



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101740** (13) **C2**

(51) МПК (2013.01)

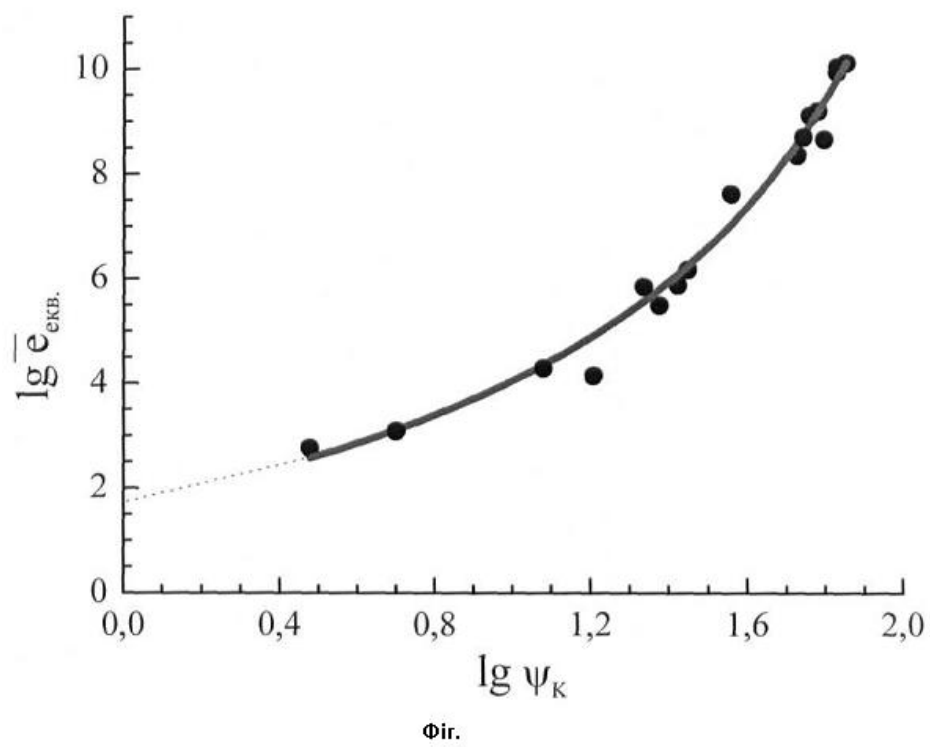
G01N 3/00**G01N 3/08** (2006.01)**G01N 3/18** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2011 12151	(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: 17.10.2011	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, 03680, Україна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.04.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 95870 C2; 12.09.2011 UA 49501 U; 26.04.2010 UA 55930 U; 27.12.2010 RU 2312321 C2; 10.12.2007 SU 976340; 23.11.1982 UA 201013359; 11.04.2011 JP 58200133 A; 21.11.1983
(41) Публікація відомостей про заявку: 12.03.2012, Бюл.№ 5	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2013, Бюл.№ 8	

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень. Спосіб визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних титанових сплавів включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від 4 К до 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик, побудову узагальнюючої експериментальної залежності $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$, розрахунок на її основі емпіричних коефіцієнтів та визначення логарифму приведенного значення еквівалентної деформації $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$, а також визначення характеристик крихкої міцності $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ та механічної стабільності $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$. Запропонований спосіб дає можливість більш інформативно і точно здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних титанових сплавів та оцінювати їх спроможність опиратись крихкому руйнуванню.

UA 101740 C2



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 визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних титанових сплавів.

- 5 Відомий спосіб визначення характеристик крихкого руйнування, а саме крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних металевих сплавів шляхом розтягування гладких циліндричних зразків при температурах, близьких до температури киплячого азоту (77 К), коли зразок втрачає пластичність до критичного рівня деформації в місці розриву $\psi_K \approx 2\%$ при руйнуванні. Цьому рівню пластичності ($e=2\%$) відповідає мінімальне напруження в зоні крихкого руйнування, яке називається крихкою міцністю R_{MC} . У випадках, коли при температурах випробування залишкова деформація в "шийці" перевищує критичну $e=2\%$, використовують отримані при таких випробуваннях значення дійсного напруження в шийці S_K ($S_K > R_{MC}$). При цьому рівень R_{MC} визначають шляхом екстраполяції поточних значень напруження в шийці S_K на значення, відповідне критичній деформації $e=2\%$. Рівень напруження в шийці S_K при цій деформації приймається рівним величині крихкої міцності R_{MC} . Після цього розраховують

значення механічної стабільності K_{ms} за формулою: $K_{mc} = \frac{R_{MC}}{\sigma_2}$, де σ_2 - міцність металу при пластичній деформації $e=2\%$ [1, 2].

- Недоліком даного способу є наступне: значення крихкої міцності R_{MC} для металевих сплавів з високим рівнем пластичності визначають за відносним звуженням в місці руйнування ("шийці") ψ_K при температурах, близьких до 77 К 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.

- Відомий також спосіб визначення характеристик крихкого руйнування R_{MC} та K_{ms} конструкційних металевих сплавів, при якому проводять розтягування повздовж однієї осі стандартного гладкого циліндричного зразка з кільцевим концентратором, який забезпечує окрихчення сталі при різних температурах в інтервалі температур вище 77 К, а значення крихкої міцності R_{MC} визначають за величиною середнього номінального напруження руйнування σ_{NF} при значенні залишкової деформації в місці розриву ψ_K , яке дорівнює 2 % [3].

- Разом з тим, спосіб визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} за цим способом має наступні недоліки: а) складність, тривалість в часі та коштовність виготовлення дослідних зразків з кільцевими концентраторами; б) неможливість визначення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних металевих сплавів з високим рівнем пластичності при температурах випробувань ≥ 77 К, у тому числі при кімнатній температурі випробувань 293 К.

- Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб, який дозволяє визначати характеристики крихкого руйнування конструкційних металевих сплавів на основі заліза за результатами випробувань гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при кімнатній температурі 293 К. За цим способом значення характеристик крихкого руйнування, а саме крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} , визначають шляхом розрахунку згідно з фізично обґрунтованими залежностями, отриманими для конструкційних металевих сплавів на основі заліза [4]:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \cdot \lg \bar{e}_{екв.}},$$

$$K_{mc}^{розр.} = 10^{n \cdot (\lg \bar{e}_{екв.} - 1)},$$

де: n - показник деформаційного зміцнення;

$\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості;

$$\lg \bar{e}_{екв.} = \frac{e_{екв.}}{0,002}$$

- логарифм приведенного значення еквівалентної деформації, який для конструкційних сплавів на основі заліза розраховується за формулою:

$$\lg \bar{e}_{екв.} = 1 + \frac{0,164 \cdot \lg \psi_K - 0,15}{1,95 - \lg \psi_K}.$$

- Разом з тим, спосіб розрахунку логарифму приведенного значення еквівалентної деформації $\lg \bar{e}_{екв.}$ та подальшого визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} за прототипом має наступний недолік - недостатню інформативність і точність щодо визначення характеристик крихкого руйнування для конструкційних титанових сплавів, які мають іншу природу деформування при одновісному розтягу.

В основу винаходу покладено задачу вдосконалення способу визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних титанових сплавів при розтягу шляхом встановлення авторами відповідної узагальнюючої експериментальної залежності між логарифмами показників приведенного значення еквівалентної деформації $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ та відносного звуження після

5 руйнування зразка $\lg \psi_K$ для діапазону температур випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг від 4 К до 93 К з метою знаходження емпіричних коефіцієнтів в цій залежності, які притаманні тільки конструкційним титановим сплавам. Винахід дає можливість більш інформативно і точно визначати характеристики крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності $K_{\text{мс}}$ конструкційних титанових сплавів, що, в свою чергу, дозволяє

10 здійснювати комплексну оцінку їх властивостей, у тому числі спроможність опиратись крихкому руйнуванню. Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних металевих сплавів, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурі 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик, побудову експериментальної

15 залежності $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$, згідно з винаходом, для титанових сплавів будують узагальнюючу експериментальну залежність $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ для діапазону температур випробувань від 4 К до 293 К, на її основі розраховують емпіричні коефіцієнти та визначають логарифм приведенного значення еквівалентної деформації $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ за формулою:

$$20 \quad \lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} = \frac{1,783 + 0,708 \cdot \lg \psi_K}{1 - 0,376 \cdot \lg \psi_K},$$

після чого визначають характеристики крихкої міцності $R_{\text{MC}}^{\text{розр.}}$ та механічної стабільності $K_{\text{мс}}^{\text{розр.}}$ згідно фізично обґрунтованих залежностей:

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

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

$$25 \quad K_{\text{мс}}^{\text{розр.}} = 10^p,$$

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

де ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка;

$\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості;

n - показник деформаційного зміцнення;

30 $a = 1,783$; $b = 0,708$; $c = 0,376$ - емпіричні коефіцієнти для конструкційних титанових сплавів.

За рахунок отримання авторами узагальнюючої експериментальної залежності $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ для діапазону температур випробувань від 4 К до 29 К і розрахунку на її основі емпіричних коефіцієнтів, притаманних конструкційним титановим сплавам, запропонований спосіб дозволяє більш інформативно і точно визначати характеристики крихкого руйнування 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 показника деформаційного зміцнення n . Визначення характеристик крихкого руйнування, а саме крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності $K_{\text{мс}}$ з точністю, достатньою як для інженерних розрахунків, так і наукових досліджень, дає можливість здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних титанових сплавів та оцінювати їх спроможність чинити опір крихкому руйнуванню.

Запропонований спосіб пояснюється таблицею та кресленням, а саме:

в таблиці 1 наведені значення основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, ψ_K , n та розрахункове значення $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ для деяких конструкційних титанових сплавів при температурах випробувань від 4 К до 293 К; експериментальні та розрахункові значення характеристик R_{MC} та $K_{\text{мс}}$; величини відносної похибки визначення цих характеристик за запропонованим способом 8 та її середнє значення $\langle \delta \rangle$.

На кресленні зображена узагальнююча експериментальна залежність $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ для досліджених конструкційних титанових сплавів; • - експериментальні значення для конструкційних титанових сплавів, наведених в таблиці 1.

Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови узагальнюючої експериментальної залежності $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ 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 $3, \% \leq \psi_K \leq 71,0 \%$. Крім цього, за об'єкти досліджень вибирали титанові сплави, які використовують у криогенній техніці. Змінювали також різні режими термічної обробки, а в деяких випадках, температуру випробувань в інтервалі від 4 К до 293 К. Всього в цих дослідженнях використовували результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш ніж 150-ти видів конструкційних титанових сплавів.

Проводять розтягування повздож однієї осі 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; n - показник деформаційного зміцнення.

на основі експериментальних даних будують узагальнюючу експериментальну залежність $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ (фіг.) та визначають емпіричні коефіцієнти a , b і c , притаманні конструкційним титановим сплавам:

$$\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} = \frac{a + b \cdot \lg \psi_K}{1 - c \cdot \lg \psi_K}, \quad (1)$$

де $a = 1,783$; $b = 0,708$; $c = 0,376$.

для визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} використовують відомі формули [4]:

$$R_{MC}^{\text{розр.}} = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \cdot \lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}},$$

$$K_{ms}^{\text{розр.}} = 10^{n \cdot (\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - 1)},$$

підставляючи в них значення $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$, отримане за залежністю (1). Таким чином, для конструкційних титанових сплавів, маємо:

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

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

$$K_{ms}^{\text{розр.}} = 10^p,$$

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

де ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка;

$\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості;

n - показник деформаційного зміцнення;

$a = 1,783$; $b = 0,708$; $c = 0,376$ - емпіричні коефіцієнти для конструкційних титанових сплавів.

Результати визначення за формулами (2) і (3) характеристик крихкого руйнування R_{MC} та K_{ms} для деяких конструкційних титанових сплавів, що широко використовуються в промисловості, наведені в таблиці 1.

Отже, за допомогою запропонованого способу, можна визначити характеристики крихкого руйнування, а саме крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних титанових сплавів більш інформативно і точно.

При цьому точність визначення характеристик $R_{MC}^{\text{розр.}}$ та $K_{ms}^{\text{розр.}}$, при якій середня відносна похибка складає 1,9 %, цілком достатня як для інженерних розрахунків, так і для наукових досліджень. Використання запропонованого способу дає можливість здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних титанових сплавів та оцінювати їх спроможність опиратись крихкому руйнуванню.

Джерела інформації:

1. Ivasishin O. M., Markovsky P. E., Pakhareno G. A., Shevchenko A. V. Mechanical properties of ($\alpha + \beta$)-titanium alloy at cryogenic temperatures // Mat. Sci. Eng. A 196, 1995, p. 65-70.
2. Котречко С. А., Мешков Ю. Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции - Киев: Наук, думка, 2008, С. 142-144; 232-239.
3. Патент України на корисну модель № 49501, МПК G01N 3/08, 2009.
4. Патент України на винахід № 95870, МПК G01N 3/08, 2011.

Таблиця 1

№ п/п	Титановий сплав	Обробка	T _{вип.} , К	σ _{0.2} , МПа	ψ _K , %	n	lgē _{екв.}	R _{МС} ^{експ.} , МПа	R _{МС} ^{розр.} , МПа	K _{мс} ^{експ.}	K _{мс} ^{розр.}	δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	BT16	1050 °С, 1 год.; гартування у воду 700 °С, 5 г.	293	870	28,0	0,053	6,159	1850	1845	1,882	1,877	0,3
2			77	1580	12,0	0,016	4,286		1850	1,129	1,129	0,0
3		1050 °С, 1 г.; 800 °С, 5 г.	293	770	36,0	0,035	6,954	1450	1349	1,737	1,616	7,0
4			77	1400	5,0	0,005	3,090		1450	1,024	1,024	0,0
5		1100 °С, 1 г.; ох. з піччю.	77	1430	3,0	0,032	2,584	1600	1730	1,040	1,124	7,5
6		800 °С, 1 г.; ох. з піччю.	293	800	67,0	0,035	9,815	1800	1764	2,074	2,032	2,0
7		870 °С, 1 г.; ох. з піччю.	293	760	57,0	0,041	8,906	1800	1762	2,153	2,108	2,1
8		920 °С, 1 г.; ох. з піччю.	293	780	42,0	0,042	8,724	1700	1700	2,114	2,114	0,0
9		920 °С, 0,5 г.; 80 °С·с ⁻¹ +750 °С, 0,5 г., 40 °С·г ⁻¹	293	750	71,0	0,037	10,179	1780	1785	2,179	2,185	0,3
10	AT2	Стан постачання	293	570	62,2	0,060	9,378	2050	2082	3,135	3,183	1,5
11			200	700	60,0	0,051	9,179		2057	2,605	2,614	0,3
12			77	940	67,0	0,034	9,815		2027	2,016	1,993	1,1
13			4	1180	53,1	0,029	8,551		2089	1,626	1,657	1,9
14	BT5-1кт	Стан постачання	293	770	26,4	0,058	5,993	1700	1714	1,932	1,948	0,8
15			200	950	23,7	0,046	5,706		1739	1,610	1,647	2,2
16			77	1230	21,6	0,024	5,475		1665	1,308	1,281	2,1
17			4	1365	16,1	0,023	4,828		1763	1,181	1,225	3,6
<δ>, % =												1,9

10

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

15

Спосіб визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних металевих сплавів, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурі 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик, побудову експериментальної залежності $\lg \bar{e}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$, який **відрізняється** тим, що для титанових сплавів будують узагальнюючу експериментальну залежність $\lg \bar{e}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ для діапазону температур випробувань від 4 К до 293 К, на її основі розраховують емпіричні коефіцієнти та визначають логарифм приведенного значення еквівалентної деформації $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ за формулою:

$$\lg \bar{e}_{\text{екв.}} = \frac{1,783 + 0,708 \cdot \lg \psi_K}{1 - 0,376 \cdot \lg \psi_K},$$

20

після чого визначають характеристики крихкої міцності $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ та механічної стабільності $K_{\text{мс}}^{\text{розр.}}$ згідно з фізично обґрунтованими залежностями:

$$R_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = \sigma_{0.2} \cdot 10^m,$$

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

$$K_{mc}^{розр.} = 10^p,$$

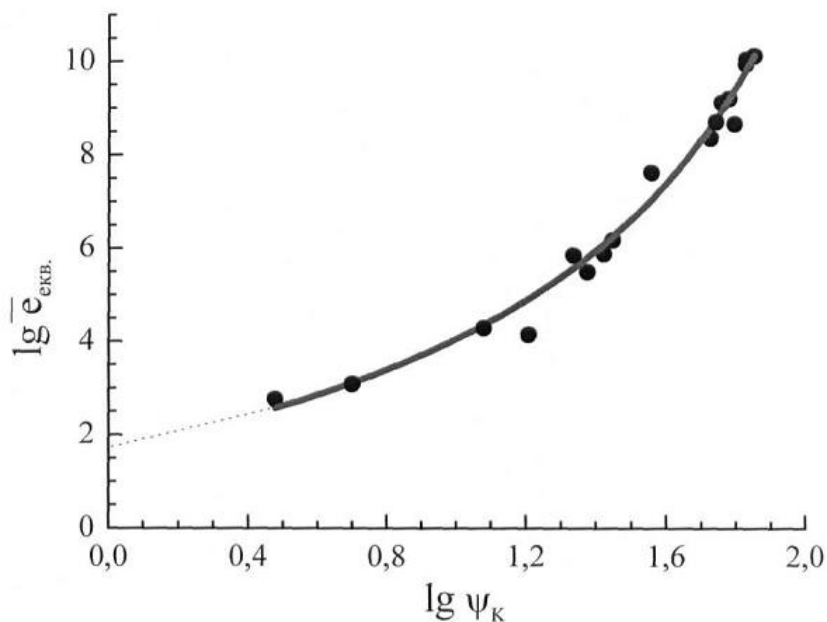
$$p = n \cdot \left(\frac{a + b \cdot \lg \psi_K}{1 - c \cdot \lg \psi_K} - 1 \right),$$

де $a=1,783$; $b=0,708$; $c=0,376$ - емпіричні коефіцієнти для конструкційних титанових сплавів, при цьому використовують експериментальні значення основних механічних характеристик сплаву, а саме:

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка;

$\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості;

n - показник деформаційного зміцнення.



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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