



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101097** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
G01N 3/08 (2006.01)
G01N 3/18 (2006.01)
G01N 11/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

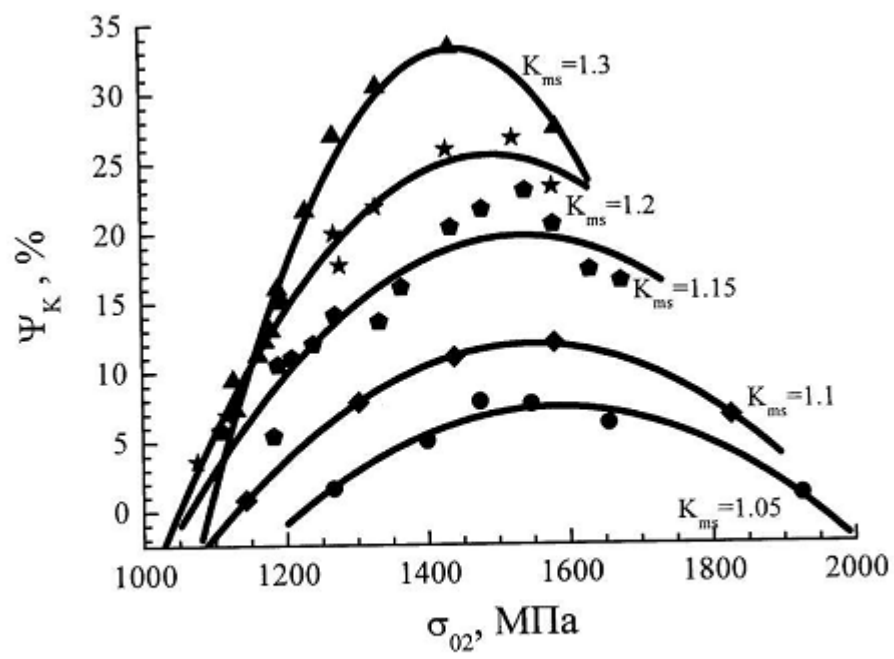
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2011 12233	(72) Винахідник(и): Івасишин Орест Михайлович (UA), Марковський Павло Євгенович (UA), Матвійчук Юрій Васильович (UA), Котречко Сергій Олексійович (UA), Мєшков Юрій Якович (UA), Шиян Артур Віталійович (UA), Стеценко Наталія Миколаївна (UA), Сорока Катерина Феодосіївна (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.10.2011	
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.02.2013	
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.04.2012, Бюл.№ 7	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2013, Бюл.№ 4	
	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, МСП, 03680 (UA)
	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 62166 U; 10.08.2011 UA 201015576; 10.05.2011 UA 49501 U; 26.04.2010

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень. Спосіб визначення максимальної пластичності конструкційних титанових сплавів при заданій механічній стабільності включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі в інтервалі температур від 4 K до 293 K, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою експериментальних залежностей пластичності ψ_K від міцності σ_{02} при фіксованій механічній стабільності K_{ms} , та визначенням на них максимальних значень пластичності. Будують узагальнену залежність максимальної пластичності від механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$ та розраховують емпіричні коефіцієнти. Максимальну пластичність ψ_K^{max} при заданій механічній стабільності K_{ms} визначають за формулою: $\psi_K^{max} = a + b \cdot K_{ms} + c \cdot K_{ms}^2$, де $a = -147,86$; $b = 193,85$; $c = -43,26$ - розраховані емпіричні коефіцієнти, притаманні для конструкційних титанових сплавів. Винахід дає можливість оцінювати максимальні пластичні властивості конструкційних титанових сплавів при заданому значенні їх механічної стабільності, що є важливим для створення особливо відповідальних конструкцій з гарантованим подовженим строком експлуатаційної надійності.

UA 101097 C2



Фиг. 1

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4 К до 293 К, а саме, до визначення максимальної пластичності конструкційних титанових сплавів при заданій механічній стабільності.

- 5 Відомий спосіб визначення характеристики пластичності Ψ_K , як відносного звуження після руйнування зразка при одновісному розтягу, у залежності від характеристики механічної стабільності K_{ms} конструкційних металевих сплавів з різними рівнями показника деформаційного зміцнення n . Принциповим в цих залежностях є демонстрація того факту, що пластичність, яка визначається по залишковій деформації, не може однозначно характеризувати здатність сплаву опиратись крихкому руйнуванню. Причиною цього явища є суттєвий вплив на пластичність схильності металевих сплавів до деформаційного зміцнення [1].

Недоліком даного способу є відсутність методики визначення характеристики максимальної пластичності Ψ_K^{max} конструкційних металевих сплавів та її зв'язку з характеристикою механічної стабільності K_{ms} , яка характеризує здатність сплаву опиратись крихкому руйнуванню.

- 15 Відомий також спосіб визначення максимальної пластичності Ψ_K^{max} конструкційних металевих сплавів при заданій механічній стабільності K_{ms} , при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 77К до 293К, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою залежностей пластичності Ψ_K від міцності $\sigma_{0.2}$ методом об'єднання двох залежностей $\Psi_K - n$ та $\sigma_{0.2} - n$ при заданій механічній стабільності K_{ms} , після чого графічним методом визначають максимальне значення пластичності Ψ_K^{max} при заданій механічній стабільності K_{ms} [2].

Однак, визначення максимальної пластичності Ψ_K^{max} за цим способом має наступні недоліки: а) недостатня точність кінцевих залежностей пластичності Ψ_K від міцності $\sigma_{0.2}$,

- 25 отриманих шляхом об'єднання двох залежностей $\Psi_K - n$ та $\sigma_{0.2} - n$ при фіксованих значеннях механічної стабільності K_{ms} ; б) неможливість точного визначення максимальної пластичності Ψ_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 недостатньою кількістю експериментальних даних.

- 30 Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення максимальної пластичності конструкційних металевих сплавів на основі заліза, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 4К до 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик та характеристики механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою залежностей пластичності Ψ_K від міцності $\sigma_{0.2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} параболічного виду $\Psi_K = f(\sigma_{0.2})$:

$$\Psi_K = a + b \cdot \sigma_{0.2} + c \cdot \sigma_{0.2}^2,$$

де a , b , c - емпіричні коефіцієнти для відповідних фіксованих значень механічної

стабільності K_{ms} , після чого визначають максимальні значення пластичності Ψ_K^{max} в точках

- 40 максимумів величини Ψ_K на параболічних залежностях $\Psi_K = f(\sigma_{0.2})$ при фіксованих значеннях механічної стабільності K_{ms} [3].

Разом з тим, спосіб визначення максимальної пластичності конструкційних металевих сплавів шляхом побудови залежностей пластичності Ψ_K від міцності $\sigma_{0.2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} за прототипом має наступні недоліки: а) відсутність узагальненої

- 45 залежності максимальної пластичності Ψ_K^{max} від механічної стабільності K_{ms} , б) недостатня інформативність і точність щодо визначення максимальної пластичності для конструкційних титанових сплавів, які мають іншу природу деформування при одновісному розтягу.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення максимальної пластичності конструкційних титанових сплавів шляхом отримання авторами достатньої

- 50 кількості експериментальних даних для побудови залежностей пластичності Ψ_K від міцності

$\sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} та подальшого встановлення ними узагальненої

залежності між показником максимальної пластичності $\psi_K^{макс.}$ і значенням механічної стабільності K_{ms} . При цьому використовували результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 4K до 293K, а діапазон змін значень механічної стабільності складав $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$. Винахід дає можливість більш

інформативно і точно визначати максимальну пластичність $\psi_K^{макс.}$ конструкційних титанових сплавів при заданих значеннях механічної стабільності K_{ms} за встановленою залежністю.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення максимальної пластичності конструкційних металевих сплавів, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 4K до 293K, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою експериментальних залежностей

пластичності ψ_K від міцності $\sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} , визначають на

них максимальні значення пластичності $\psi_K^{макс.}$, згідно з винаходом, для титанових сплавів на

основі залежностей $\psi_K - \sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} та визначених

величин $\psi_K^{макс.}$ будують узагальнену залежність максимальної пластичності $\psi_K^{макс.}$ від механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$, розраховують емпіричні

коефіцієнти та визначають максимальну пластичність $\psi_K^{макс.}$ за формулою:

$$\psi_K^{макс.} = a + b \cdot K_{ms} + c \cdot K_{ms}^2,$$

де $a = -147,86$; $b = 193,85$; $c = -43,26$ - емпіричні коефіцієнти, притаманні для конструкційних титанових сплавів.

За рахунок отримання авторами узагальненої залежності максимальної пластичності $\psi_K^{макс.}$ від механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$ для діапазону температур випробувань від 4K до 293K і розрахунку на її основі емпіричних коефіцієнтів, притаманних конструкційним титановим сплавам, запропонований спосіб дозволяє більш інформативно і

точно визначати максимальне значення пластичності $\psi_K^{макс.}$ при заданій механічній стабільності K_{ms} . Межі температурного інтервалу випробувань від 4K до 293 K вибрані з міркувань робочих температур експлуатації таких особливо відповідальних конструкцій, як обладнання для кріогенної техніки (до 4K). Діапазон змін механічної стабільності в межах $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$ охоплює реально існуючі межі механічної стабільності для конструкційних титанових сплавів. При цьому використовують експериментальні значення основних механічних характеристик сплаву, а саме: відносного звуження після руйнування зразка ψ_K , умовної границі текучості

$\sigma_{0,2}$ та характеристики механічної стабільності K_{ms} . Визначення максимального значення

пластичності $\psi_K^{макс.}$ при заданій механічній стабільності K_{ms} є важливим при виборі конструкційних титанових сплавів середньої та високої міцності для створення особливо відповідальних конструкцій з гарантованим подовженням строком експлуатаційної надійності.

Винахід пояснюється таблицями та кресленнями, а саме:

в таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів a , b , c , притаманних для конструкційних титанових сплавів в залежностях $\psi_K - \sigma_{0,2}$ при різних фіксованих рівнях K_{ms} .

в таблиці 2 наведені значення максимальної пластичності $\psi_K^{макс.}$ при заданих рівнях механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$; абсолютні відхилення Δ розрахункових значень $\psi_K^{макс.}$ від експериментальних та значення середньої квадратичної похибки ν при використанні запропонованого способу.

на фіг.1 зображені ізолінії "пластичність - міцність - механічна стабільність" для конструкційних титанових сплавів з низьким рівнем опору переходу в крихкий стан ($K_{ms} = 1,05 \div 1,3$): ● - $K_{ms} = 1,05$; ◆ - $K_{ms} = 1,1$; ● - $K_{ms} = 1,15$; ◆ - $K_{ms} = 1,2$; ▲ - $K_{ms} = 1,3$.

на фіг.2 зображені ізолінії "пластичність - міцність - механічна стабільність" для конструкційних титанових сплавів з помірним рівнем опору переходу в крихкий стан ($K_{ms}=1,4 \div 1,7$): \blacktriangledown - $K_{ms}=1,4$; \blacktriangleleft - $K_{ms}=1,5$; \blacktriangleright - $K_{ms}=1,6$; \ast - $K_{ms}=1,7$.

на фіг.3 зображені ізолінії "пластичність - міцність - механічна стабільність" для конструкційних титанових сплавів з високим рівнем опору переходу в крихкий стан ($K_{ms}=1,8 \div 2,2$): \times - $K_{ms}=1,8$; $+$ - $K_{ms}=2,0$; \blacksquare - $K_{ms}=2,2$.

на фіг.4 зображена узагальнена експериментальна залежність максимальної пластичності

$\Psi_K^{\text{макс.}}$ від механічної стабільності K_{ms} для конструкційних титанових сплавів; \bullet - значення

$\Psi_K^{\text{макс.}}$ на параболічних залежностях $\Psi_K = f(\sigma_{0,2})$ при фіксованих значеннях механічної стабільності K_{ms} .

Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови узагальненої експериментальної залежності максимальної пластичності

$\Psi_K^{\text{макс.}}$ від механічної стабільності K_{ms} матеріали для досліджень добирали за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності конструкційних титанових сплавів, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від $\sigma_{0,2} = 570$ МПа до $\sigma_{0,2} = 1925$ МПа, а діапазон характеристик пластичності складав

$3,0 \% \leq \Psi_K \leq 71,0 \%$. Крім цього, за об'єкти досліджень вибирали титанові сплави, які використовують у криогенній техніці та інших особливо відповідальних конструкціях. Змінювали також різні режими термічної обробки, а в деяких випадках, температуру випробувань в інтервалі від 4К до 293К. Всього в цих дослідженнях використовували результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш ніж 200 видів конструкційних титанових сплавів.

Проводять розтягування повздовж однієї вісі стандартних гладких циліндричних зразків та визначають основні механічні характеристики сплаву при різних температурах випробувань в

інтервалі $4\text{К} \leq T_{\text{вип}} \leq 293\text{К}$ такі, як: Ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості, а також характеристики механічної стабільності K_{ms} .

Методика знаходження зв'язку властивостей пластичності Ψ_K та міцності $\sigma_{0,2}$ конструкційних титанових сплавів з різними рівнями опору переходу в крихкий стан за критерієм фіксованої механічної стабільності K_{ms} полягає у наступному:

- із всього масиву отриманих експериментальних даних обирають ті матеріали, у яких значення характеристики механічної стабільності лежать достатньо близько від визначеного фіксованого значення з абсолютним відхиленням, що не перевищує $\pm 5 \%$ від величини цього значення;

- в координатах пластичність Ψ_K - міцність $\sigma_{0,2}$ будують відповідні ізолінії отриманих залежностей, виконуючи умову постійності механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін значення цієї характеристики від 1,05 до 2,2 з дискретністю 0,05 в межах $1,05 \leq K_{ms} \leq 1,2$; 0,1 в межах $1,2 \leq K_{ms} \leq 1,8$ та 0,2 в межах $1,8 \leq K_{ms} \leq 2,2$. При цьому було досліджено практично весь реальний діапазон змін механічної стабільності K_{ms} для конструкційних титанових сплавів в

пружно-пластичній області навантаження. Залежності пластичності Ψ_K від міцності $\sigma_{0,2}$ при фіксованих значеннях механічної стабільності K_{ms} представлені на: фіг. 1 - для інтервалу змін механічної стабільності $K_{ms}=1,05 \div 1,3$; фіг. 2 - для інтервалу змін механічної стабільності $K_{ms}=1,4 \div 1,7$ і фіг. 3 - для інтервалу змін механічної стабільності $K_{ms}=1,8 \div 2,2$;

- розраховують коефіцієнти a , b , c в отриманих залежностях $\Psi_K = f(\sigma_{0,2})$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} за результатами їх обчислення в інтервалі $1,1 \leq K_{ms} \leq 2,2$ згідно з

функцією $\Psi_K = f(\sigma_{0,2})$:

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

де: a , b , c емпіричні коефіцієнти, притаманні для конструкційних титанових сплавів (таблиця 1);

- далі визначають максимальні значення пластичності $\Psi_K^{\text{макс.}}$ в точках максимумів величини

Ψ_K на параболічних залежностях $\Psi_K = f(\sigma_{0,2})$ при фіксованих значеннях механічної стабільності K_{ms} (таблиця 2);

- після чого будують узагальнену залежність максимальної пластичності $\psi_K^{\text{макс.}}$ від механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$, розраховують в ній емпіричні коефіцієнти та визначають максимальну пластичність $\psi_K^{\text{макс.}}$ за формулою:

$$\psi_K^{\text{макс.}} = a + b \cdot K_{ms} + c \cdot K_{ms}^2,$$

5 де $a = -147,86$; $b = 193,85$; $c = -43,26$ - емпіричні коефіцієнти, притаманні для конструкційних титанових сплавів;

- на завершення, проводять оцінку точності визначення максимальної пластичності $\psi_K^{\text{макс.}}$ за отриманою узагальненою залежністю $\psi_K^{\text{макс.}} - K_{ms}$.

10 Отже, за допомогою запропонованого способу, можна визначити максимальну $\psi_K^{\text{макс.}}$ при заданій механічній стабільності K_{ms} конструкційних титанових сплавів більш інформативно і точно. При цьому, максимальну пластичність $\psi_K^{\text{макс.}}$ при заданій механічній стабільності K_{ms} визначають з точністю, при якій середня квадратична похибка ($\sigma = 3,8\%$), що достатньо як для інженерних розрахунків, так і для наукових досліджень. Використання запропонованого способу дає можливість оцінювати максимальні пластичні властивості конструкційних титанових сплавів при заданому значенні їх механічної стабільності, що є важливим для створення особливо

15 відповідальних конструкцій з гарантованим подовженням строком експлуатаційної надійності.

Джерела інформації:

1. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции - Киев: Наук, думка, 2008. - С. 239-241.
- 20 2. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Новые подходы к оценке комплекса механических свойств конструкционных сталей // Металлофизика и новейшие технологии, 2009. - Т.31, №. - С. 375-377.
3. Науковий твір "Взаимосвязь свойств прочности, пластичности и механической стабильности сталей и сплавов", автори: Котречко С.О., Мешков Ю.Я., Шиян А.В., Стеценко Н.М. Свідectво про реєстрацію авторського права № 39292 від 22.07.2011 /Україна/. Опубл. бюл. № 25, С. 5-8.
- 25

Таблица 1

Фіксовані рівні K_{ms}	a	b, 1/МПа	c, 1/МПа ²
1,05	-134,421	0,179	$-5,654 \cdot 10^{-5}$
1,1	-150,222	0,209	$-6,753 \cdot 10^{-5}$
1,15	-189,166	0,272	$-8,848 \cdot 10^{-5}$
1,2	-264,767	0,389	$-1,303 \cdot 10^{-4}$
1,3	-527,583	0,777	$-2,694 \cdot 10^{-4}$
1,4	-246,682	0,381	$-1,298 \cdot 10^{-4}$
1,5	-146,628	0,249	$-8,423 \cdot 10^{-5}$
1,6	-87,146	0,247	$-1,087 \cdot 10^{-4}$
1,7	-126,817	0,363	$-1,735 \cdot 10^{-4}$
1,8	-2,390	0,141	$-7,777 \cdot 10^{-5}$
2,0	-54,975	0,258	$-1,366 \cdot 10^{-4}$
2,2	73,667	$-8,33 \cdot 10^{-3}$	0

Таблиця 2

Рівні K_{ms}	1,05	1,1	1,15	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
$\psi_K^{max}, \%$	7,4	12,2	20,1	25,8	33,3	33,6	38,0	52,9	63,9	61,9	67,1	68,1
$\Delta, \%$	+0,5	+0,7	-2,2	-3,2	-2,0	+4,9	+7,5	-1,5	-7,5	-1,0	0,0	+1,2
$\nu, \%$	3,8											

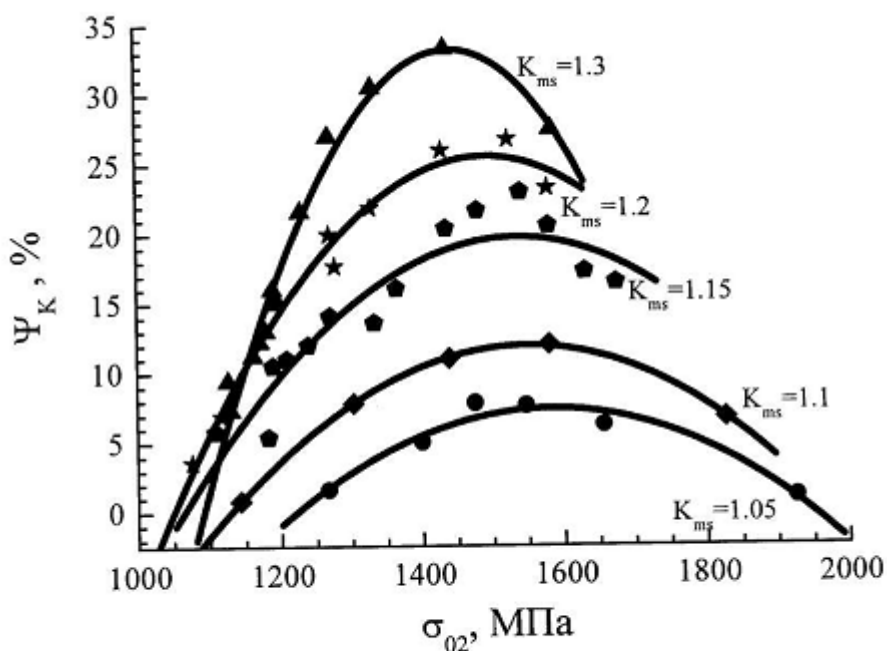
5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

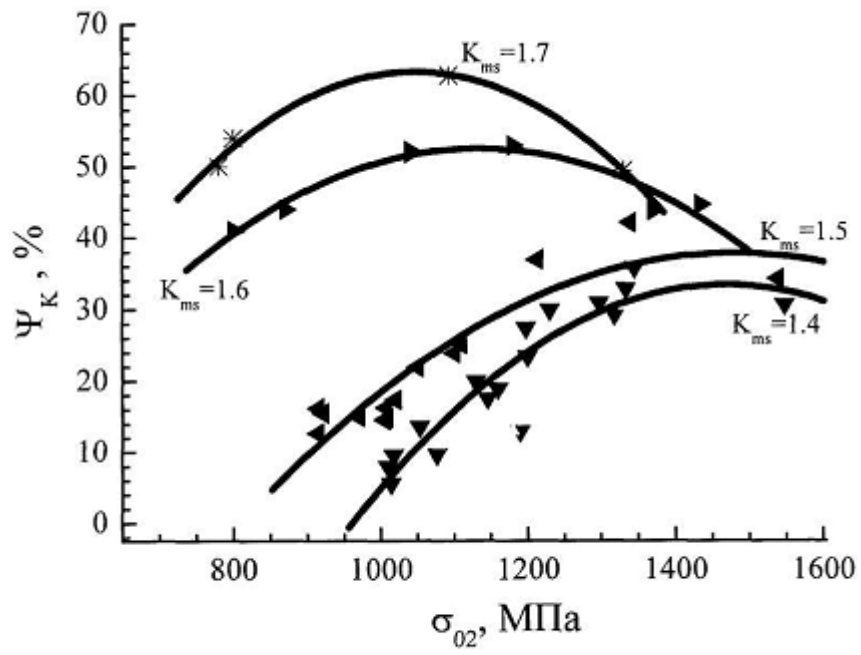
Спосіб визначення максимальної пластичності конструкційних титанових сплавів, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 4 К до 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою експериментальних залежностей пластичності ψ_K від міцності σ_{02} при фіксованій механічній стабільності K_{ms} та визначенням на них максимальних значень пластичності, який **відрізняється** тим, що на основі залежностей $\psi_K - \sigma_{02}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} та визначених на них максимальних значень пластичності будують узагальнену залежність максимальної пластичності від механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$, на основі якої розраховують емпіричні коефіцієнти, а максимальну пластичність ψ_K^{max} при заданій механічній стабільності K_{ms} визначають за формулою:

$$\psi_K^{max} = a + b \cdot K_{ms} + c \cdot K_{ms}^2,$$

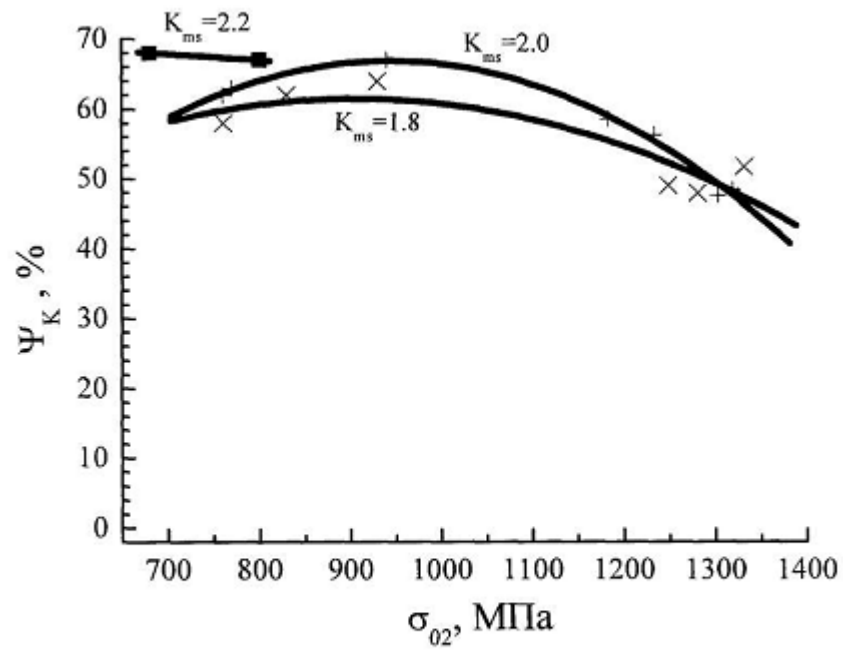
де $a = -147,86$; $b = 193,85$; $c = -43,26$ - розраховані емпіричні коефіцієнти, притаманні для конструкційних титанових сплавів.



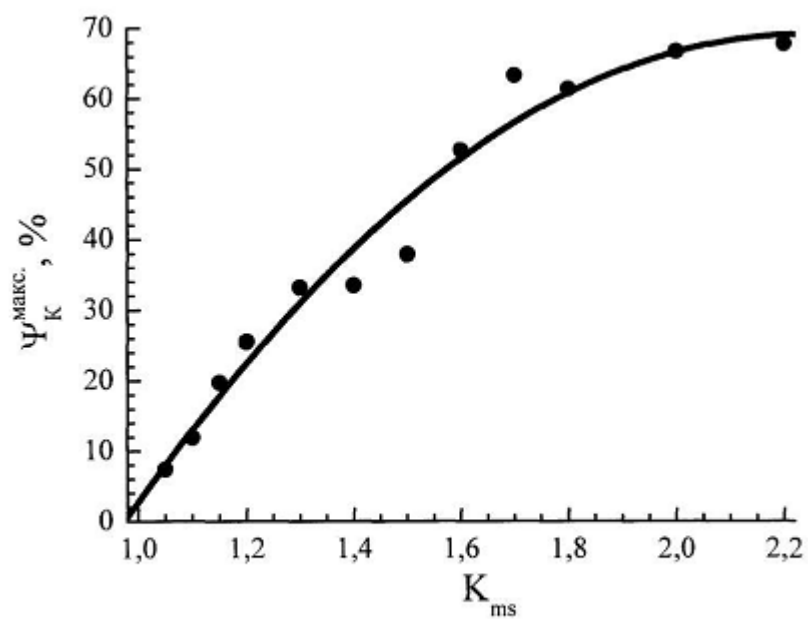
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка Л. Купенко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601