



УКРАЇНА

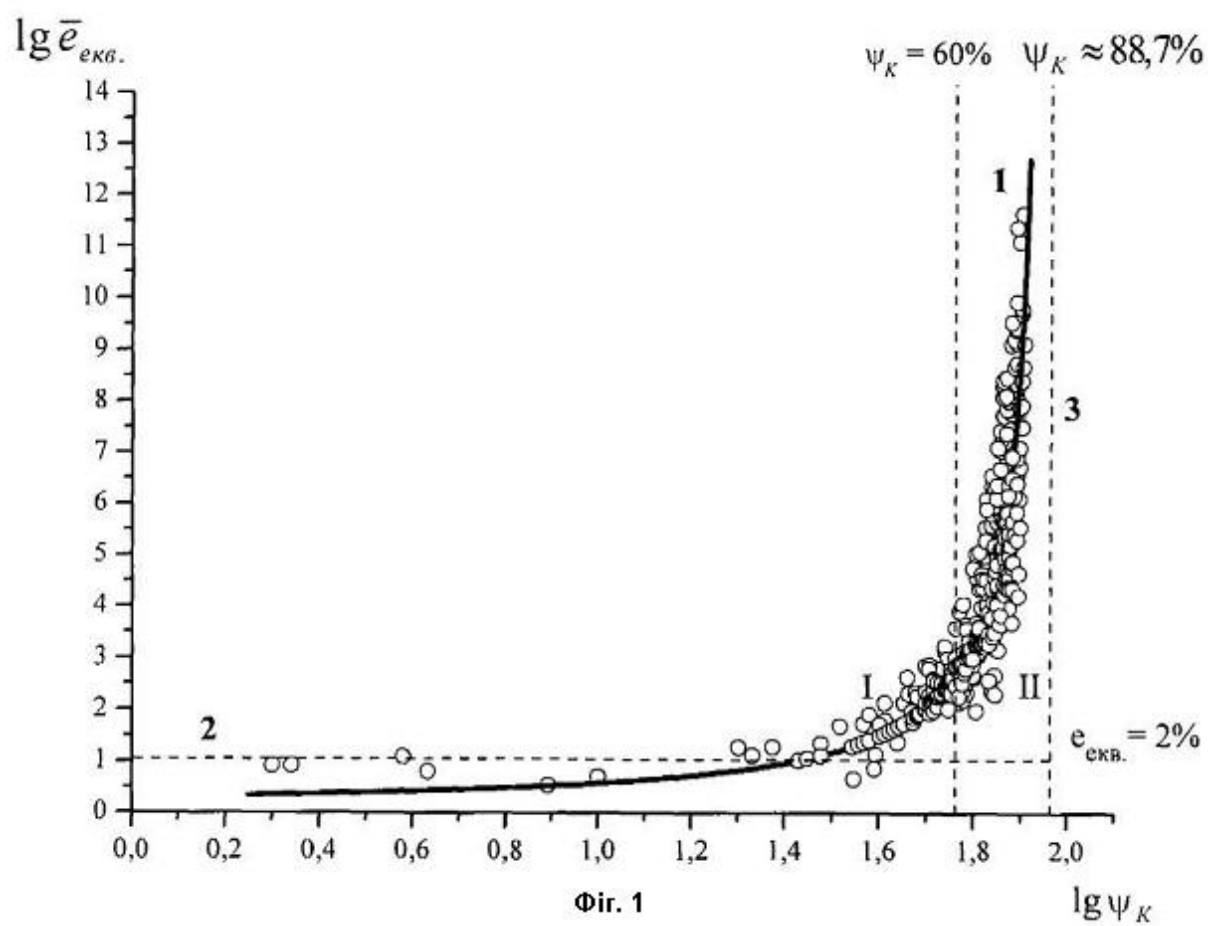
(19) **UA** (11) **101456** (13) **C2**
(51) МПК**G01N 3/08** (2006.01)**G01N 3/18** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2012 02928	(72) Винахідник(и): Шиян Артур Віталійович (UA), Котречко Сергій Олексійович (UA), Мешков Юрій Якович (UA), Стеценко Наталія Миколаївна (UA), Сорока Катерина Феодосіївна (UA)
(22) Дата подання заявки: 13.03.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.03.2013	
(41) Публікація відомостей про заявку: 11.06.2012, Бюл.№ 11	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, МСП, 03680, Україна (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.03.2013, Бюл.№ 6	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 97321 C2; 25.01.2012 UA 49501 U; 26.04.2010 UA 95870 C2; 12.09.2011 UA 201112151; 12.03.2012 UA 97081 C2; 26.12.2011 . Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофізика та новітні технології. - 2010. - Тт. 32. - № 8. - С. 1134 . Мешков Ю.Я., Котречко С.А., Шиян А.В., Н.Н. Стеценко Н.Н. Физические основы методики определения хрупкой прочности и механической стабильности сплавов на основе железа при комнатной температуре // Металлофізика та новітні технології. - 2011. - Т. 33. - № 4. - С. 554-555

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРИХКОЇ МІЦНОСТІ І МЕХАНІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів. Спосіб визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від 4 К до 623 К, визначення при цьому основних механічних характеристик та побудову загальної системи для визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K за величинами основних механічних характеристик. Спосіб дає можливість більш точно і інформативно визначати характеристики крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей і сплавів.

UA 101456 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 до визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей.

Відомий спосіб визначення характеристики крихкої міцності R_{MC} конструкційних сталей, при якому проводять розтяг стандартного гладкого циліндричного зразка з кільцевим концентратором повздовж однієї осі зі створенням напруженого стану, який забезпечує окрихчення сталей, 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 величині залишкової деформації в місці розриву ψ , яке дорівнює 2 % [1].

Недоліками даного способу є: а) складність, тривалість в часі та дороговизна виготовлення дослідних зразків з кільцевими концентраторами; б) неможливість визначення характеристики крихкої міцності R_{MC} конструкційних сталей з високим рівнем пластичності ψ_K при температурах випробувань, близьких до кімнатної 293 К.

Відомий також спосіб визначення характеристики крихкої міцності R_{MC} конструкційних сталей, при якому проводять розрахунки R_{MC} за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур не нижче 77 К, у тому числі і при кімнатній температурі 293 К. За цим способом, величину характеристики крихкої міцності R_{MC} визначають шляхом розрахунку відповідно до фізично обґрунтованої залежності для заданої температури випробувань [2]:

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

де n - показник деформаційного зміцнення;

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

$$\bar{\epsilon}_{екв.} = \frac{\epsilon_{екв.}}{0,002}$$

- приведені значення еквівалентної деформації.

Однак, такий спосіб визначення характеристики крихкої міцності конструкційних сталей має наступні суттєві недоліки: а) необхідність ранжування конструкційних сталей за показниками $\sigma_{0,2}$ та n ; б) наявність великої кількості «категорій» при ранжуванні; в) відносно низька точність розрахунків, особливо при кімнатній температурі випробувань 293 К.

Найбільш близьким за технічною суттю та результату, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при кімнатній температурі 29 К, визначення при цьому основних механічних характеристик, розрахунок значень характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} за фізично обґрунтованими формулами [3]:

- на основі залежності $\bar{\epsilon}_{екв.}$ від ψ_K в інтервалі змін пластичності $10 \% \leq \psi_K \leq 60 \%$:

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

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

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

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

де $a=10$; $b=5,125$; $c=63,42$; $d=63,8$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам,

- на основі логарифмічної залежності $\lg \bar{\epsilon}_{екв.}$ від $\lg \psi_K$ в інтервалі змін пластичності $60 \% < \psi_K \leq 81 \%$:

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

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p, \text{ де}$$

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

$$p = \left(\frac{b \cdot \lg \psi_k + c}{d - \lg \psi_k} \right) \cdot n$$

де $a=1$; $b=1,377$; $c=-2,334$; $d=1,985$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам,

$$n = \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B (1 + \delta_p)}{0,2} \right]}{2,7 + \lg [n(1 + \delta_p)]} - \text{показник деформаційного зміцнення,}$$

- 5 ψ_k - відносне звуження після руйнування зразка в %,
 δ_p - відносне рівномірне видовження зразка в частках,
 $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості;
 σ_B - границя міцності.

10 Разом з тим, спосіб визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей за прототипом має наступні недоліки: а) недостатня точність і інформативність при визначенні характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей за результатами випробувань в області низьких та криогенних температур $<293K$; б) відсутність загальної системи для визначення характеристик крихкої міцності та механічної стабільності конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями

15 пластичності ψ_k через основні механічні характеристики металу в інтервалі температур випробувань від 4 K до 293 K.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей шляхом отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для створення фізично обґрунтованої методики,

20 що дозволяє швидко проводити розрахунки R_{MC} і K_{ms} за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг не тільки при кімнатній температурі 293 K, але і в області низьких та криогенних температур $4K \leq T_{вип.} \leq 293K$ з достатньо високою точністю, як для інженерних та технологічних розрахунків, так і для наукових досліджень. Це дозволило на основі отриманих результатів побудувати загальну систему для

25 визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_k та δ_p в інтервалі температур випробувань від 4 K до 293 K. Запропонований спосіб дозволяє здійснювати комплексну оцінку властивостей конструкційних сталей і сплавів та оцінювати їх спроможність опиратись переходу в крихкий стан.

30 Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при кімнатній температурі 293 K, визначення при цьому основних механічних характеристик, значення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} розраховують за фізично

35 обґрунтованими формулами на основі логарифмічної залежності $\lg \bar{e}_{екв.}$ від $\lg \psi_k$ в інтервалі змін пластичності $60 \% < \psi_k \leq 81 \%$, згідно з винаходом, випробування проводять в інтервалі температур від 4 K до 293 K, будують загальну систему для визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k за величинами основних механічних характеристик:

40 - в інтервалі змін пластичності $2 \% \leq \psi_k \leq 60 \%$ на основі напівлогарифмічної залежності $\lg \bar{e}_{екв.}$ від ψ_k :

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

$$m = \left(a + \frac{b \cdot \psi_k + c}{d - \psi_k} \right) \cdot n,$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p, \text{ де}$$

$$p = \left(\frac{b \cdot \psi_k + c}{d - \psi_k} \right) \cdot n$$

45

де $a=1$; $b=0,37$; $c=5,95$; $d=69,52$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам;

- в інтервалі змін пластичності $60\% < \psi_k \leq 81\%$ на основі логарифмічної залежності $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$:

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

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

$$K_{\text{ms}}^{\text{розр.}} = 10^p, \text{ де}$$

$$p = \left(\frac{b \cdot \lg \psi_k + c}{d - \lg \psi_k} \right) \cdot n,$$

де $a=1$; $b=0,63$; $c=-0,82$; $d=1,948$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам,

$$n = \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{0,2} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln (1 + \delta_p)]} - \text{показник деформаційного зміцнення},$$

10 ψ_k - відносне звуження після руйнування зразка в %,
 δ_p - відносне рівномірне видовження зразка в частках,
 $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості,
 σ_B - границя міцності.

За рахунок отримання авторами експериментальних залежностей $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від ψ_k та $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ для конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k і розрахунку на їх основі емпіричних коефіцієнтів, властивих сплавам на основі заліза, запропонований спосіб дозволяє більш інформативно і точно визначати характеристики крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} за величинами основних механічних характеристик металу в інтервалі температур випробувань від 4 К до 293 К. При цьому автори використовують достатньо велику базу експериментальних даних механічних характеристик конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k та міцності $\sigma_{0,2}$, отриманих за результатами випробувань в широкому інтервалі температур від 4 К до 293 К, а саме: значень відносного звуження після руйнування зразка ψ_k ; умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$; границі міцності σ_B та відносного рівномірного видовження зразка δ_p . Це дозволило побудувати загальну систему для визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей і сплавів, що, в свою чергу, дало змогу здійснювати комплексний аналіз їх властивостей, у тому числі оцінювати властивість опору переходу у крихкий стан.

Запропонований спосіб пояснюється таблицями та графіками, а саме:

в таблиці 1 наведені результати визначення характеристик крихкої міцності $R_{\text{MC}}^{\text{розр.}}$ і механічної стабільності $K_{\text{ms}}^{\text{розр.}}$ при різних температурах випробувань в інтервалі від 4К до 293К та оцінка точності визначення цих характеристик за запропонованим способом у порівнянні з експериментальними результатами;

в таблиці 2 наведені значення вибіркового стандарту S , величини довірчого інтервалу та вірогідності P для оцінки точності отриманих залежностей, за якими проводять розрахунки

35 $R_{\text{MC}}^{\text{розр.}}$ і $K_{\text{ms}}^{\text{розр.}}$ для конструкційних сталей і сплавів;

на фіг. 1 зображені загальна експериментальна залежність $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ в інтервалі змін пластичності $2\% \leq \psi_k \leq 81\%$ для досліджуваних конструкційних сталей і сплавів (крива 1); асимптота вздовж осі X - крива 2; асимптота вздовж осі Y - крива 3; I - область середніх та малих пластичних деформацій $2\% \leq \psi_k \leq 60\%$; II - область великих пластичних деформацій $60\% < \psi_k \leq 81\%$;

на фіг. 2 зображені напівлогарифмічна експериментальна залежність $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від ψ_k в інтервалі змін пластичності $2\% \leq \psi_k \leq 60\%$ для досліджуваних конструкційних сталей і сплавів (крива 1); асимптота вздовж осі X - крива 2; асимптота вздовж осі Y - крива 3;

на фіг. 3 зображені логарифмічна експериментальна залежність $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ в інтервалі змін пластичності $60\% < \psi_k \leq 81\%$ для досліджуваних конструкційних сталей і сплавів (крива 1); асимптота вздовж осі X - крива 2; асимптота вздовж осі Y - крива 3.

Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови експериментальних залежностей $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від ψ_k та $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ для різних інтервалів пластичності ψ_k досліджених конструкційних сталей і сплавів матеріали для досліджень добирали за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності конструкційних сталей і сплавів, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від $\sigma_{0,2}=160$ МПа до $\sigma_{0,2}=2060$ МПа, а діапазон характеристик пластичності складав $2,0 \% \leq \psi_k \leq 81,0 \%$. Крім цього, за об'єкти досліджень вибирали конструкційні сталі, які використовують у криогенній техніці та атомній енергетиці. Змінювали також різні режими термічної обробки, температуру випробувань в інтервалі від 4 К до 293 К, рівень опромінення реакторних сталей та зварювальні технології при отриманні зварних швів. Всього в цих дослідженнях використовували результати більш ніж 500 вимірів основних механічних характеристик, отриманих при випробуванні стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш ніж 150-ти видів конструкційних сталей і сплавів.

Проводять розтягування повздовж однієї осі стандартних гладких циліндричних зразків, визначають основні механічні характеристики сплаву при різних температурах випробувань в інтервалі $4\text{K} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{K}$ такі, як: ψ_k - відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості; σ_B - границя міцності; δ_p - відносне рівномірне видовження зразка. Досліджують загальний масив даних для всіх матеріалів, а потім розподіляють його на дві частини: першу - у яких величина пластичності $2 \% \leq \psi_k \leq 60 \%$ та другу - у яких величина пластичності $60 \% < \psi_k \leq 81 \%$.

Методика визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності полягає у наступному:

1) будують загальну експериментальну залежність $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ в інтервалі змін пластичності $2 \% \leq \psi_k \leq 81 \%$ для досліджуваних конструкційних сталей і сплавів, яка може бути апроксимована гіперболічною функцією, що має вигляд (фіг. 1):

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

де $a=1$; $b=0,96$; $c=-1,36$; $d=1,96$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам при різних температурах випробувань в інтервалі $4\text{K} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{K}$.

Залежність $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ має однозначний характер, але оцінка її точності дає наступні результати: вибірковий стандарт складає $S=24,0 \%$ при надійності $P(\lg \bar{e}_{\text{екв.}} \pm 24,0 \%) = 0,683$. Такі показники точності і надійності залежності (1) недостатні для інженерних потреб при її використанні для визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей і сплавів за формулами [3]:

$$R_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \cdot \lg(\bar{e}_{\text{екв.}})} = \sigma_{0,2} \cdot 10^m \quad (2)$$

$$K_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = 10^{n[\lg(\bar{e}_{\text{екв.}})-1]} = 10^p, \quad (3)$$

$$\bar{e}_{\text{екв.}} = \frac{e_{\text{екв.}}}{0,002} \quad \text{де} \quad - \text{приведене значення еквівалентної деформації,}$$

$$n = \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [n(1 + \delta_p)]}$$

- показник деформаційного зміцнення,

ψ_k - відносне звуження після руйнування зразка в %,

δ_p - відносне рівномірне видовження зразка в частках,

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

σ_B - границя міцності.

Відомо, що значення показника пластичності $\psi_k \approx 60 \%$ є критичним, вище якого має місце різке підвищення еквівалентної деформації $\bar{e}_{\text{екв.}}$, що дозволяє розподілити всю побудовану

область залежності $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від $\lg \psi_k$ в інтервалі змін пластичності $2 \% \leq \psi_k \leq 81 \%$ (фіг. 1) на дві: область в інтервалі змін пластичності $60 \% < \psi_k \leq 81 \%$, для якої властиве нарощування ознак в'язкого руйнування в «шийці» зразка, та область в інтервалі змін пластичності $2 \% \leq \psi_k \leq 60 \%$, для якої властиві ознаки крихкого руйнування [4]. В зв'язку з цим, загальний масив даних для всіх матеріалів розподіляють на дві частини: першу - у яких величина пластичності $2 \% \leq \psi_k \leq 60 \%$ та другу - у яких величина пластичності $60 \% < \psi_k \leq 81 \%$. Однак, аналіз, проведений авторами, показує, що за формулами (2) і (3) з емпіричними коефіцієнтами, наведеними в [3], можна визначити характеристики крихкої міцності і механічної стабільності лише для вузького кола

конструкційних сталей за результатами випробувань тільки при кімнатних температурах випробувань (293K), тобто формули (2) і (3) з такими коефіцієнтами є недостатньо інформативними.

З метою побудови загальної системи для більш точного і інформативного визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k за величинами лише основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_k та δ в інтервалі температур випробувань від 4 K до 293 K:

2) будують напівлогарифмічну експериментальну залежність $lg\bar{e}_{екв.}$ від ψ_k в області середніх та малих пластичних деформацій $2\% \leq \psi_k \leq 60\%$ (фіг. 2), що є частиною I загальної логарифмічної залежності $lg\bar{e}_{екв.}$ від $lg\psi_k$ (фіг. 1). Залежність $lg\bar{e}_{екв.}$ від ψ_k може бути апроксимована гіперболічною функцією, що має вигляд (фіг. 2):

$$lg\bar{e}_{екв.} = a + \frac{b \cdot \psi_k + c}{d - \psi_k}, \quad (4)$$

де $a=1$; $b=0,37$; $c=5,95$; $d=69,52$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам при різних температурах випробувань в інтервалі $4K \leq T_{вип.} \leq 293 K$.

Після цього, підставляючи вираз (4) в залежності (2) і (3), отримують наступні формули для розрахунку характеристик крихкої міцності і механічної стабільності:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0,2} \cdot 10^m, \quad \text{де (5)}$$

$$m = \left(a + \frac{b \cdot \psi_k + c}{d - \psi_k} \right) \cdot n,$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p, \quad \text{де (6)}$$

$$p = \left(\frac{b \cdot \psi_k + c}{d - \psi_k} \right) \cdot n,$$

де $a=1$; $b=0,37$; $c=5,95$; $d=69,52$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам в інтервалі змін пластичності $2\% \leq \psi_k \leq 60\%$;

3) далі будують логарифмічну експериментальну залежність $lg\bar{e}_{екв.}$ від $lg\psi_k$ в області великих пластичних деформацій $60\% < \psi_k \leq 81\%$ (фіг. 3), що є частиною II загальної логарифмічної залежності $lg\bar{e}_{екв.}$ від $lg\psi_k$ (фіг. 1). Залежність $lg\bar{e}_{екв.}$ від $lg\psi_k$ може бути апроксимована гіперболічною функцією, що має вигляд (фіг. 3):

$$lg\bar{e}_{екв.} = a + \frac{b \cdot lg\psi_k + c}{d - lg\psi_k}, \quad (7)$$

де $a=1$; $b=0,63$; $c=-0,82$; $d=1,948$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам при різних температурах випробувань в інтервалі $4K \leq T_{вип.} \leq 293 K$.

Після цього, підставляючи вираз (7) в залежності (2) і (3), отримують наступні формули для розрахунку характеристик крихкої міцності і механічної стабільності:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0,2} \cdot 10^m, \quad \text{де (8)}$$

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

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p, \quad \text{де (9)}$$

$$p = \left(\frac{b \cdot lg\psi_k + c}{d - lg\psi_k} \right) \cdot n,$$

де $a=1$; $b=0,63$; $c=-0,82$; $d=1,948$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам в інтервалі змін пластичності $60\% < \psi_k \leq 81\%$.

Таким чином, загальна система для визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k за величинами лише основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_k та δ в інтервалі температур випробувань від 4 K до 293 K включає наступні умови:

- розрахунок характеристик R_{MC} і K_{ms} для конструкційних сталей і сплавів з рівнем ψ_k в області середніх та малих пластичних деформацій $2\% \leq \psi_k \leq 60\%$ здійснюють за формулами (5) і (6);

- розрахунок характеристик R_{MC} і K_{ms} для конструкційних сталей і сплавів з рівнем ψ_k в області великих пластичних деформацій $60\% < \psi_k \leq 81\%$ здійснюють за формулами (8) і (9).

Результати розрахунків характеристик крихкої міцності і механічної стабільності для деяких конструкційних сталей і сплавів наведені в таблиці 1, а результати оцінки точностей залежностей, за якими проводять розрахунки, наведені в таблиці 2.

Отже, за допомогою запропонованого способу, можна побудувати загальну систему для більш точного і інформативного визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_k за величинами лише основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_k та δ_p в інтервалі температур випробувань від 4 К до 293 К. При цьому отримані залежності для розрахунку R_{MC} і K_{ms} інваріантні до різних сполучень властивостей міцності і пластичності сплавів, їх видам, режимам термічної обробки, величини нейтронного опромінення та температури випробувань. Оцінка точності розрахунку характеристик крихкої міцності і механічної стабільності за запропонованим способом достатня як для інженерних розрахунків, так і для наукових досліджень, а саме

вибірковий стандарт складає $S=4,7\%$ при вірогідності $P(R_{MC}^{розр.}, K_{ms}^{розр.} \pm 8,0\%) = 0,911$, що дає можливість здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних сталей і сплавів та оцінювати їх спроможність чинити опір переходу у крихкий стан.

Література:

1. Патент України на корисну модель № 49501, МПК G01N 3/08, 2010.
2. Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофізика та новітні технології. – 2010. - Т. 32. - № 8. - С. 1134.
3. Патент України на винахід № 97321, МПК G01N 3/08, 2012.
4. Мешков Ю.Я., Котречко С.А., Шиян А.В., Стеценко Н.Н. Физические основы методики определения хрупкой прочности и механической стабильности сплавов на основе железа при комнатной температуре // Металлофізика та новітні технології. – 2011. - Т. 33. - № 4. - С. 554-555.

Таблиця 1

№ п/п	Сталі, сплави	Обробка, структурні параметри	T _{вип.} , K	σ _{0,2} , МПа	σ _и , МПа	Ψ _к , %	δ _p	R _{МС} ^{експ.} , МПа	R _{МС} ^{розр.} , МПа	K _{мс} ^{експ.}	K _{мс} ^{розр.}	Δ, %
1	12ХНЗМФА	ШТО (t _a =850 °С, t _o =660 °С); d _{н.в.з.} =7,9 мкм; t _{н.в.з.} =0,037 мкм	293	800	850	80,0	0,036	1700	1654	1,968	1,914	-2,7
2			193	880	940	78,0	0,041		1642	1,781	1,720	-3,4
3			153	910	955	78,0	0,030		1514	1,748	1,557	-10,9
4	12ХНЗМФА	ШТО (ТЦО при t _a =850 °С, 3 цикла, t _o =660 °С); d _{н.в.з.} =3,8 мкм; t _{н.в.з.} =0,025 мкм	293	900	1060	75,0	0,081	2200	2223	2,100	2,122	+1,0
5			233	920	1110	74,0	0,097		2337	2,021	2,147	+6,2
6			113	1050	1220	74,0	0,079		2320	1,816	1,915	+5,5
7			93	1120	1290	73,0	0,079		2284	1,712	1,777	+3,8
8			77	1210	1400	68,0	0,099		2117	1,575	1,515	-3,8
9	09Г2	Стан постачання	293	378	530	61,8	0,193	909	828	1,846	1,681	-8,9
10			233	460	630	60,5	0,182		933	1,538	1,578	+2,6
11			193	455	620	61,0	0,180		927	1,559	1,591	+2,0
12			93	720	760	55,0	0,039		882	1,175	1,139	-3,0
13	20ХГС2	Мартенсит, бейніт	293	1040	1210	60,2	0,100	1880	1881	1,560	1,561	0,0
14			193	950	1250	55,3	0,160		1812	1,579	1,522	-3,6
15		Ферит, тростит, бейніт	293	540	795	55,7	0,206	1285	1264	1,779	1,750	-1,6
16			173	600	830	56,2	0,182		1295	1,658	1,671	+0,8
17	АК-37	Стан постачання	293	1443	1681	54,9	0,100	2300	2181	1,375	1,304	-5,2
18			173	1496	1764	55,4	0,106		2342	1,315	1,340	+1,8
19			133	1616	1864	53,3	0,094		2324	1,236	1,249	+1,0
20			113	1636	1874	53,8	0,090		2343	1,227	1,250	+1,9
21			103	1682	1865	54,0	0,071		2268	1,223	1,206	-1,4
22			84	1740	2051	41,2	0,100		2281	1,132	1,123	-0,8
23	07Х16Н6	Стан постачання	293	1105	1367	70,5	0,135	2242	2010	1,680	1,506	-10,3
24			200	1153	1580	59,5	0,184		2441	1,513	1,647	+8,9
25			4	1552	2115	50,2	0,157		2276	1,131	1,148	+1,5

26		Флюенс $\Phi=0,0 \times 10^{-22}$	293	558	658	76,0	0,078		1294	2,071	2,087	+0,9
27		н/м ²	293	598	703	71,0	0,101		1226	1,840	1,732	-4,4
28	15X2НМФА*	Флюенс $\Phi=11,7 \times 10^{-22}$						1283				
		н/м ²										
		Флюенс $\Phi=17,7 \times 10^{-22}$	293	606	713	71,0	0,102		1207	1,815	1,735	-5,9
		н/м ²										
29			293	430	636	67,5	0,222		1323	2,249	2,290	+1,8
30	X75	ЗШ (порошковий дріт	233	430	682	64,8	0,245	1300	1317	2,166	2,194	+1,3
31		ПП-АН30, один шар)	213	430	701	63,9	0,254		1323	2,134	2,172	+1,8
32			173	443	745	62,1	0,261		1320	2,039	2,071	+1,5
33			293	628	780	68,1	0,140		1329	1,681	1,747	+4,0
34	12ХН2МДФ	ЗШ (керамічний	253	645	787	64,0	0,128	1278	1154	1,656	1,495	-9,7
		флюс 48-										
35		АНК-54) В = 0,0022	173	679	845	58,3	0,136		1317	1,554	1,601	+3,1
		віс. %										
S=												4,7
P (R _{MC} ^{розр.} , K _{ms} ^{розр.} ± 8,0 %) =												0,911

Примітки: А - абсолютне відхилення розрахункових значень характеристик крихкої міцності і механічної стабільності ($R_{MC}^{розр.}$, $K_{ms}^{розр.}$) від експериментальних ($R_{MC}^{експ.}$, $K_{ms}^{експ.}$); ШТО - швидкісна термічна обробка; ТЦО - термоциклічна обробка;
 $d_{н.в.з.}$ - найбільш вірогідний розмір аустенітного пакета; $t_{н.в.з.}$ - найбільш вірогідний розмір карбідних часток; ЗШ - зварний шов; * - сталь корпусу реактора Хмельницької АЕС; В - вміст бору у зварному шві.

Таблиця 2

№ залежності	Залежність	Вибірковий стандарт S, %	Параметр для обчислення вірогідності	Довірчий інтервал	Вірогідність (надійність) Р
(1)	$lg \bar{e}_{екв.} - lg \psi_K$	24,0	$lg \bar{e}_{екв.}$	± 24,0 %	0,683
(4)	$lg \bar{e}_{екв.} - \psi_K$	4,8	$lg \bar{e}_{екв.}$	± 8,0	0,905
(7)	$lg \bar{e}_{екв.} - lg \psi_K$	10,3	$lg \bar{e}_{екв.}$	± 15,0	0,866

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- Спосіб визначення характеристик крихкої міцності і механічної стабільності конструкційних сталей, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг, визначення при цьому основних механічних характеристик та розрахунок значень характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} за фізично обґрунтованими формулами, який **відрізняється** тим, що випробування проводять в інтервалі температур від 4 К до 293 К, причому будують загальну систему для визначення характеристик крихкої міцності R_{MC} і механічної стабільності K_{ms} сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K за величинами основних механічних характеристик:
- в інтервалі змін пластичності $2\% \leq \psi_K \leq 60\%$ на основі напівлогарифмічної залежності $lg \bar{e}_{екв.}$ від ψ_K :

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

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

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p, \text{ де}$$

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

де $a=1$; $b=0,37$; $c=5,95$; $d=69,52$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам;

- в інтервалі змін пластичності $60\% < \psi_K \leq 81\%$ на основі логарифмічної залежності $\lg \bar{e}_{\text{екв.}}$ від

5 $\lg \psi_K$:

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

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

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

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

10 де $a=1$; $b=0,63$; $c=-0,82$; $d=1,948$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним сталям і сплавам,

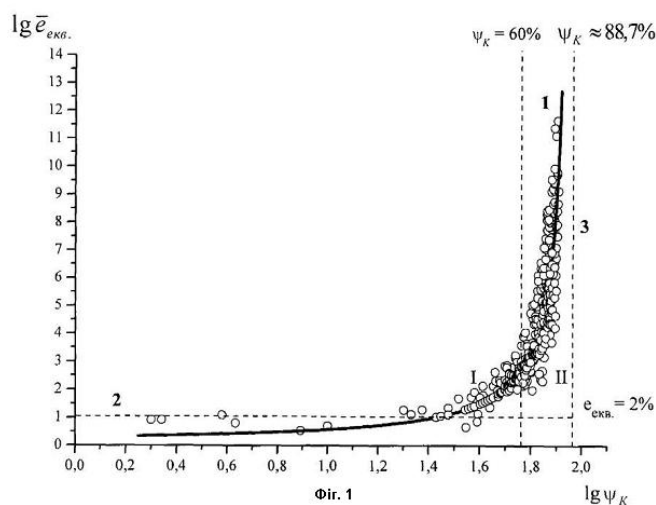
$$n = \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} - \text{показник деформаційного зміцнення},$$

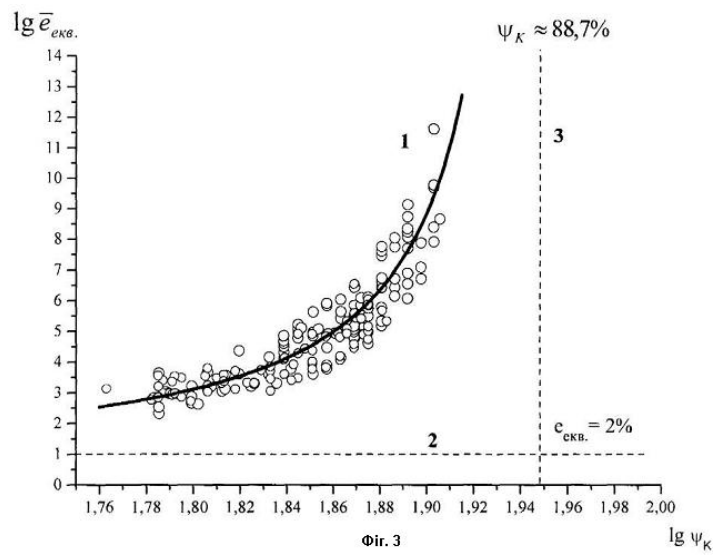
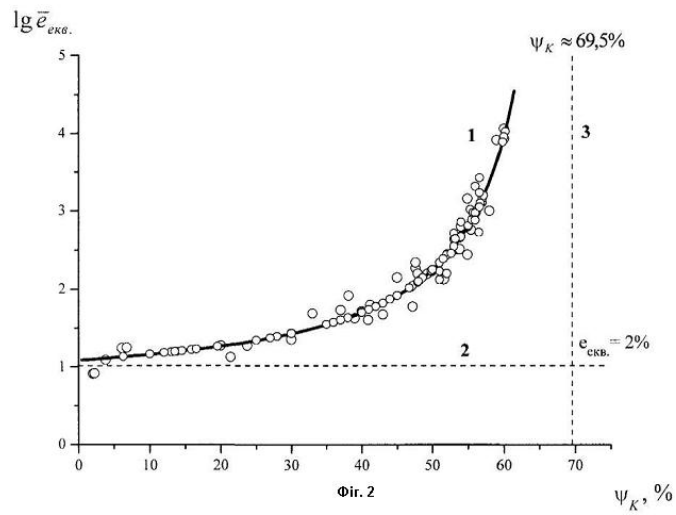
ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка в %,

δ_p - відносне рівномірне видовження зразка в частках,

15 $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості,

σ_B - границя міцності.





Комп'ютерна верстка І. Скворцова

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