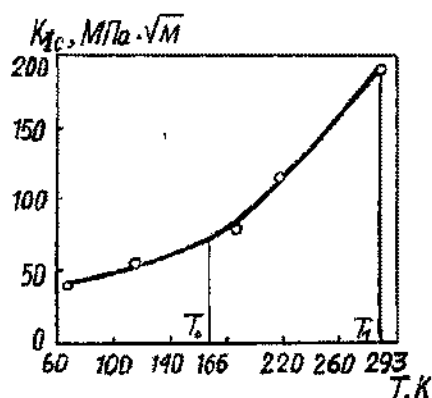
тальных исследований // Пробл прочности - 1997 - №1 - С 5-25

8 Каминский А А, Галатенко Г В. К температурной зависимости вязкости разрушения в области хрупко-вязкого перехода // Прикл, механика - 1999 - 35, №4 - С 80-86

9 Вессел Э, Кларк У, Прайл У - В кн. Новые методы оценки сопротивления металлов хрупкому разрушению. Пер с англ - М Мир - 1972 - С 213-244



Фиг.1



Фиг.2