



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102956** (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 ВІНАХІД

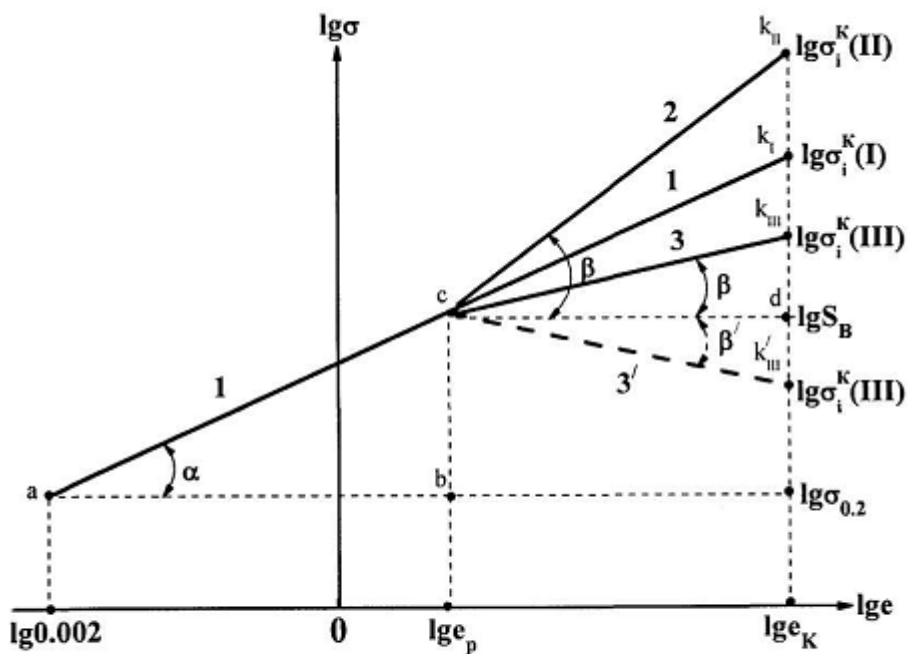
(21) Номер заявки: а 2012 09066	(72) Винахідник(и): Шиян Артур Віталійович (UA), Котречко Сергій Олексійович (UA), Мешков Юрій Якович (UA)
(22) Дата подання заявки: 23.07.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 27.08.2013	
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.12.2012, Бюл.№ 23	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бульвар Вернадського, 36, м. Київ-142, 03680 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.08.2013, Бюл.№ 16	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 55930 U; 27.12.2010 UA 201202928; 11.06.2012 UA 95870 C2; 12.09.2011 UA 41818U; 10.06.2009 Применение экспресс-метода для определения хрупкой прочности металлических сплавов, используемых в криогенной технике / С. А. Котречко [и др.] // Металлофизика и новейшие технологии. - 2011. - Т. 33, № 3. - С. 407-423 Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофизика и новейшие технологии. - 2010 - Т. - 32. - № 8 - С. 1125-1134

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів. Спосіб визначення показників деформаційного зміцнення конструкційних сталей включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від 4 К до 293 К, визначення при цьому базових механічних характеристик та характеристик істинного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного видовження δ_r , побудову експериментальних залежностей опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg \epsilon)$, що характеризуються зберіганням властивості лінійності та наявністю зламу, при якому кут нахилу цієї залежності підвищується або знижується, встановлення групи сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, подальшої побудови експериментальних залежностей для кожної групи сплавів, розрахунку на їх основі емпіричних коефіцієнтів та визначення показників деформаційного зміцнення за формулами, наведеними в описі винаходу. Винахід дає можливість визначати показники деформаційного

UA 102956 C2

зміцнення конструкційних сталей або сплавів в області нерівномірної деформації за даними лише базових механічних характеристик $\sigma_{0.2}$, σ_B , ψ_K та характеристики відносного рівномірного видовження δ_p більш точно і інформативно. Це призводить до можливості здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних сталей і сплавів та більш точно визначати характеристики крихкої міцності і механічної стабільності, тобто оцінювати спроможність цих сплавів чинити опір переходу у крихкий стан.



Фиг. 1

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4К до 293К, а саме, до визначення показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі.

- Відомий спосіб визначення показника деформаційного зміцнення конструкційної сталі при випробуванні гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур випробувань від 77К до 293К за формулою [1]:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}}\right)}{\lg\left(\frac{e_p}{0.002}\right)},$$

де: істинне напруження на границі міцності $S_B = \sigma_B \cdot (1 + \delta_p)$, МПа;

істинна рівномірна деформація $e_p = \ln(1 + \delta_p)$,

10 $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості, МПа;

σ_B - границя міцності, МПа;

δ_p - відносне рівномірне видовження зразка, в частках.

- Недоліками даного способу є наступні: а) показники деформаційного зміцнення, визначені за даним способом в області рівномірної деформації, зберігають свою величину в області нерівномірної деформації лише для вузького кола конструкційних сталей; б) не враховується поведінка залежності опору пластичній деформації в логарифмічних координатах в інтервалі змін міцності від істинного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K .

- Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі, при якому враховують факт зламу залежності опору пластичної деформації в логарифмічних координатах в інтервалі змін міцності від істинного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K . Таким чином, для розрахунку показників деформаційного зміцнення за основу приймають певну лінійну залежність, що усереднює вплив ефекту зламу залежності опору пластичної деформації в області нерівномірної деформації, а величина самих показників являє собою певну усереднену комбінацію їх значень як в області рівномірної, так і в області нерівномірної деформації. При цьому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах від 4К до 293К, визначення при цьому базових механічних характеристик конструкційної сталі та побудову експериментальної залежності $\lg \zeta = f(\lg e)$, що характеризується зберіганням властивості лінійності в області нерівномірної деформації, після чого визначають показник деформаційного зміцнення n за наступною формулою [2]:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}}\right)}{\lg\left(\frac{e_p}{0.002}\right)},$$

- Разом з тим, спосіб визначення показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі за прототипом має наступні недоліки: а) недостатню точність та інформативність щодо визначення показників деформаційного зміцнення для широкого кола конструкційних сталей і сплавів, що мають злам залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації при температурах випробувань гладких зразків від 4К до 293К; б) відсутність методики розподілу конструкційних сталей і сплавів за групами в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну; в) відсутність залежностей для визначення показників деформаційного зміцнення конструкційних сталей і сплавів з різною природою поведінки залежності опору пластичної деформації в логарифмічних координатах в інтервалі змін міцності від істинного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K .

- В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі з урахуванням особливостей поведінки залежності опору пластичної деформації $\lg \zeta = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації,

використовуючи при цьому базові механічні характеристики та характеристики істинного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного видовження δ_p , отримані в широкому інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4K до 293K. Поставлена задача вирішується шляхом отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для розрахунку величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K та побудови залежностей $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації, які характеризуються:

- зберіганням властивості лінійності залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K ;

- наявністю зламу залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K і підвищенням кута нахилу цієї залежності;

- наявністю зламу залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K і зниженням кута нахилу цієї залежності, та встановлення відповідної групи сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну. Крім цього, авторами побудовано експериментальні

залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$ для кожної групи сплавів, що дозволило встановити

зв'язок між показниками деформаційного зміцнення в області нерівномірної деформації і базовими механічними характеристиками сплаву, такими, як відносне звуження після руйнування зразка ψ_K , умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$, границя міцності σ_B та допоміжної характеристики відносного рівномірного видовження δ_p , з метою знаходження емпіричних коефіцієнтів у формулах, які властиві конструкційним сталям. Це дозволило авторам розробити загальну методику розподілу широкого кола конструкційних сталей і сплавів за групами та спосіб визначення показників деформаційного зміцнення для сплавів кожної групи. Винахід дає можливість більш інформативно і точно визначати показники деформаційного зміцнення конструкційних сталей і сплавів в області нерівномірної деформації за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_K та характеристики відносного рівномірного видовження δ_p , що, в свою чергу, дозволяє здійснювати комплексну оцінку їх властивостей та більш точно оцінювати спроможність опиратись переходу в крихкий стан.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 4K до 293K, визначення при цьому базових механічних характеристик та характеристик істинного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного видовження δ_p , побудову експериментальної залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризується зберіганням властивості лінійності, згідно з

винаходом, розраховують величину інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K та додатково будують експериментальні залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризуються наявністю зламу, при якому кут нахилу цієї залежності підвищується або знижується, встановлюють групу сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, далі будують експериментальні залежності

$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$, для кожної групи сплавів, розраховують на їх основі емпіричні

коефіцієнти та визначають показники деформаційного зміцнення за формулами:

для I-ої групи сплавів:

$$n^I = n = \frac{\lg \left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \right)}{\lg \left(\frac{e_p}{0.002} \right)},$$

для II-ої групи сплавів:

$$n^{II} = \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left\{ a - \frac{b}{1 + c \cdot \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]^d} \right\};$$

для III-ої групи сплавів:

$$n^{III} = - \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left[A + B \cdot \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$$

де:

5 $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості, МПа;

σ_B - границя міцності, МПа;

$S_B = \sigma_B \cdot (1 + \delta_p)$ - істинне напруження на границі міцності, МПа;

$e_p = \ln(1 + \delta_p)$ - істинна рівномірна деформація;

δ_p - відносне рівномірне видовження, в частках;

10 $e_K = -\ln(1 - \psi_K)$ - істинна деформація після руйнування зразка;

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках;

$a = 55,427$; $b = 55,357$; $c = 0,084$; $d = 1,973$; $A = -0,094$; $B = 0,946$ – емпіричні коефіцієнти.

За рахунок отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для

розрахунку величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K та побудови залежностей

15 $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації, які характеризуються різними особливостями поведінки, встановлення відповідної групи сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну та

побудови експериментальної залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$ для кожної групи

20 сплавів, запропонований спосіб дозволяє більш інформативно і точно визначати показники деформаційного зміцнення конструкційних сталей і сплавів в області нерівномірної деформації за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , та характеристики відносного

рівномірного видовження δ_p . При цьому автори використовують достатньо велику базу експериментальних даних механічних характеристик конструкційних сталей і сплавів з різними

25 рівнями пластичності ψ_K та міцності $\sigma_{0,2}$, отриманих за результатами випробувань в широкому інтервалі температур від 4К до 293К, а саме: значень відносного звуження після руйнування зразка ψ_K ; умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$; границі міцності σ_B ; істинного напруження руйнування

зразка S_K та відносного рівномірного видовження δ_p . Крім того, запропонований спосіб дозволив розробити загальну методику розподілу широкого кола конструкційних сталей і сплавів за

30 групами в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну та спосіб визначення показників деформаційного зміцнення для сплавів кожної групи з точністю, достатньою не тільки для інженерних

розрахунків, але й наукових досліджень. Це дасть можливість здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних сталей і сплавів, у тому числі більш точно визначати

35 характеристики крихкої міцності і механічної стабільності, тобто оцінювати спроможність цих сплавів чинити опір переходу у крихкий стан. Запропонований спосіб пояснюється таблицями та графіками, а саме: в таблиці 1 наведені значення основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B ,

ψ_K деяких конструкційних сталей і зварних швів, виконаних за різними зварювальними технологіями, а також результати розрахунку показників n , n^{II} та n^{III} в інтервалі температур

40 випробувань від 4К до 293К; в таблиці 2 наведені співвідношення між кількістю марок конструкційних сталей, що належать до різних груп;

в таблиці 3 наведені значення вибіркового стандарту S , величини довірчого інтервалу та вірогідності P для оцінки точності залежностей, які використовують для розрахунку показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі;

на фіг. 1 зображена схема залежностей опору пластичній деформації в логарифмічних координатах $\lg \sigma = f(\lg e)$ для сплавів: I-ї групи $\lg \alpha = n = n^I$ (крива 1); II-ї групи $\lg \beta = n^II$ (крива 2); III-ї групи $\lg \beta(\beta') = n^III$ (криві 3, 3');

на фіг.2, 3 зображені експериментальні залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$ для

5 досліджених конструкційних сталей і сплавів, що належать до різних груп, у масштабі по координаті X: від 0 до 5 (фіг.2); від 0 до 0,7 (фіг.3); експериментальні дані для конструкційних сталей і сплавів, отримані інтервалі температур випробувань від 4K до 293K: \blacktriangle - сплави I-ї групи (крива 1), \circ - сплави II-ї групи (крива 2), \square - сплави III-ї групи (крива 3).

Спосіб реалізується наступним чином.

10 З метою розрахунку величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K та побудови залежностей $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації, які характеризуються різними особливостями поведінки, встановлення відповідної групи сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та

15 більших за рівномірну та побудови експериментальної залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$ для кожної групи 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 $\sigma_{0,2}=138$ МПа до $\sigma_{0,2}=2250$ МПа, а діапазон характеристик пластичності складав $1,5 \% \leq \psi_K \leq 86,0 \%$. Крім цього, за об'єкти досліджень обирали конструкційні сталі, які

20 використовують у криогенній техніці та атомній енергетиці. Змінювали також різні режими термічної обробки, температуру випробувань в інтервалі від 4K до 293K та зварювальні технології при отриманні зварних швів. Всього в цих дослідженнях використовували результати більш ніж 1000 вимірів деформаційних характеристик та характеристик міцності, отриманих при випробуванні стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш

25 ніж 400 марок конструкційних сталей і сплавів.

Проводять розтягування повздож однієї осі стандартних гладких циліндричних зразків та визначають базові механічні характеристики сплаву такі, як: ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості; S_B - границя міцності, а також характеристики істинного напруження руйнування зразка S_K та відносного рівномірного

30 видовження δ_p при різних температурах випробувань в інтервалі $4K \leq T_{\text{вип}} \leq 293K$.

Методика визначення показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі полягає у наступному:

1) з метою урахування явища локалізації деформації в "шийці" при розтягу зразка в інтервалі змін міцності від S_B до S_K , що обумовлює необхідність розглядати "шийку" як

35 концентратор напружень, розраховують величину інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K за відомими формулами [3]:

$$\sigma_i^K = \frac{S_K}{(1 + 2/\eta) \cdot \ln(1 + \eta/2)}, \text{ МПа, (1)}$$

де параметр $\eta = f(\psi_K)$:

$$\eta = 0,92 \cdot \left[\ln \left(\frac{1}{1 - \psi_K} \right) - 0,1 \right] \quad (2)$$

40 та будують експериментальну залежність опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризується зберіганням властивості лінійності [2], враховуючи при цьому необхідність заміни характеристики S_K на характеристику σ_i^K , яка більш точно відображає напружений стан зразка при руйнуванні в умовах концентрації напружень (фіг. 1, крива 1). Таким чином, конструкційні сталі, що зберігають властивість лінійності залежності

45 опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K , умовно відносять до сплавів I-ї групи, при цьому показник деформаційного зміцнення для таких сплавів визначають

як $\operatorname{tg} \alpha = n \approx n^I$, а, виходячи з подібності трикутників abc і cdk_1 (див. фіг. 1, крива 1), має місце рівність:

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \pm 5\%, \quad (3)$$

звідки будують наступну залежність для сплавів I-ї групи (див. фіг. 2, 3, крива 1):

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)}; \quad (4)$$

2) додатково будують експериментальні залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризуються наявністю зламу, при якому кут нахилу цієї залежності:

- підвищується в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K - такі сплави умовно відносять до сплавів II-ї групи, показник деформаційного зміцнення для них визначають як $\operatorname{tg} \beta = n^{II}$ ($n^{II} > n$), а, виходячи з відсутності подібності трикутників abc і cdk_{II} (див. фіг. 1, крива 2), має місце нерівність:

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} > \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} + 5\%; \quad (5)$$

звідки будують наступну залежність для сплавів II-ї групи (див. фіг. 2, 3, крива 2):

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f^{II} \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right], \quad (6)$$

- знижується в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K - такі сплави умовно відносять до сплавів III-ї групи, показник деформаційного зміцнення для них визначають як $\operatorname{tg} \beta(\beta') = n^{III}$ ($n^{III} < n$), а, виходячи з відсутності подібності трикутників abc і cdk_{III} (cdk'_{III}) (див. фіг. 1, криві 3, 3'), має місце нерівність:

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} < \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} - 5\%; \quad (7)$$

звідки будують наступну залежність для сплавів III-ї групи (див. фіг. 2, 3, крива 3):

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f^{III} \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]; \quad (8)$$

3) таким чином, групу сплаву встановлюють в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, використовуючи при цьому відповідність співвідношення певних механічних характеристик даного сплаву умовам (3), (5) або (7).

4) далі будують експериментальні залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$ для кожної

групи сплавів (фіг. 2, 3), розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти та визначають показники деформаційного зміцнення:

- для I-ї групи сплавів, згідно рівності (4), показник деформаційного зміцнення n^I визначають аналогічно показнику n за формулою:

$$n^I = n = \frac{\lg \left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \right)}{\lg \left(\frac{e_p}{0.002} \right)}, \quad (9)$$

- для II-ї групи сплавів, згідно залежності (6), яка апроксимується функцією виду $Y = f \left(a - \frac{b}{1 + c \cdot X^d} \right)$, показник деформаційного зміцнення n^{II} визначають за формулою:

$$n^{II} = \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left\{ a - \frac{b}{1 + c \cdot \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]^d} \right\}; \quad (10)$$

- для III-ї групи сплавів, згідно залежності (8), яка апроксимується функцією виду $Y=f(A+BX)$, показник деформаційного зміцнення n^{III} визначають за формулою:

$$n^{III} = - \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left[A + B \cdot \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right], \quad (11)$$

5

де:

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

σ_B - границя міцності, МПа;

$S_B = \sigma_B \cdot (1 + \delta_p)$ - істинне напруження на границі міцності, МПа;

$e_p = \ln(1 + \delta_p)$ - істинна рівномірна деформація;

10

δ_p - відносне рівномірне видовження, в частках;

$e_K = \ln(1 - \psi_K)$ - істинна деформація після руйнування зразка;

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках;

$a = 55,427$; $b=55,357$; $c = 0,084$; $d=1,973$; $A = -0,094$; $B = 0,946$ – емпіричні коефіцієнти.

15

Результати розрахунків показників деформаційного зміцнення для деяких конструкційних сталей і сплавів за формулами (9), (10) і (11) наведені в таблиці 1, співвідношення між кількістю марок конструкційних сталей, що належать до різних груп наведені в таблиці 2, а результати оцінки точності залежностей (4), (6), (8), які використовують для розрахунку показників деформаційного зміцнення конструкційної сталі, наведені в таблиці 3.

20

Отже, за допомогою запропонованого способу, можна визначати показники деформаційного зміцнення конструкційних сталей або сплавів в області нерівномірної деформації за даними лише базових механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_K та характеристики відносного рівномірного видовження δ_p більш точно і інформативно. При цьому, отримані залежності для розрахунку показників деформаційного зміцнення $n(n^I)$, n^{II} і n^{III} інваріантні до різних сполучень властивостей міцності і пластичності сплавів, їх видам, режимам термічної обробки та температури випробувань. Оцінка точності розрахунку показників рівномірної деформації за запропонованим способом цілком достатня як для інженерних розрахунків, так і для наукових досліджень, що дає можливість здійснювати комплексний аналіз властивостей конструкційних сталей і сплавів та більш точно визначати характеристики крихкої міцності і механічної стабільності, тобто оцінювати спроможність цих сплавів чинити опір переходу у крихкий стан.

30

Джерела інформації:

1. Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофизика и новейшие технологии, 2010, т. 32, № 8, С. 1125-1134.

35

2. Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В., Озерский М.В. Применение экспресс-метода для определения хрупкой прочности металлических сплавов, используемых в криогенной технике // Металлофизика и новейшие технологии.-2011, т. 33, № 3, С. 409-418.

3. Мешков Ю.Я., Сердитова Т.Н. Разрушение деформированной стали // Киев: Наук, думка, 1989, С. 67-72.

Таблица 1

№ п/п	Сталі, сплави	Група	$T_{\text{вип.}} \text{ К}$	$\sigma_{0,2}, \text{ МПа}$	$\sigma_B, \text{ МПа}$	$\psi_K, \%$	$n(n^I) \text{ (9)}$	$n^{II} \text{ (10)}$	$n^{III} \text{ (11)}$
1	Ст3 ¹	I	293	240	400	68,0	0,162	-	-
2	15ХСНД		293	320	510	68,0	0,151	-	-
3	20ХГС2 ²		293	540	795	55,7	0,132	-	-
4	50Х		293	1860	2300	16,5	0,080	-	-
5	12 × 18Н10Т		4	503	1730	49,0	0,308	-	-

Продовження таблиці 1

6	X75 (CШ) ³	II	253	361	662	61,3	0,183	-	-
7	09Г2		293	400	547	74,7	0,113	0,231	-
8	10Г2ФБ		293	470	560	81,0	0,073	0,213	-
9	12ХН3МФА ⁴		193	940	1150	76,0	0,082	0,207	-
10	15 × 2НМФА		293	558	658	76,0	0,070	0,195	-
11	AK-35		293	1027	1141	75,0	0,051	0,171	-
12			173	1127	1204	67,8	0,037	0,141	-
13	20ХГС2 ⁵		293	1040	1210	60,2	0,068	0,155	-
14	12 × 18Н10Т		293	260	695	78,0	0,261	0,387	-
15	X75 (CШ) ⁶		253	430	639	65,7	0,135	0,219	-
16	Ст3 сп. ⁷	III	233	213	378	64,4	0,176	-	0,090
17	Ст20кп. ⁸		293	230	390	55,0	0,165	-	0,078
18	60 ⁹		293	410	690	35,0	0,158	-	0,036
19	07 × 16Н6		200	1153	1580	62,0	0,114	-	0,073
20	У8		213	473	885	11,2	0,187	-	-0,105
21	Р9		293	475	873	17,6	0,176	-	-0,047
22	45Л		293	400	750	20,0	0,180	-	-0,039

- Примітки: 1 - гарячекатана; 2 - гарячекатаний стан (ферит, троостит, бейніт); 3 - зварний шов, виконаний порошковим дротом АН30 в 2 шари; 4 - швидкісна термообробка - ШТО (термоциклічна обробка при $t_a=850^\circ\text{C}$, 3 цикли, $t_0=660^\circ\text{C}$); 5 - термічно зміцнений стан (мартенсит, бейніт); 6 - зварний шов, виконаний порошковим дротом АН30 в 1 шар; 7 - нагрів 1373K , 2,75 год., охолодження з піччю в вакуумі; 8 - гарячекатана; 9 - після нормалізації.

Таблиця 2

Сплави I-ї групи	Сплави II-ї групи	Сплави III-ї групи
~11 %	~ 70,5 %	~18,5 %

10

Таблиця 3					
№ залежності	Залежність	Вибірковий стандарт S	Параметр для обчислення вірогідності	Довірчий інтервал	Вірогідність Р
(4)	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)}$	0,028	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}$	±0,05	0,925
(6)	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f^{\text{II}} \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$	0,551	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}$	±1,0	0,930

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- Спосіб визначення показників деформаційного зміцнення конструкційних сталей, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 4 К до 293 К, визначення при цьому базових механічних характеристик та характеристик істинного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного видовження δ_p , побудову експериментальної залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризується зберіганням властивості лінійності, який **відрізняється** тим, що розраховують величину інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K та додатково будують експериментальні залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризуються наявністю зламу, при якому кут нахилу цієї залежності підвищується або знижується, встановлюють групу сплаву в

залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, далі будують експериментальні залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$ для кожної групи сплавів та розраховують на їх основі емпіричні

коефіцієнти, а показники деформаційного зміцнення визначають за формулами:

5 для I-ї групи сплавів:

$$n^I = n = \frac{\lg\left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}}\right)}{\lg\left(\frac{e_p}{0,002}\right)},$$

для II-ї групи сплавів:

$$n^{II} = \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left\{ a - \frac{b}{1 + c \cdot \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]^d} \right\},$$

для III-ї групи сплавів:

$$10 \quad n^{III} = -\frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left[A + B \cdot \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right],$$

де:

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

S_B - границя міцності, МПа;

$S_B = \sigma_B \cdot (1 + \delta_p)$ - істинне напруження на границі міцності, МПа;

15 $e_p = \ln(1 + \delta_p)$ - істинна рівномірна деформація;

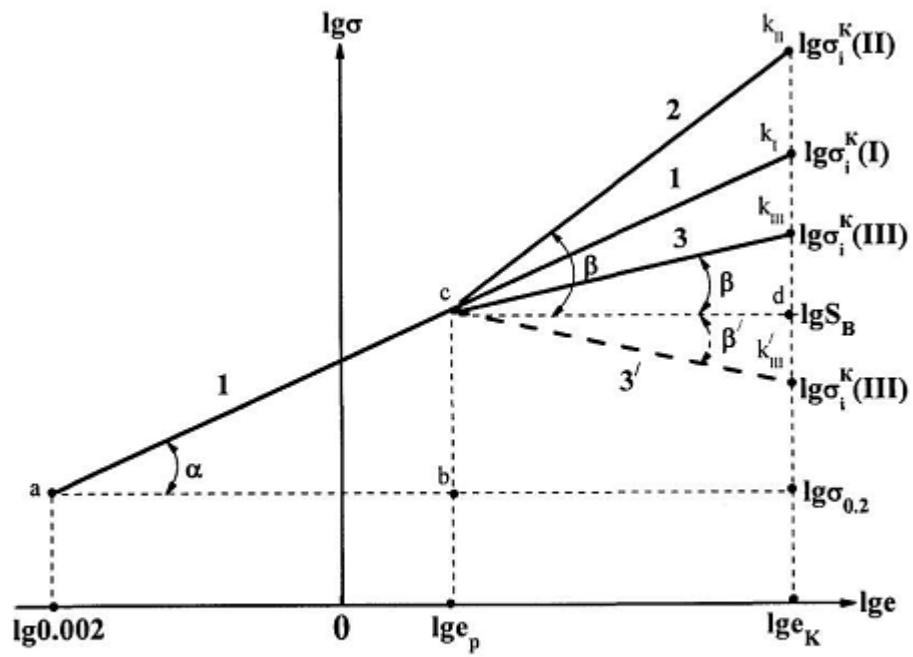
δ_p - відносне рівномірне видовження, в частках;

$e_K = \ln(1 - \psi_K)$ - істинна деформація після руйнування зразка;

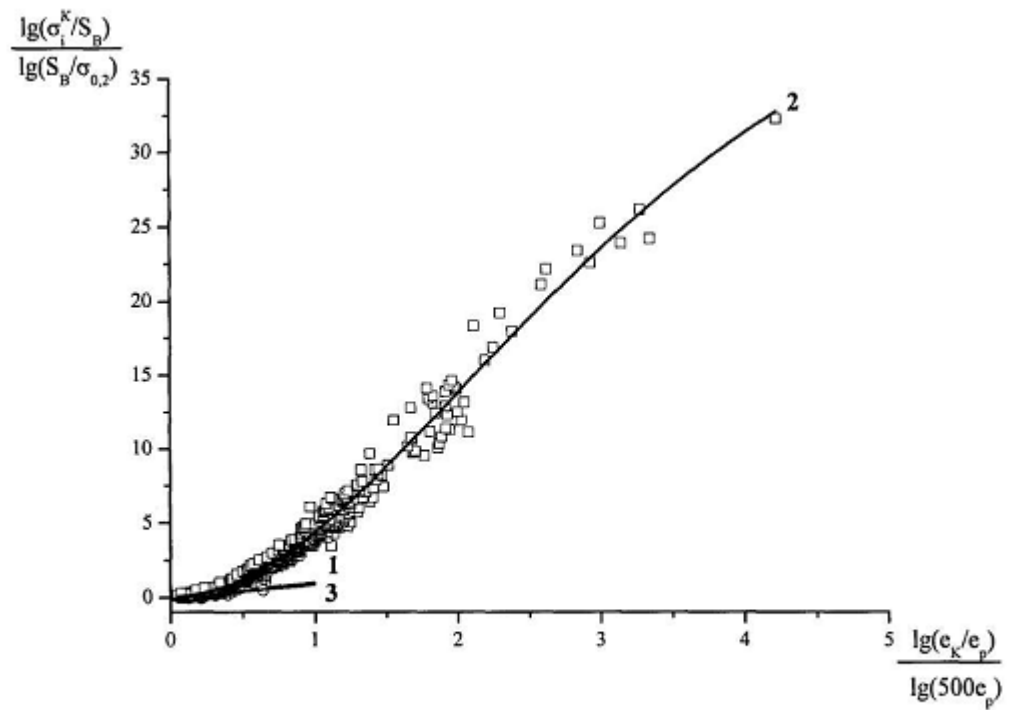
ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках;

$a=55,427$; $b=55,357$; $c=0,084$; $d=1,973$; $A=-0,094$; $B=0,946$ - емпіричні коефіцієнти.

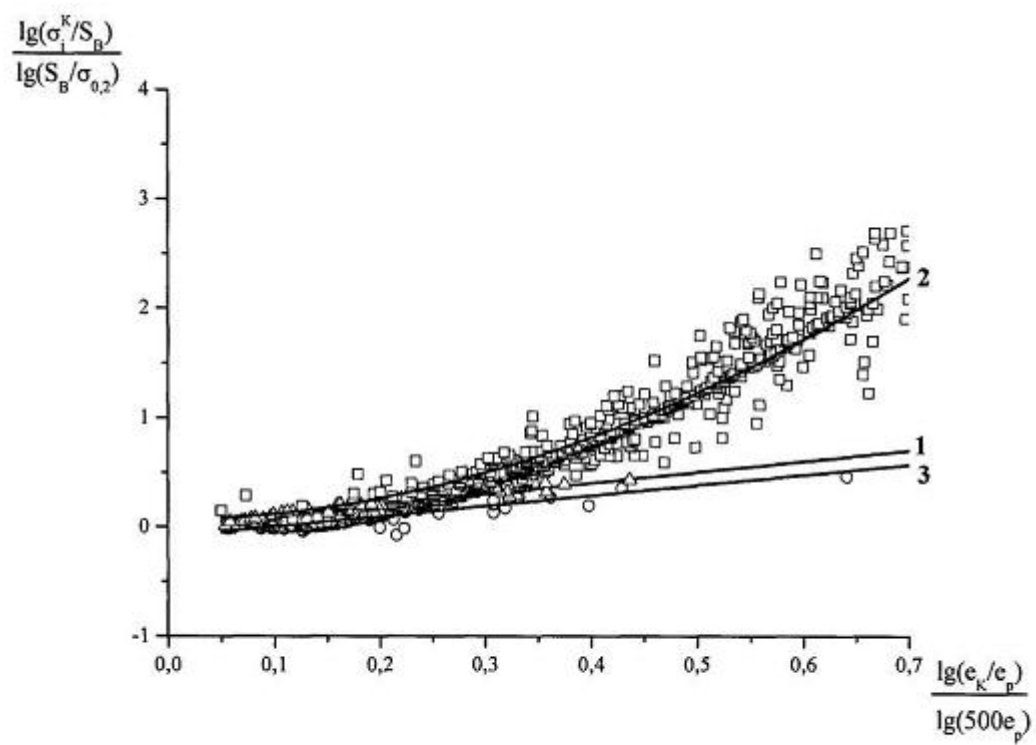
(8)	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f^{III} \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$	0,024	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}$	$\pm 0,05$	0,962
-----	--	-------	---	------------	-------



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

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