



УКРАЇНА

(19) UA (11) 97594 (13) C2

(51) МПК

G01N 3/18 (2006.01)

G01N 3/28 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ КЛАСИФІКАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ПО МІЦНОСТІ

1

(21) а201015576

(22) 23.12.2010

(24) 27.02.2012

(46) 27.02.2012, Бюл.№ 4, 2012 р.

(72) СТЕЦЕНКО НАТАЛІЯ МИКОЛАЇВНА

(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮ-
МОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) UA 49501 U; 26.04.2010

Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная проч-
ность. Кристаллы, металлы, конструкции. - К.: На-
укова думка, 2008. - С. 250-254Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физичес-
кие основы экспресс-метода для определения
хрупкой прочности конструкционных сталей // Ме-
таллофизика и новейшие технологии, 2010, т. 32,
№ 8. - С. 1133-1136(57) Спосіб класифікації конструкційних сталей по
міцності $\sigma_{0,2}$, при якому проводять розтягування
стандартного гладкого циліндричного зразка по-
вздож однієї осі при різних температурах в інтер-
валі від -269°C до $+20^{\circ}\text{C}$, який **відрізняється**
тим, що визначають механічні характеристики ме-
талу зразка та будують залежність пластичності
 ψ_K від міцності $\sigma_{0,2}$ за умови постійності меха-

2

нічної стабільності $K_{ms} = \text{const.}$ для різних рівнів
дефектостійкості металу в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq$
2,2, згідно з формулою:

$$\psi_K = a + b \cdot \sigma_{0,2} + c \cdot \sigma_{0,2}^2,$$

де ψ_K - відносне звуження після руйнування зра-
зка, $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості,a, b, c - коефіцієнти, що залежать від рівня механі-
чної стабільності K_{ms} ,після чого визначають максимальні значення пла-
стичності $\psi_K^{\text{макс}}$ на цих залежностях та будуютьзалежності $\psi_K^{\text{макс}} - \sigma_{0,2}$, за якими проводять кла-сифікацію конструкційних сталей по міцності $\sigma_{0,2}$

за критерієм швидкості зменшення пластичності

 $\psi_K^{\text{макс}}$ металу в залежності від підвищення йогоміцності $\sigma_{0,2}$ при фіксованих рівнях механічної
стабільності K_{ms} .

Винахід належить до галузі досліджування по
міцності твердих матеріалів, а саме, до класифіка-
ції конструкційних сталей по міцності з урахуван-
ням зв'язку характеристик міцності, пластичності
та механічної стабільності конструкційних сталей
за результатами випробувань на одновісний роз-
тяг.

Відомий спосіб класифікації конструкційних
сталей за структурою, якістю, станом та призна-
ченням, при якому проводять розподіл сталей за
класами та групами з наступним відповідним їх
підбором для конкретних конструкцій [1].

Недоліком даного способу є відсутність кла-
сифікації конструкційних сталей за показником
міцності, що визначається при випробуваннях на
одновісний розтяг і є важливим при виборі необ-
хідного металу для конструкції.

Відомий також спосіб класифікації констру-
кційних сталей за категоріями, які визначаються по
діапазонам змін характеристики міцності $\sigma_{0,2}$ та
показника деформаційного зміцнення n, отрима-
них за результатами випробувань на одновісний
розтяг [2].

Цей спосіб класифікації конструкційних сталей
має наступні недоліки: а) необхідність ранжування
конструкційних сталей за показниками $\sigma_{0,2}$ та n,
що призводить до недостатньої точності способу;
б) наявність великої кількості "категорій" при ран-
жуванні.

Найбільш близьким за технічною суттю та ре-
зультатом, що досягається, до способу, що заяв-
ляється, є спосіб класифікації конструкційних ста-

(13) C2

(11) 97594

(19) UA

лей за показником міцності $\sigma_{0,2}$ шляхом побудови його залежності від характеристики механічної стабільності K_{ms} , які отримані за результатами розтягу гладких циліндричних зразків повздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від -269 °C до +20 °C [3].

Разом з тим, спосіб класифікації конструкційних сталей по міцності $\sigma_{0,2}$ за прототипом має наступні недоліки: а) умовний характер визначення класів сталей по їх міцності, що не має фізичного обґрунтування і призводить до недостатньої інформативності та точності цього способу; б) класифікація за цим способом не враховує зміну поведінки пластичних якостей сталей, що відносяться до різних класів, при зміні їх міцності.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу класифікації конструкційних сталей по їх міцності $\sigma_{0,2}$ шляхом знаходження критерію класифікації конструкційних сталей по міцності $\sigma_{0,2}$, визначення границі між класами та отримання залежностей, що дозволяють оцінювати поточне максимальне значення характеристики пластичності ψ_K^{\max} по заданому значенню $\sigma_{0,2}$ для кожного класу матеріалів, використовуючи при цьому результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі класифікації конструкційних сталей по міцності $\sigma_{0,2}$, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від -269 °C до +20 °C, згідно з винаходом, визначають залежність пластичності ψ_K від міцності $\sigma_{0,2}$ за умови постійності характеристики механічної стабільності $K_{ms} = \text{const.}$ для різних рівнів дефектостійкості металу в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$ згідно з формулою:

$$\psi_K = a + b \cdot \sigma_{0,2} + c \cdot \sigma_{0,2}^2, \quad (1)$$

де ψ_K - відносне звуження після розриву зразка,

$\sigma_{0,2}$ - границя текучості,

a, b, c - коефіцієнти, що залежать від рівня механічної стабільності K_{ms} , після чого визначають максимальні значення пластичності ψ_K^{\max} - на цих залежностях та будують залежності $\psi_K^{\max} - \sigma_{0,2}$, за якими проводять класифікацію конструкційних сталей по міцності $\sigma_{0,2}$ за критерієм швидкості зменшення пластичності ψ_K^{\max} металу в залежності від підвищення його міцності $\sigma_{0,2}$ при фіксованих рівнях механічної стабільності K_{ms} .

Внаслідок встановлення та використання взаємозв'язку характеристик пластичності, міцності та механічної стабільності, визначення відповідних

залежностей між ними та знайденої властивості зменшення пластичності ψ_K^{\max} металу в залежності від підвищення його міцності $\sigma_{0,2}$ при фіксованих рівнях механічної стабільності K_{ms} , запропонований спосіб є більш інформативним, оскільки дає можливість класифікувати конструкційні сталі за показником міцності з більш високою точністю, визначити чітку границю між класами, відобразити зміну поведінки пластичних якостей сталей та отримати залежності що дозволяють оцінювати поточне максимальне значення характеристики пластичності ψ_K^{\max} по заданому значенню міцності $\sigma_{0,2}$ для кожного класу матеріалів, використовуючи при цьому результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг.

Винахід пояснюється графіками і таблицями, а саме:

на фіг.1 - приклад побудови ізоліній "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів на основі заліза з низьким рівнем дефектостійкості ($K_{ms}=1,0-1,15$): - - $K_{ms}=1,0$; ★ - $K_{ms}=1,05$; ▲ - $K_{ms}=1,1$; ▼ - $K_{ms}=1,15$;

на фіг.2 - залежність $\psi_K^{\max} - \sigma_{0,2}$ при різних рівнях механічної стабільності K_{ms} (крива 1); I - область зберігання високого рівня механічної стабільності K_{ms} для сплавів низької та середньої міцності; II - область зниження рівня механічної стабільності K_{ms} для сплавів високої міцності; α_I - кут падіння залежності $\psi_K^{\max} - \sigma_{0,2}$ для сплавів низької та середньої міцності; α_{II} - кут падіння залежності $\psi_K^{\max} - \sigma_{0,2}$ для сплавів високої міцності;

на фіг.3 - вплив показника деформаційного зміцнення n на залежності $\psi_K - K_{ms}$. Експериментальні дані: ■ - сталь 30ХГСА (гартування + відпуск), ◇ - сталь 30 (маятниковий відпал), ▲ - сталь 30 (відпал), □ - сталь 20ГФТЛ (стан поставки), • - сталь 09ГЛ (стан поставки);

в таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів a, b, c в залежності (1) при різних рівнях рівня механічної стабільності K_{ms} в діапазоні $1,0 < K_{ms} < 2,2$;

в таблиці 2 наведені рівні механічної стабільності $K_{ms} = \text{const.}$ та відповідні цим рівням значення пластичності ψ_K^{\max} в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$.

Спосіб реалізується наступним чином.

Матеріали для досліджень добирались за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності сплавів на основі заліза, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від $\sigma_{0,2} = 166 \text{ МПа}$ до $\sigma_{0,2} = 2060 \text{ МПа}$, а діапазон характеристик пластичності складав $81,0 \% \leq \psi_K \leq 10,0 \%$. Крім цього, як об'єкти досліджень були використані зварні шви, виконані із застосуванням різних технологій зварювання, спеціальні констру-

кційні сталі, що використовуються в ядерній енергетиці, а також конструкційні сталі, що використовуються в криогенній техніці. У деяких випадках змінювались також і 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 вісі стандартних гладких циліндричних зразків та визначали основні механічні характеристики металу: ψ_K - відносне звуження після розриву зразка; $\sigma_{0,2}$ - відносна границя текучості та характеристики крихкого руйнування: R_{MC} - крихка міцність; K_{ms} - механічна стабільність. Розтягування здійснювали при різних температурах в інтервалі від -269 °C до +20 °C. Коефіцієнти a , b , c розраховували за результатами апроксимації функцією (1) залежностей ψ_K - $\sigma_{0,2}$ за умови постійності механічної стабільності $K_{ms} = \text{const}$, в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq 1,15$ з дискретністю 0,05 та в діапазоні $1,2 \leq K_{ms} \leq 2,2$ з дискретністю 0,1. Значення коефіцієнтів a , b , c наведені в таблиці 1, а приклад побудови ізоліній залежностей ψ_K - $\sigma_{0,2}$ при механічній стабільності $K_{ms} = \text{const}$, для низького рівня дефектостійкості представлений на фіг.1 для діапазону змін $K_{ms} = 1,0 - 1,15$.

Методика знаходження зв'язку між характеристиками міцності $\sigma_{0,2}$ та пластичності ψ_K сплавів на основі заліза з різними рівнями дефектостійкості за критерієм постійності механічної стабільності $K_{ms} = \text{const}$, полягала у наступному:

- з усього масиву отриманих експериментальних даних вибирали ті матеріали, у яких значення характеристики механічної стабільності лежали близько від визначеної величини $K_{ms} = \text{const}$ із точністю, при якій похибка не перевищувала $\pm 2\%$ від величини цього значення K_{ms} ;

- в координатах ψ_K - $\sigma_{0,2}$ будували відповідні ізолінії отриманих залежностей, виконуючи умову постійності механічної стабільності $K_{ms} = \text{const}$, в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq 1,15$ із дискретністю 0,05 та в діапазоні $1,2 \leq K_{ms} \leq 2,2$ із дискретністю 0,1.

Всі отримані залежності ψ_K - $\sigma_{0,2}$ при різних фіксованих рівнях механічної стабільності $K_{ms} = \text{const}$, мають чітко відображені максимальні значення $\psi_K^{\text{макс}}$ (таблиця 2), що дозволяє будувати залежність $\psi_K^{\text{макс}}$ - $\sigma_{0,2}$, що обумовлює максимальний рівень пластичності в залежності від міцності для досліджених сплавів на основі заліза (фіг.2).

Наведена на фіг.2 залежність "пластичність - міцність - механічна стабільність" дає змогу сформулювати критерій для класифікації сплавів на основі заліза по міцності. Таким критерієм є швидкість (темپ) зменшення пластичних властивостей

$\psi_K^{\text{макс}}$ металу в залежності від підвищення його міцності $\sigma_{0,2}$ при фіксованих рівнях механічної стабільності K_{ms} . Швидка зміна такого темпу (точка зламу кривої 1 на фіг.2 при $\sigma_{0,2} = 800$ МПа) свідчить про суттєві зміни стану металу та є умовою його переходу в інший клас за характеристикою міцності, при цьому точка зламу обумовлює границю між різними класами. Фізична причина швидкої зміни пластичних властивостей металу та наявності точки зламу полягає в швидкому зменшенні показника деформаційного зміцнення від $n \leq 0,2$ до $n \geq 0,02$ в діапазоні змін значення характеристики механічної стабільності K_{ms} від 1,7 до 1,05 у сплавів на основі заліза при $\sigma_{0,2} \geq 800$ МПа. Додаткове свідчення такого швидкого падіння значення n при відповідному падінні пластичних властивостей металу ψ_K та характеристики механічної стабільності K_{ms} практично в таких же діапазонах їх змін наведено в роботі [3] - фіг.3.

Залежності ψ_K - K_{ms} , наведені на фіг.3, є властивими для конструкційних сталей при типових для них значеннях показника деформаційного зміцнення n .

Запропонований спосіб із результатів досліджень достатньо великого масиву експериментальних даних, дає можливість розподілити сплави на основі заліза на два класи по показнику міцності:

- низької та середньої міцності (з підвищеною пластичністю та механічною стабільністю) - при значеннях $\sigma_{0,2} < 800$ МПа;

- високої міцності (з підвищеною схильністю до крихкості) - при значеннях $\sigma_{0,2} \geq 800$ МПа, при цьому, для кожного класу металів у відповідності до фіг.3, можемо записати залежності виду

$\psi_K^{\text{макс}} - \sigma_{0,2}$, що дозволяють розрахувати поточне значення $\psi_K^{\text{макс}}$ в залежності від міцності $\sigma_{0,2}$ для кожного класу конструкційних сталей:

- для сталей низької та середньої міцності:

$$\text{tg} \alpha_I = \frac{\psi_K^{\text{максI}} - \psi_K^{\text{пер}}}{k \cdot (\sigma_{0,2}^{\text{пер}} - \sigma_{0,2}^{\text{I}})} \approx 0,0037;$$

$$\psi_K^{\text{макс}} = \text{tg} \alpha_I \cdot k \cdot (\sigma_{0,2}^{\text{пер}} - \sigma_{0,2}) + \psi_K^{\text{пер}} \approx 0,0037 \cdot \left(779,97 - \sigma_{0,2} \right) + 78,274, \quad (2)$$

- для сталей високої міцності:

$$\operatorname{tg} \alpha_{II} = \frac{\psi_K^{\text{пер}} - \psi_K^{\text{гр.}}}{k \cdot (\sigma_{0,2}^{\text{гр.}} - \sigma_{0,2}^{\text{пер}})} \approx 0,035,$$

$$\psi_K^{\text{макс}} = \operatorname{tg} \alpha_{II} \cdot k \cdot (\sigma_{0,2}^{\text{гр.}} - \sigma_{0,2}) + \psi_K^{\text{гр.}} \approx 0,035 \cdot \left(1587,5 - \sigma_{0,2} \right) + 50,3, \quad (3)$$

де: $k = 1 \left[\frac{1}{\text{МПа}} \right]$ - коефіцієнт розмірності.

Таким чином, запропонований спосіб є більш інформативним, дає можливість класифікувати конструкційні сталі за показником міцності з більш високою точністю, визначити чітку границю між класами, відобразити зміну поведінки пластичних якостей сталей та отримати залежності що дозволяють оцінювати поточне максимальне значення характеристики пластичності $\psi_K^{\text{макс}}$ по заданому значенню $\sigma_{0,2}$ для кожного класу матеріалів, використовуючи при цьому результати лабораторних

випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг.

Джерела інформації:

1. Шмыков А.А. Справочник термиста. 4-е изд. - М: Машгиз, 1961. - С. 118-119.

2. Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофизика та новітні технології. - 2010. - т. 32. - № 8. - С. 1133-1136.

3. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции - К.: Наук, думка, 2008. - С. 250-254.

Таблица 1

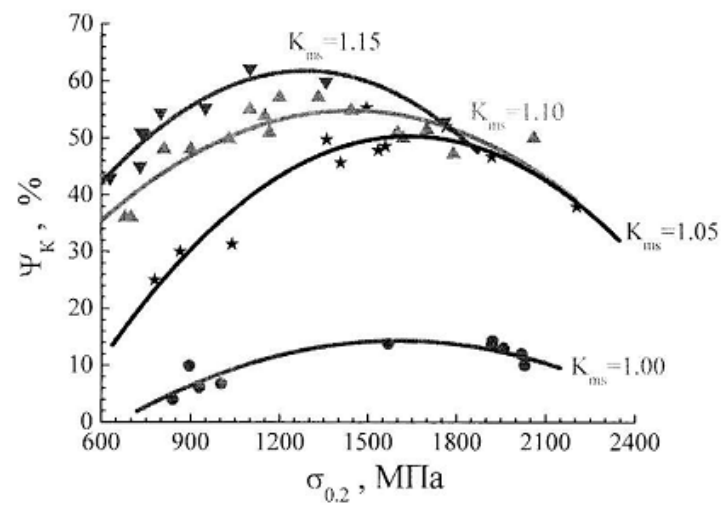
Значення коефіцієнтів а, b, c в залежності (1) при різних рівнях характеристик механічної стабільності K_{ms} в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$

Значення K_{ms}	a	b, 1/МПа	c, 1/МПа ²
1,00	-26,682	0,051	-1,596·10 ⁻⁵
1,05	-43,661	0,117	-3,601·10 ⁻⁵
1,10	-22,832	0,118	-4,432·10 ⁻⁵
1,15	4,104	0,112	-5,212·10 ⁻⁵
1,20	14,568	0,114	-5,782·10 ⁻⁵
1,30	29,130	0,106	-6,099·10 ⁻⁵
1,40	-29,135	0,242	-1,396·10 ⁻⁴
1,50	6,096	0,173	-1,073·10 ⁻⁴
1,60	-0,592	0,203	-1,305·10 ⁻⁴
1,70	37,741	0,116	-8,144·10 ⁻⁵
1,80	80,654	-0,009	-1,343·10 ⁻⁵
1,90	84,923	-0,024	-3,601·10 ⁻⁶
2,00	88,725	-0,057	6,134·10 ⁻⁵
2,20	-22,832	0,118	-4,432·10 ⁻⁵

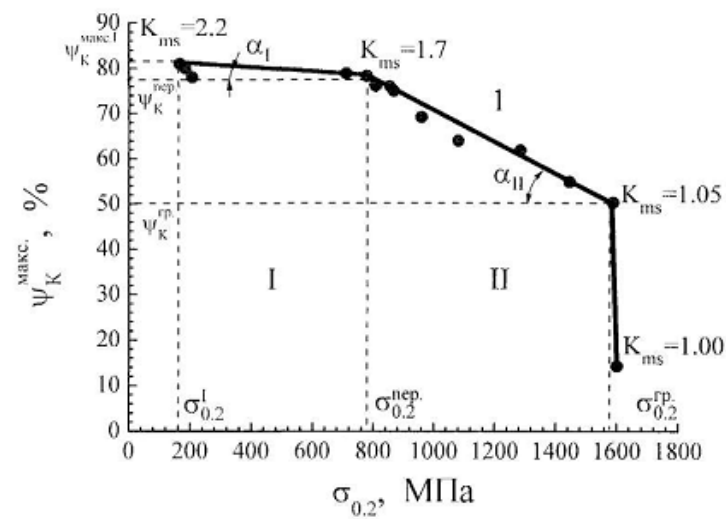
Таблица 2

Рівні механічної стабільності $K_{ms} = \text{const}$, та відповідні цим рівням значення пластичності $\psi_K^{\text{макс}}$ в діапазоні $1,0 \leq K_{ms} \leq 2,2$

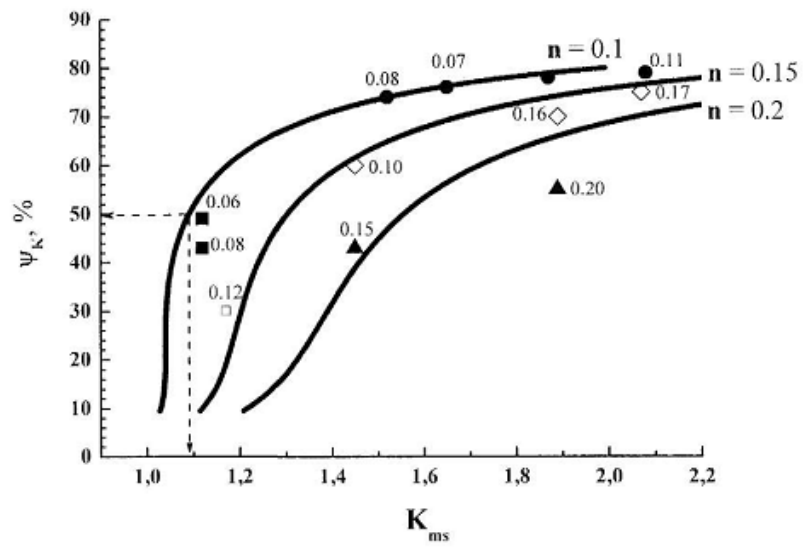
K_{ms}	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2
$\psi_K^{\text{макс}}, \%$	14,3	50,7	55,7	61,5	64,0	70,6	75,0	76,0	76,2	78,3	78,9	78,0	80,0	81,0



Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3