



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62166 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
G01N 3/00  
G01N 3/08 (2006.01)  
G01N 3/18 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ПРИ ЗАДА- НИЙ МЕХАНІЧНІЙ СТАБІЛЬНОСТІ

1

(21) u201102398  
(22) 28.02.2011  
(24) 10.08.2011  
(46) 10.08.2011, Бюл.№ 15, 2011 р.  
(72) ШИЯН АРТУР ВІТАЛІЙОВИЧ  
(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮ-  
МОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ  
(57) Спосіб визначення максимальної пластичності  
конструкційних сталей при заданій механічній ста-  
більності, при якому проводять випробування ста-  
ндартних гладких циліндричних зразків на одно-  
вісний розтяг при різних температурах, визначення  
при цьому основних механічних характеристик  
металу та характеристики механічної стабільності  
 $K_{ms}$  з наступною побудовою залежностей пластич-  
ності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при заданій механічній  
стабільності  $K_{ms}$ , після чого визначають максима-

2

льне значення пластичності  $\Psi_K^{max.}$  при заданій  
механічній стабільності  $K_{ms}$ , який відрізняється  
тим, що випробування гладких циліндричних зраз-  
ків на одновісний розтяг здійснюють в температу-  
рному інтервалі від  $-269^\circ\text{C}$  до  $+350^\circ\text{C}$ , залежність  
пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при заданій ме-  
ханічній стабільності  $K_{ms}$  будують безпосередньо  
шляхом обробки експериментальних даних в кіль-  
кості, достатній для охоплення діапазону змін ме-  
ханічної стабільності в межах  $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$ , а ви-  
значення максимального значення пластичності  
 $\Psi_K^{max.}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$   
здійснюють за формулою:

$$\Psi_K^{max.} = \frac{a \cdot (K_{ms} - 1) + b}{K_{ms} - c},$$

де:  $a=85,485$ ;  $b=2,808$ ;  $c=0,879$ .

Корисна модель належить до галузі досліджу-  
вання пластичності твердих матеріалів, а саме, до  
визначення максимальної пластичності конст-  
рукційних сталей при заданій механічній стабільності,  
величина якої є важливою при виборі конст-  
рукційних сталей середньої та високої міцності для  
створення особливо відповідальних конструкцій з  
гарантованим подовженням строком експлуатацій-  
ної надійності.

Відомий спосіб визначення взаємозалежності  
характеристики пластичності  $\Psi_K$  (значення віднос-  
ного звуження після руйнування зразка при одно-  
вісному розтягу) і характеристики механічної ста-  
більності  $K_{ms}$  з використанням показника  
деформаційного зміцнення  $n$  [1].

Недоліком даного способу є відсутність зв'язку  
характеристики максимальної пластичності  $\Psi_K^{max.}$   
з характеристикою механічної стабільності  $K_{ms}$ .

Найбільш близьким за технічною суттю та ре-  
зультатом, що досягається, до способу, що заяв-  
ляється, є спосіб визначення максимальної пла-  
стичності конструкційних сталей при заданій

механічній стабільності, при якому проводять ви-  
пробування стандартних гладких циліндричних  
зразків на одновісний розтяг при температурах в  
інтервалі від  $-196^\circ\text{C}$  до  $+20^\circ\text{C}$ , визначення при  
цьому основних механічних характеристик металу  
та характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$  з  
наступною побудовою залежностей пластичності  
 $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  методом об'єднання двох за-  
лежностей  $\Psi_K$ - $n$  та  $\sigma_{0,2}$  при заданій механічній ста-  
більності  $K_{ms}$ , після чого графічним методом ви-  
значають максимальне значення пластичності  
 $\Psi_K^{max.}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  [2].

Разом з тим, спосіб визначення максимальної  
пластичності конструкційних сталей за заданою  
механічною стабільністю шляхом знаходження  
зв'язку характеристик пластичності  $\Psi_K$  та міцності  
 $\sigma_{0,2}$  з фіксованими значеннями механічної стабіль-  
ності  $K_{ms}$  за найближчим аналогом має наступні  
недоліки: а) недостатня точність кінцевих залеж-  
ностей пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$ , отрима-  
них шляхом об'єднання двох залежностей - плас-

(13) U

(11) 62166

(19) UA

тичності  $\Psi_K$  від показника деформаційного зміцнення  $n$  та міцності  $\sigma_{0,2}$  від показника деформаційного зміцнення  $n$  з фіксованими значеннями механічної стабільності  $K_{ms}$ ; б) відсутність змоги точного визначення максимальної пластичності

$\Psi_K^{max}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  в межах  $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$  у зв'язку з недостатньо широким температурним інтервалом випробувань та недостатньо кількістю експериментальних даних.

В основу корисної моделі покладено задачу вдосконалення способу визначення максимальної пластичності конструкційних сталей при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  шляхом розширення температурного інтервалу випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в межах від  $-269^\circ\text{C}$  до  $+350^\circ\text{C}$  та отримання достатньої кількості експериментальних даних для побудови залежностей  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  і охоплення діапазону змін механічної стабільності в межах  $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$ , що дає змогу більш точно визначити максимальне значення пластичності  $\Psi_K^{max}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  за отриманою формулою.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення максимальної пластичності конструкційних сталей при заданій механічній стабільності, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при різних температурах, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$  з наступною побудовою залежностей пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$ , після чого визначають максимальне значення пластичності

$\Psi_K^{max}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$ , згідно з корисною моделлю, випробування гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг здійснюють в температурному інтервалі від  $-269^\circ\text{C}$  до  $+350^\circ\text{C}$ , залежність пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  будують безпосередньо шляхом обробки експериментальних даних в кількості, достатній для охоплення діапазону змін механічної стабільності в межах  $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$ , а визначення максимального значення пластичності  $\Psi_K^{max}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  здійснюють за формулою:

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

де:  $a = 85,485$ ;  $b = 2,808$ ;  $c = 0,879$ .

Запропонований спосіб дає можливість більш точно визначити максимальне значення пластичності  $\Psi_K^{max}$  при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$  за рахунок розширення температурного інтервалу випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в межах від  $-269^\circ\text{C}$  до  $+350^\circ\text{C}$  та безпосередньо, без використання процедури об'єднання двох залежностей  $\Psi_K$  –  $n$  та  $\sigma_{0,2}$  –  $n$ , побудувати за результатами цих

випробувань залежність максимальної пластичності  $\Psi_K^{max}$  від механічної стабільності  $K_{ms}$ , яка є важливою при виборі конструкційних сталей середньої та високої міцності для створення особливо відповідальних конструкцій з гарантованим подовженим строком експлуатаційної надійності. Межі температурного інтервалу випробувань від  $-269^\circ\text{C}$  до  $+350^\circ\text{C}$  вибрані з міркувань робочих температур експлуатації таких особливо відповідальних конструкцій, як обладнання для криогенної техніки ( $-269^\circ\text{C}$ ) та корпуси атомних реакторів ( $+350^\circ\text{C}$ ). Діапазон змін механічної стабільності в межах  $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$  охоплює реально існуючі межі механічної стабільності для сплавів на основі заліза:  $K_{ms}=1,0$  – це межа крихкого руйнування;  $K_{ms}=2,2$  – це межа повністю в'язкого руйнування.

Корисна модель пояснюється таблицею та графіками, а саме: в таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  в залежності пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при різних рівнях механічної стабільності  $K_{ms}$ . на фіг. 1 зображені ізоїнії "пластичність – міцність – механічна стабільність" для сплавів на основі заліза з низьким рівнем опору переходу в крихкий стан ( $K_{ms} = 1,1-1,4$ ):  $\blacktriangle$  –  $K_{ms}=1,1$ ;  $\blacksquare$  –  $K_{ms}=1,2$ ;  $\blacktriangledown$  –  $K_{ms}=1,3$ ;  $\blacklozenge$  –  $K_{ms}=1,4$ . на фіг. 2 – ізоїнії "пластичність – міцність – механічна стабільність" для сплавів на основі заліза з помірним рівнем опору переходу в крихкий стан ( $K_{ms}=1,5-1,7$ ):  $\bullet$  –  $K_{ms}=1,5$ ;  $\blacktriangledown$  –  $K_{ms}=1,6$ ;  $\blacktriangle$  –  $K_{ms}=1,7$ . на фіг. 3 – ізоїнії "пластичність – міцність – механічна стабільність" для сплавів на основі заліза з високим рівнем опору переходу в крихкий стан ( $K_{ms}=1,8-2,2$ ):  $\bullet$  –  $K_{ms}=1,8$ ;  $\blacktriangle$  –  $K_{ms}=1,9$ ;  $\blacktriangledown$  –  $K_{ms}=2,0$ ;  $\blacklozenge$  –  $K_{ms}=2,2$ .

на фіг. 4 – залежність максимального значення пластичності  $\Psi_K^{max}$  від механічної стабільності  $K_{ms}$  (крива 1); асимптота вздовж вісі  $X$  (2); асимптота вздовж вісі  $Y$  (3).

Спосіб реалізується наступним чином. Матеріали для досліджень добирались за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності конструкційних сталей, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від  $\sigma_{0,2}=166$  МПа до  $\sigma_{0,2}=2060$  МПа, а діапазон характеристик пластичності складав  $81,0\% \leq \Psi_K \leq 10,0\%$ . Крім цього, в якості об'єктів досліджень були використані 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 змінювались також і різні режими термічної обробки сталей. Всього в цих дослідженнях використовувались результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більше ніж 70-ти видів сплавів на основі заліза.

Проводили розтягування повздовж однієї осі стандартних гладких циліндричних зразків та визначали основні механічні характеристики та характеристики крихкого руйнування металу при різних

температурах випробувань в інтервалі від  $-269^{\circ}\text{C}$  до  $+350^{\circ}\text{C}$  такі, як:  $\Psi_K$  - відносне звуження після руйнування зразка;  $\sigma_{0,2}$  - відносна границя текучості;  $R_{MC}$  - крихка міцність;  $K_{ms}$  - механічна стабільність. Коефіцієнти  $a, b, c$  розраховували за результатами обчислення залежностей  $\Psi_K - \sigma_{0,2}$  за умови постійності механічної стабільності  $K_{ms} = \text{const}$  в інтервалі  $1,1 \leq K_{ms} \leq 2,2$  з дискретністю 0,1 за функцією:

$\Psi_K = a + b \cdot \sigma_{0,2} + c \cdot \sigma_{0,2}^2$ , де:  $a, b, c$  - параболічні коефіцієнти, значення яких наведені в таблиці 1.

Залежності пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при постійних значеннях механічної стабільності  $K_{ms}$  представлені на: фіг. 1 - для інтервалу змін механічної стабільності  $K_{ms}=1,1-1,4$ ; фіг. 2 - для інтервалу змін механічної стабільності  $K_{ms}=1,5-1,7$  и фіг. 3 - для інтервалу змін механічної стабільності  $K_{ms}=1,8-2,2$ .

Методика знаходження зв'язку властивостей міцності  $\sigma_{0,2}$  та пластичності  $\Psi_K$  конструкційних сталей з різними рівнями опору переходу в крихкий стан за критерієм постійності механічної стабільності  $K_{ms}$  полягала у наступному:

з всього масиву отриманих експериментальних даних обирали ті матеріали, у яких значення характеристики механічної стабільності лежали близько від визначеної постійної величини з точні-

стю, що не перевищувала  $\pm 2\%$  від величини цього значення;

в координатах пластичність  $\Psi_K$  - міцність  $\sigma_{0,2}$  будували відповідні ізолінії отриманих залежностей, виконуючи умову постійності механічної стабільності  $K_{ms}$  в інтервалі змін значення цієї характеристики від 1,1 до 2,2 з дискретністю 0,1. При цьому був досліджений практично весь реальний діапазон змін механічної стабільності  $K_{ms}$  для конструкційних сталей в пружно-пластичній області навантаження.

Отримана залежність дає можливість підібрати відповідний матеріал для конструкції з макси-

мальним значенням пластичності  $\Psi_K^{\text{макс}}$ , що забезпечує зниження критичної температури в'язкокрихкого переходу при заданій механічній стабільності  $K_{ms}$ .

Джерела інформації:

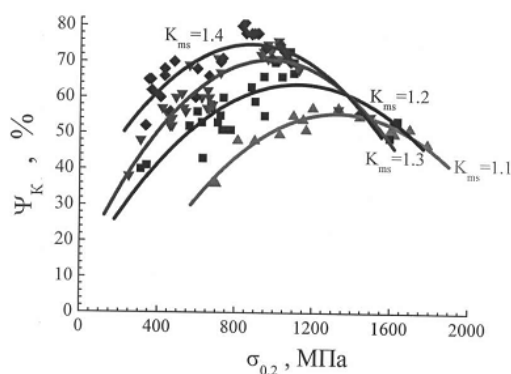
1. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции - Киев: Наук, думка, 2008, С. 239-241.

2. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Новые подходы к оценке комплекса механических свойств конструкционных сталей // Металлофизика и новейшие технологии, 2009, т.31, №3, С. 375-377.

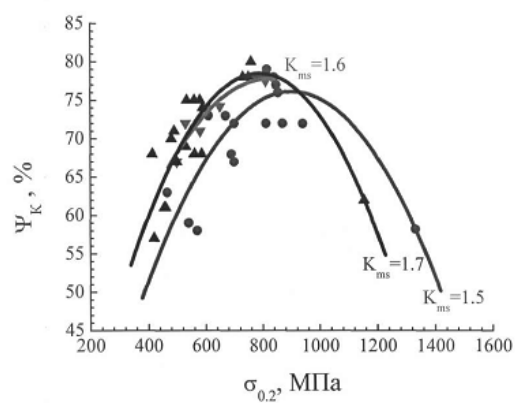
Таблица 1

Значення коефіцієнтів  $a, b, c$  в залежності пластичності  $\Psi_K$  від міцності  $\sigma_{0,2}$  при різних рівнях механічної стабільності  $K_{ms}$

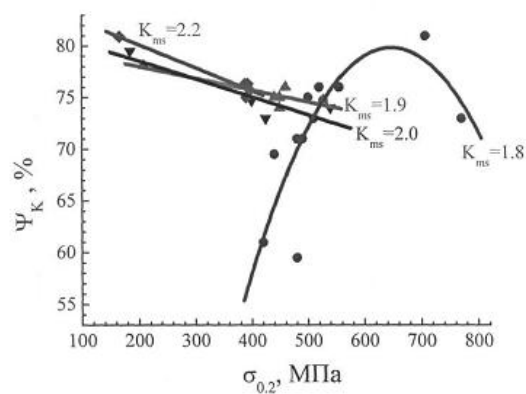
Значення $K_{ms}$	$a$	$b, 1/\text{МПа}$	$c, 1/\text{МПа}^2$
1,1	-22,832	0,118	$-4,432 \cdot 10^{-5}$
1,2	10,216	0,096	$-4,245 \cdot 10^{-5}$
1,3	13,314	0,117	$-5,979 \cdot 10^{-5}$
1,4	30,719	0,100	$-5,685 \cdot 10^{-5}$
1,5	-3,538	0,176	$-9,771 \cdot 10^{-5}$
1,6	15,055	0,153	$-9,286 \cdot 10^{-5}$
1,7	1,708	0,195	$-1,234 \cdot 10^{-4}$
1,8	68,899	0,459	$-3,546 \cdot 10^{-5}$
1,9	80,287	-0,011	0
2,0	82,026	-0,017	0
2,2	84,622	-0,022	0



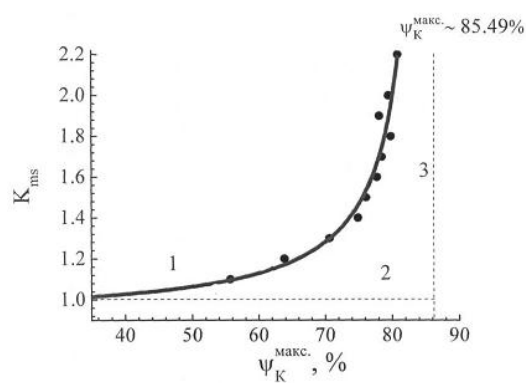
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4