



УКРАЇНА

(19) UA (11) 66722 (13) U

(51) МПК

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/14 (2006.01)

G01N 3/18 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В'ЯЗКО-КРИХКОГО ПЕРЕХОДУ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ

1

(21) u201109114

(22) 20.07.2011

(24) 10.01.2012

(46) 10.01.2012, Бюл.№ 1, 2012 р.

(72) СОРОКА КАТЕРИНА ФЕОДОСІЇВНА

(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ.  
Г.В.КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НА-  
УК УКРАЇНИ

(57) Спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг,

2

визначення основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності, який **відрізняється** тим, що випробування зразків на одновісний розтяг здійснюють при температурі 293К, знаходять температурну залежність міцності пластичного металу при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%$ , після чого будують температурну залежність характеристики механічної стабільності та визначають на ній критичну температуру в'язко-крихкого переходу гладких зразків за умови, що механічна стабільність дорівнює одиниці.

Корисна модель належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних або динамічних навантажень, а саме, до визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків конструкційних сталей.

Відомий спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу  $T_c$  зразків з надрізами типу Шарпі, що випробовувались на триточковий згин шляхом прикладання динамічних навантажень в інтервалі температур від 185К до 118К, за критерієм фіксованого значення ударної в'язкості  $KCV=5$  Дж/см<sup>2</sup> [1].

Недоліком даного способу є відсутність зв'язку критичної температури в'язко-крихкого переходу зразків з надрізами типу Шарпі  $T_c$ , з критичною температурою в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  при температурі випробувань 293К.

Відомий також спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу  $T_c$  зразків з кільцевими надрізами, при якому спочатку визначають характеристику крихкої міцності  $R_{MC}$  по величині середнього номінального напруження руйнування  $\sigma_{NF}$  при значенні залишкової деформації в місці розриву  $\psi=2\%$  за результатами випробувань в діапазоні температур від 293К до 77К, а температуру в'язко-крихкого переходу  $T_c$  визна-

чають відповідно до виконання умови  $\psi=2\%$  на температурній шкалі [2].

Однак, такий спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу  $T_c$  також має наступні недоліки: а) складність, тривалість в часі та вартість виготовлення дослідних зразків з кільцевими надрізами; б) неможливість визначення характеристики крихкої міцності  $R_{MC}$  конструкційних сталей з високим рівнем пластичності при кімнатній температурі випробувань 293К.

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  конструкційних сталей, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 77К до 293К та визначають характеристику крихкої міцності  $R_{MC}$  при значенні залишкової деформації в місці розриву  $\psi=2\%$  та характеристику механічної стабільності  $K_{ms}$  за відомою формулою:

$$K_{ms} = \frac{R_{MC}}{\sigma_2},$$

(19) UA (11) 66722 (13) U

де  $\sigma_2$  - міцність пластичного металу при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%$ ; після чого визначають критичну температуру в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  за умови  $R_{MC}=\sigma_2$ , тобто  $K_{ms}=1$  [3].

Разом з тим, спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  конструкційних сталей шляхом визначення характеристики крихкої міцності  $R_{MC}$  при значенні залишкової деформації в місці розриву  $\psi=2\%$  та характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$ , яка при  $T_0$  має значення  $K_{ms}=1$ , за прототипом має наступні недоліки: а) недостатня точність визначення характеристик крихкої міцності  $R_{MC}$ , яка для більшості конструкційних сталей визначається шляхом графічної або математичної екстраполяції в область температур, нижчих 77K; б) необхідність проведення випробувань великої кількості зразків при температурах в інтервалі від 77K до 293K.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  конструкційних сталей за допомогою випробувань на одинісний розтяг при кімнатній температурі 293K шляхом побудови температурної залежності міцності пластичного металу при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%-\sigma_2^{T_i}$  у відповідності до температурної залежності умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}^{T_i}$ , подальшої побудови температурної залежності характеристики механічної стабільності  $K_{ms}^{T_i}$  та визначення на ній критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  за умови  $K_{ms}=1$ .

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одинісний розтяг, визначення основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності, згідно з корисною моделлю, випробування зразків на одинісний розтяг здійснюють при температурі 293K, знаходять температурну залежність міцності пластичного металу при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%$ , після чого будують температурну залежність характеристики механічної стабільності та визначають на ній критичну температуру в'язко-крихкого переходу гладких зразків за умови, що механічна стабільність дорівнює одиниці.

За рахунок визначення автором температурної залежності міцності пластичного металу  $\sigma_2^{T_i}$  при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%$  у відповідності до температурної залежності умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}^{T_i}$  запропонований спосіб дозволяє

побудувати температурну залежність характеристики механічної стабільності  $K_{ms}^{T_i}$  та визначити на ній критичну температуру в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  конструкційної сталі за умови, що механічна стабільність  $K_{ms}=1$  з більш високою і достатньою для інженерних розрахунків точністю. При цьому використовують експериментальні значення основних механічних характеристик металу, а саме:  $\psi_K$  - відносного звуження після руйнування зразка; умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}$ ; міцності пластичного металу при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%-\sigma_2$  та розраховують характеристику крихкої міцності  $R_{MC}$  за відомою формулою. Інформація про значення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0$  є важливою при виборі конструкційних сталей середньої та високої міцності для створення особливо відповідальних конструкцій з гарантованим подовженим терміном експлуатаційної надійності.

Корисна модель пояснюється таблицею та графіками, а саме:

в таблиці наведені результати визначення критичних температур в'язко-крихкого переходу гладких зразків різних конструкційних сталей і сплавів: експериментальним шляхом  $T_0^{\text{експ}}$  та графічним шляхом, запропонованим за даним способом -  $T_0^{\text{гр}}$ ; абсолютні відхилення  $\Delta$  значень

$T_0^{\text{гр}}$  від  $T_0^{\text{експ}}$  та середня квадратична похибка  $\nu$  при застосуванні запропонованого способу;

на фіг. 1 зображена залежність  $\sigma_2^{T_i}/\sigma_2^{293}-\sigma_{0,2}^{T_i}/\sigma_{0,2}^{293}$ , де  $\sigma_2^{T_i}$  і  $\sigma_{0,2}^{T_i}$  - міцність пластичного металу при критичному ступені деформації  $\epsilon=2\%$  і умовна границя текучості при критичній температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка конструкційної сталі  $T_0$  відповідно;

$\sigma_2^{293}$  і  $\sigma_{0,2}^{293}$  - ті ж самі характеристики при кімнатній температурі випробувань  $T_{\text{вип.}}=293\text{K}$ ;

на фіг. 2 зображений спосіб визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0^{\text{гр}}$  конструкційної сталі на температурній залежності характеристики механічної стабільності  $K_{ms}^{T_i}$  при умові  $K_{ms}^{T_i}=1$ .

Запропонований спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови залежності  $\sigma_2^{T_i}/\sigma_2^{293}-\sigma_{0,2}^{T_i}/\sigma_{0,2}^{293}$  матеріали для досліджень добирали за принципом широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності конструкційних сталей, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від

$\sigma_{0,2}=300$  МПа до  $\sigma_{0,2}=1200$  МПа, а діапазон характеристик пластичності складав  $80,0\% \leq \psi_K \leq 10,0\%$ . Крім цього, як об'єкти досліджень використовували зварні шви, виконані із застосуванням різних технологій зварювання, спеціальні конструкційні сталі, що використовуються в ядерній енергетиці, а також конструкційні сталі, що використовуються в криогенній техніці. У деяких випадках змінювали також і режими термічної обробки сталей та температури випробувань в діапазоні  $77K \leq T_{\text{вип.}} \leq 293K$ . Всього в цих дослідженнях використовували результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш ніж 50-ти видів сталей та сплавів.

Проводять випробування на розтяг вздовж однієї вісі стандартних гладких циліндричних зразків та визначають основні механічні характеристики при різних температурах випробувань в інтервалі  $77K \leq T_{\text{вип.}} \leq 293K$ , такі як:  $\psi_K$  - відносне звуження після руйнування зразка;  $\sigma_{0,2}$  - умовна границя текучості;  $\sigma_2$  - міцність пластичного металу при критичному ступені деформації  $e=2\%$ ;  $n$  - показник деформаційного зміцнення. Характеристику крихкої міцності  $R_{MC}$  розраховують за відомою формулою.

Визначення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків конструкційних сталей  $T_0$  здійснюють наступним чином:

- характеристики крихкої міцності розраховують за результатами випробувань гладких циліндричних зразків при  $T_{\text{вип.}}=293K$  згідно з відомою формулою [4]:

$$R_{MC} = \sigma_{0,2} \cdot 10^m,$$

$$m = \left( 1 + \frac{a \cdot \lg \psi_K - b}{c - \lg \psi_K} \right) \cdot n,$$

де  $a=0,164$ ;  $b=0,15$ ;  $c=1,95$ .

- температурну залежність характеристики механічної стабільності  $K_{ms}^{T_i}$  будують за відомою формулою [3]:

$$K_{ms}^{T_i} = \frac{R_{MC}}{\sigma_2^{T_i}},$$

де температурну залежність міцності пластичного металу при критичному ступені деформації

$e=2\%$   $\sigma_2^{T_i}$  визначають згідно з отриманою залежністю (фіг. 1):

$$\sigma_2^{T_i} = \sigma_2^{293} \cdot \left( A + B \cdot \frac{\sigma_{0,2}^{T_i}}{\sigma_{0,2}^{293}} \right),$$

де  $A=0,3826$ ;  $B=0,6735$ ,

у відповідності до температурної залежності міцності  $\sigma_{0,2}^{T_i}$ , яку розраховують, використовуючи відому формулу [5]:

$$\sigma_{0,2}^{T_i} = \sigma_{0,2}^{293} + a \cdot \exp(b \cdot T_i) - c,$$

де  $a=1033$ ;  $b=-0,0102$ ;  $c=49,6$ .

- критичну температуру в'язко-крихкого переходу гладких зразків  $T_0^{Gr}$  конструкційної сталі визначають на температурній залежності характеристики механічної стабільності  $K_{ms}^{T_i}$  при умові  $K_{ms}^{T_i} = 1$  (фіг. 2).

Запропонований спосіб дає можливість визначати критичну температуру в'язко-крихкого переходу  $T_0$  гладких зразків конструкційних сталей з точністю, при якій середня квадратична похибка  $v=9,5K$  (див. таблицю), що цілком достатньо для інженерних розрахунків.

Джерела інформації:

1. И.К. Походня, В.И. Швачко, А.В. Шиян, Ю.Я. Мешков, С.А. Котречко, Г.С. Меттус О природе хрупкого разрушения конструкционных сталей и их сварных соединений при испытаниях на ударный изгиб // Автоматическая сварка, 1988. - № 5. - С. 1-4.
2. Патент України на корисну модель № 49501, МПК G01N 3/08, 2009.
3. С.А. Котречко, Ю.Я. Мешков, А.В. Шиян Механическая стабильность - универсальная мера сопротивления переходу в хрупкое состояние металла // Успехи физики металлов. - 2009. - Т. 10, № 2. - С. 210-217.
4. Ю.Я. Мешков, С.А. Котречко, А.В. Шиян, Н.Н. Стеценко Физические основы методики определения хрупкой прочности и механической стабильности сплавов на основе железа при комнатной температуре // Металлофизика и новейшие технологии, 2011. - Т. 33, № 4. - С 1001-1017.
5. Zerilli F.J. and Armstrong R.W. Dislocation mechanics-based constitutive relations for materials dynamics calculations // J. Appl. Phys. 1987, vol. 65, N 5, p. 1816-1825.

Таблиця 1

Сталі і сплави	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$T_0^{\text{експ}}$ , К	$T_0^{\text{гр.}}$ , К	$\Delta$ , К
15ГБ <sup>1</sup>	383	49	45	-4
12СГАФ	360	138	128	-10
09Г2	378	145	135	-10
15ГБ	368	154	146	-8
15Х2МФА	1100	97	102	+5
20Х	1150	117	105	-12
v, К				9,5

Примітка:

1. Електронагрів 1173К.

