



УКРАЇНА

(19) UA (11) 65846 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01N 3/08 (2006.01)
G01N 3/18 (2006.01)
G01N 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ХАРАКТЕРИСТИК КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ

1

(21) u201109685
(22) 03.08.2011
(24) 12.12.2011
(46) 12.12.2011, Бюл.№ 23, 2011 р.
(72) ШИЯН АРТУР ВІТАЛІЙОВИЧ
(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(57) Спосіб визначення оптимальних значень характеристик крихкого руйнування конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 4 К до 293 К, визначення основних механічних характеристик металу, характеристик крихкої міцності, механічної стабільності та оптимальної механічної стабільно-

2

сті, який відрізняється тим, що визначають приведені значення механічної стабільності за величиною міцності при температурі в'язко-крихкого переходу, будують температурну залежність міцності сплаву при пластичній деформації 2 %, після чого визначають рівень оптимальної крихкої міцності конструкційної сталі за величинами міцності сплаву при пластичній деформації 2 % та приведеного значення механічної стабільності в точці в'язко-крихкого переходу, далі визначають оптимальне значення температури в'язко-крихкого переходу гладкого зразка в точці перетину температурної залежності оптимального значення міцності сплаву при пластичній деформації 2 % з рівнем оптимальної крихкої міцності.

Корисна модель належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних або динамічних навантажень, а саме, до визначення оптимальних значень характеристик крихкого руйнування гладких зразків конструкційних сталей в інтервалі температур випробувань від 77К до 293К.

Відомий спосіб визначення рівня характеристики крихкого руйнування, а саме, крихкої міцності конструкційних сталей при одновісному розтягу та за допомогою локального опору відриву в області дії концентраторів напружень з кінцевим радіусом [1].

Недоліком даного способу є низька точність та інформативність, оскільки в ньому не враховано зв'язок характеристики крихкої міцності з параметрами структури металу та не визначена її фізична природа.

Відомий також спосіб визначення характеристики крихкого руйнування - крихкої міцності R_{mc} конструкційних сталей шляхом розтягування гладких циліндричних зразків при температурах, близьких до температури киплячого азоту (77К), коли зразок втрачає пластичність до критичного рівня деформації в місці розриву за показником віднос-

ного звуження $\psi_k=2\%$ при руйнуванні зразка. Такому рівню пластичності відповідає мінімальне напруження в зоні крихкого руйнування, яке називається опором мікросколу R_{mc} або крихкою міцністю. У випадках, коли при температурах випробування значення ψ_k перевищує критичну величину 2 %, використовують отримані при таких випробуваннях значення дійсного напруження в шийці S_k . При цьому рівень крихкої міцності R_{mc} визначають шляхом екстраполяції поточних значень напруження в шийці S_k на значення, відповідне критичній пластичності $\psi_k=2\%$.

Рівень напруження в шийці S_k при цій деформації приймають рівним величині крихкої міцності R_{mc} [2].

Недоліком даного способу є наступне: значення крихкої міцності R_{mc} для сплавів з високим рівнем пластичності визначають за показником відносного звуження ψ_k при руйнуванні зразка при температурах близьких до 77К та залишковою пластичною деформацією значно вище 2 %, а це робить метод екстраполяції та інші подібні методи математичних розрахунків для гладких зразків неефективними, тому що вони несуть в собі значні похибки.

(19) UA (11) 65846 (13) U

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення оптимального значення однієї з характеристик крихкого руйнування, а саме оптимальної механічної стабільності конструкційної сталі K_{ms}^{opt} , при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 4К до 293К, визначення основних механічних характеристик сплаву та характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою узагальненої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність", яка обмежена кривою оптимізації, що характеризує оптимальні сполучення властивостей пластичності ψ_k , міцності σ_{02} і механічної стабільності K_{ms} [3].

Разом з тим, спосіб визначення оптимального значення тільки характеристики механічної стабільності K_{ms}^{opt} конструкційної сталі шляхом побудови узагальненої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" та кривої оптимізації за прототипом має наступний суттєвий недолік - неможливість прямого визначення оптимальних значень таких характеристик крихкого руйнування, як крихка міцність та критична температура в'язко-крихкого переходу, що робить цей спосіб недостатньо інформативним.

В основу корисної моделі покладено задачу вдосконалення способу визначення оптимальних значень характеристик крихкого руйнування конструкційної сталі шляхом введення приведенного значення механічної стабільності K_{ms}^{np} , яке характеризує ступінь перевищення величини оптимальної крихкої міцності R_{MC}^{opt} над величиною крихкої міцності вибраного металу R_{MC} при критичній температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка T_{BK} . Таким чином, величину K_{ms}^{np} розраховують за відомою формулою як оптимальну механічну стабільність сплаву при відповідному значенні міцності σ_{02} в точці T_{BK} . Для визначення міцності сплаву σ_2 при пластичній деформації $\epsilon=2\%$ в точці T_{BK} будують температурну залежність $\sigma_2(T_i)$ у відповідності до температурної залежності умовної границі текучості $\sigma_2(T_i)$. Після цього визначають величину оптимальної крихкої міцності конструкційної сталі R_{MC}^{opt} за величинами $\sigma_2(T_{BK})$ та K_{ms}^{np} при температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка T_{BK} . Далі визначають оптимальне значення міцності сплаву σ_2^{opt} при пластичній деформації $\epsilon=2\%$ для кімнатної температури випробувань 293К за відомою формулою:

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

та будують температурну залежність цієї характеристики до перетину з рівнем оптимальної крихкої міцності R_{MC}^{opt} . Точка перетину температурної

залежності $\sigma_2^{opt}(T_i)$ з рівнем R_{MC}^{opt} дає оптимальне значення критичної температури в'язкокрихкого переходу гладкого зразка конструкційної сталі T_{BK}^{opt} .

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення оптимальних значень характеристик крихкого руйнування конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 4К до 293К, визначення основних механічних характеристик металу, характеристик крихкої міцності, механічної стабільності та оптимальної механічної стабільності, згідно з корисною моделлю визначають приведені значення механічної стабільності за величиною міцності при температурі в'язко-крихкого переходу, будують температурну залежність міцності сплаву при пластичній деформації 2 %, після чого визначають рівень оптимальної крихкої міцності конструкційної сталі за величинами міцності сплаву при пластичній деформації 2 % та приведенного значення механічної стабільності в точці в'язко-крихкого переходу, далі визначають оптимальне значення температури в'язко-крихкого переходу гладкого зразка в точці перетину температурної залежності оптимального значення міцності сплаву при пластичній деформації 2 % з рівнем оптимальної крихкої міцності.

За рахунок визначення введенного автором приведенного значення механічної стабільності K_{ms}^{np} запропонований спосіб дозволяє отримати повну інформацію про значення характеристик крихкого руйнування конструкційної сталі шляхом визначення не тільки оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} , але й оптимальних значень крихкої міцності R_{MC}^{opt} та критичної температури в'язко-крихкого переходу гладких зразків T_{BK}^{opt} . При цьому використовують експериментальні значення основних механічних характеристик сплаву, а саме: умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$; міцності сплаву σ_2 при пластичній деформації 2 %; відносного звуження після руйнування зразка ψ_k ; характеристики механічної стабільності гладкого зразка K_{ms} ; показника деформаційного зміцнення n . Після цього визначають приведені значення механічної стабільності K_{ms}^{np} , яке характеризує механічну стабільність сплаву оптимальної (найвищої) якості по відношенню до механічної стабільності вибраного сплаву з тим же показником міцності $\sigma_{0,2}$ в точці в'язко-крихкого переходу гладких зразків T_{BK} , тобто ступінь перевищення величини оптимальної крихкої міцності R_{MC}^{opt} над величиною крихкої міцності вибраного металу R_{MC} при критичній температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка T_{BK} . Далі будують температурну залежність міцності сплаву $\sigma_2(T_i)$ при пластичній деформації 2 % у відповідності до температурної залежності умовної границі текучості $\sigma_{0,2}(T_i)$, беручи за основу отриману за-

лежність $\sigma_2(T_{BK}) / \sigma_2(293) - \sigma_{0.2}(T_{BK}) / \sigma_{0.2}(293)$. Згідно

температурної залежності $\sigma_2(T_i)$ визначають рівень оптимальної крихкої міцності конструкційної сталі R_{MC}^{OPT} за величинами $\sigma_2(T_{BK})$ та K_{ms}^{pr} в точці критичної температури в'язко-крихкого переходу гладкого зразка T_{BK} . На завершення визначають оптимальне значення міцності сплаву σ_2^{OPT} при пластичній деформації 2 % при кімнатній температурі 293K та будують температурну залежність цієї характеристики до перетину з рівнем оптимальної крихкої міцності R_{MC}^{OPT} . Точка перетину температурної залежності $\sigma_2^{OPT}(T_i)$ з рівнем R_{MC}^{OPT} визначає оптимальне значення критичної температури в'яз-

ко-крихкого переходу гладкого зразка конструкційної сталі T_{BK}^{OPT} .

Корисна модель пояснюється графіками і таблицею, а саме:

в таблиці 1 наведені результати визначення основних механічних характеристик $\sigma_{0.2}$, σ_2 ; характеристик крихкого руйнування R_{MC} , K_{ms} , T_{BK} , приведенного значення механічної стабільності K_{ms}^{pr} та оптимальних значень характеристик крихкого руйнування R_{MC}^{OPT} , K_{ms}^{pr} і T_{BK}^{OPT} для деяких з досліджених конструкційних сталей (дані наведені по мірі підвищення міцності $\sigma_{0.2}$).

Таблиця 1

Сталі і сплави	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_2 , МПа	R_{MC} , МПа	K_{ms}	T_{BK} , К	K_{ms}^{pr}	R_{MC}^{OPT} , МПа	K_{ms}^{OPT}	T_{BK}^{OPT} , К
X75 (3Ш)	361	591	866	1,465	61	1,865	1615	2,068	-22*
15ГБ	368	519	675	1,301	85	1,955	1320	2,063	3
09Г2	378	527	711	1,349	80	1,917	1363	2,055	0
40Х	460	741	1054	1,422	68	1,778	1874	1,988	-33*
10ГН2МФА	480	631	925	1,466	72	1,729	1599	1,972	-12*
20ХГС2	540	773	1000	1,294	69	1,761	1761	1,922	-20*
15×2НМФА	760	914	1384	1,514	42	1,368	1893	1,739	-13*
35ХМФА	770	952	1086	1,141	80	1,655	1797	1,731	-4*
АК-35	1027	1207	1687	1,398	37	1,225	2067	1,531	-5*
15×2МФА	1100	1257	1480	1,177	86	1,354	2004	1,480	8
20Х	1150	1270	1356	1,068	63	1,434	1944	1,446	20
40С2Х	1560	2066	2454	1,188	9	1,113	2731	1,222	-16*

Примітка:

* - умовні значення

На Фіг.1 зображені температурні залежності характеристик $\sigma_{0.2}$, σ_2 , σ_2^{OPT} реакторної сталі 15 × 2НМФА та схема способу визначення приведенного значення механічної стабільності K_{ms}^{pr} і оптимальних значень характеристик крихкого руйнування: R_{MC}^{OPT} , K_{ms}^{OPT} і T_{BK}^{OPT} .

на фіг.2 зображена залежність $\sigma_2(T_{BK}) / \sigma_2(293) - \sigma_{0.2}(T_{BK}) / \sigma_{0.2}(293)$, де $\sigma_{0.2}(T_{BK})$ і $\sigma_{0.2}(T_{BK})$ - міцність сплаву при пластичній деформації $\epsilon=2\%$ і умовна границя текучості при критичній температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка конструкційної сталі T_{BK} відповідно; $\sigma_2(293)$ і $\sigma_{0.2}(293)$ - ті ж самі характеристики при кімнатній температурі випробувань $T_{вип.}=293K$.

Запропонований спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови залежності $\sigma_2(T_{BK}) / \sigma_2(293) - \sigma_{0.2}(T_{BK}) / \sigma_{0.2}(293)$ 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 $\sigma_{0.2}=2000$ МПа, а діапазон характеристик пластичності складав $80.0\% \leq \psi_K \leq 10.0\%$.

Крім цього, в якості об'єктів 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 $77K \leq T_{вип.} \leq 293K$. 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 осі стандартних гладких циліндричних зразків та визначають основні механічні характеристики при різних температурах випробувань в інтервалі $77K \leq T_{вип.} \leq 293K$, такі як: ψ_K – відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0.2}$ - умовна границя текучості; σ_2 - міцність сплаву при пластичній де-

формації 2 %; n - показник деформаційного зміцнення. Характеристики крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} визначають експериментальним шляхом або розраховують за відомими залежностями при $T_{вип}=293K$, після чого визначають величину оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} при заданій міцності $\sigma_{0,2}$.

Визначення оптимальних значень характеристик крихкого руйнування конструкційної сталі проводять наступним чином:

- значення характеристики механічної стабільності K_{ms} при $T_{вип}$ 293K визначають експериментальним шляхом за відомою залежністю [3]:

$$K_{ms} = \frac{R_{MC}}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n},$$

або розраховують за відомою формулою [4]:

$$K_{ms} = 10^p,$$

$$p = \frac{a \cdot \lg \Psi_K - b}{c - \lg \Psi_K} \cdot n$$

де: $a=0.164$; $b=0.15$; $c=1.95$.

- визначають приведені значення механічної стабільності $K_{ms}^{пр}$ (фіг. 1) як оптимальну механічну стабільність при величині міцності $\sigma_{0,2}$ при температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка T_{BK} за відомою формулою [3]:

$$K_{ms}^{пр} = 1 - \frac{a \cdot \Psi_K^{пр} + b}{\Psi_K^{пр} - c},$$

де: $a=0,086$; $b=1,310$; $c=89,478$;

$$\Psi_K^{пр} = a - \frac{b}{(1 + c \cdot \sigma_{0,2})^d},$$

де: $a=84,52$; $b=1,42$; $c=0,0001$ [1/МПа]; $d=-19,58$,

для цього будують температурну залежність міцності $\sigma_{0,2}(T_i)$, використовуючи відому формулу [5]:

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

де $a=1033$; $b=-0,0102$; $c=49,6$

та температурну залежність міцності сплаву $\sigma_2(T_i)$ при пластичній деформації 2 % згідно отриманої залежності (фіг. 2) при умові $T_{BK}=T$; за формулою:

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

де температурну залежність $\sigma_2(T_i)$ розраховують згідно формули (2); $A=0,3826$; $B=0,6735$.

- визначають оптимальну крихку міцність конструкційної сталі R_{MC}^{opt} за величинами $\sigma_2(T_{BK})$ та $K_{ms}^{пр}$ при критичній температурі в'язко-крихкого переходу гладкого зразка T_{BK} , як ступінь перевищення величини оптимальної крихкої міцності R_{MC}^{opt} над величиною крихкої міцності вибраного сплаву R_{MC} (фіг. 1) за формулою:

$$R_{MC}^{opt} = K_{ms}^{пр} \cdot R_{MC}$$

- значення оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} (293) при величині міцності $\sigma_{0,2}$ при температурі $T_{вип}=293K$ розраховують за формулою (1), замінюючи $K_{ms}^{пр}$ на K_{ms}^{opt} та $\Psi_K^{пр}$ на Ψ_K^{opt} , а температурну залежність $K_{ms}^{opt}(T_i)$ будують, підставляючи формулу (2) у вираз (1).

- після цього визначають оптимальне значення міцності сплаву σ_2 (293) при пластичній деформації $\epsilon=2$ % при кімнатній температурі випробувань 293K через оптимальну крихку міцність конструкційної сталі R_{MC}^{opt} , визначену за формулою (4), використовуючи відому залежність [3]:

$$\sigma_2^{opt}(293) = \frac{R_{MC}^{opt}}{K_{ms}^{opt}(293)}$$

та будують температурну залежність цієї характеристики $\sigma_2^{opt}(T_i)$ до перетину з рівнем оптимальної крихкої міцності R_{MC}^{opt} , використовуючи формулу (3).

- точка перетину температурної залежності $\sigma_2^{opt}(T_i)$ з рівнем R_{MC}^{opt} визначає оптимальне значення критичної температури в'язко-крихкого переходу гладкого зразка конструкційної сталі T_{BK}^{opt} .

Таким чином, запропонований спосіб дає можливість прямого визначення оптимальних значень усіх характеристик крихкого руйнування – крихкої міцності, механічної стабільності та критичної температури в'язко-крихкого переходу, тобто є повністю інформативним щодо оцінки властивості опірності крихкості даної конструкційної сталі в певних умовах експлуатації, що є важливим для інженерних та технологічних потреб.

Джерела інформації:

1. Копельман Л.А. Сопротивляемость сварных узлов хрупкому разрушению. - Л.: Машиностроение, 1978. - С.42.
2. Мешков Ю.Я., Пахаренко Г.А. Структура металла и хрупкость стальных изделий. - Киев: Изд-во „Наукова думка“, 1985. - С.82.
3. Науковий твір "Оптимизация свойств пластичности, прочности и механической стабильности сталей и сплавов в виде обобщенной диаграммы", автори: Мешков Ю.Я., Котречко С.О., Шиян А.В., Стеценко Н.М. Свідोцтво про реєстрацію авторського права № 39291 від 22.07.2011 /Україна/. Опубл. бюл. № 25, С. 3, 6, 11-14.
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.

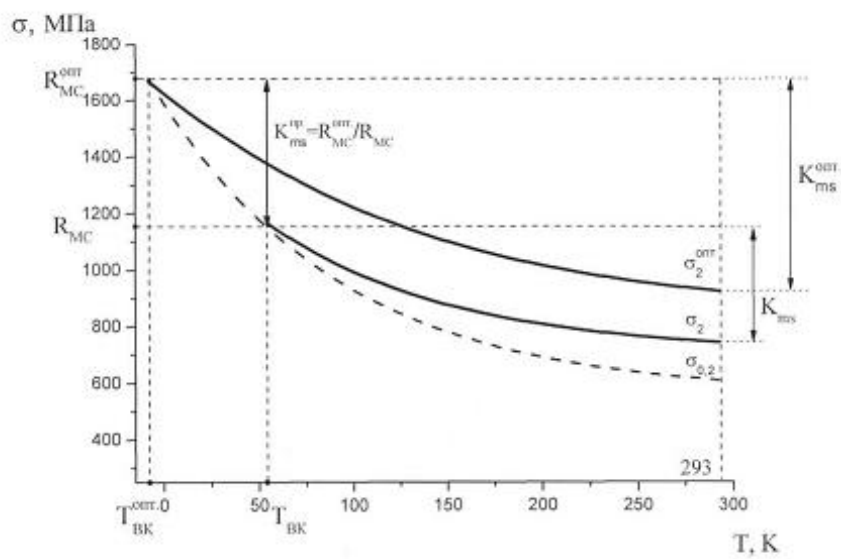


Fig. 1

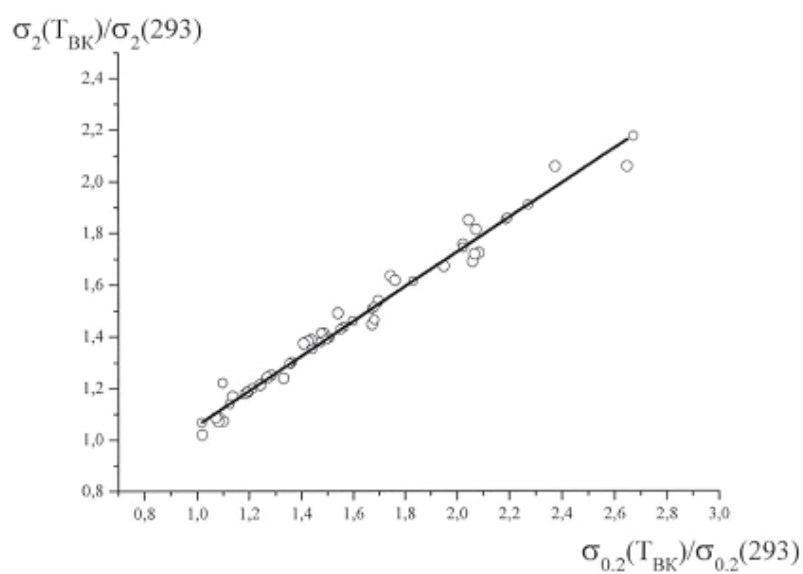


Fig. 2