



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100831** (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 01749	(72) Винахідник(и): Котречко Сергій Олексійович (UA), Мешков Юрій Якович (UA), Шиян Артур Віталійович (UA), Меттус Геннадій Сергійович (UA), Сорока Катерина Феодосіївна (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.02.2012	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, МСП, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.01.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA a201010678 A, 10.01.2011 UA 97 080 C2, 26.12.2011 UA 66 722 U, 10.01.2012 UA 97 226 C2, 10.01.2012 RU 2 169 355 C1, 20.06.2001 RU 2 339 018 C1, 20.11.2008 Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. - М.: Машиностроение, 1985. - С. 12-21 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//Металлофизика и новейшие технологии. Т. 33, № 4, 2011. - С.545-560 Котречко С.О., Мешков Ю.Я. Гранічна міцність. Кристали, метали, конструкції. - К.: Наукова думка, 2008. - С. 239-241, 250-254
(41) Публікація відомостей про заявку: 11.06.2012, Бюл.№ 11	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.01.2013, Бюл.№ 2	

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РІВНОМІРНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі металургії, а саме - до фізичних методів дослідження механічних властивостей сталей і сплавів, зокрема - до способу визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі. Спосіб включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка сталі вздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від 4 К до 623 К, визначення при цьому її основних механічних характеристик, побудову експериментальної залежності $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$, після чого на основі даних випробувань в інтервалі температур від 4 К

UA 100831 C2

до 293 К, додатково будують експериментальні залежності $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$ для конструкційних сталей з різними рівнями пластичності ψ_K , розраховують на основі експериментальних залежностей емпіричні коефіцієнти та визначають відносне рівномірне звуження ψ_p та відносне рівномірне видовження зразка сталі δ_p за формулами, в частках:

$$\psi_p = \psi_K \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}{\frac{S_K}{\sigma_B} - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}},$$

$$\delta_p = \frac{1}{1 - \psi_p} - 1$$

де:

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках, $\sigma_{0,2}$ - умовна межа текучості, МПа, σ_B - межа міцності, МПа, S_K - істинне напруження руйнування, МПа, для конструкційних сталей з наступними рівнями пластичності:

при $\psi_K \leq 70\%$ $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 1 + 1,305 \cdot \psi_K$, при $70\% < \psi_K < 72\%$ $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 8,72 \cdot \psi_K - 4,185$, а при $\psi_K \geq 72\%$ додатково

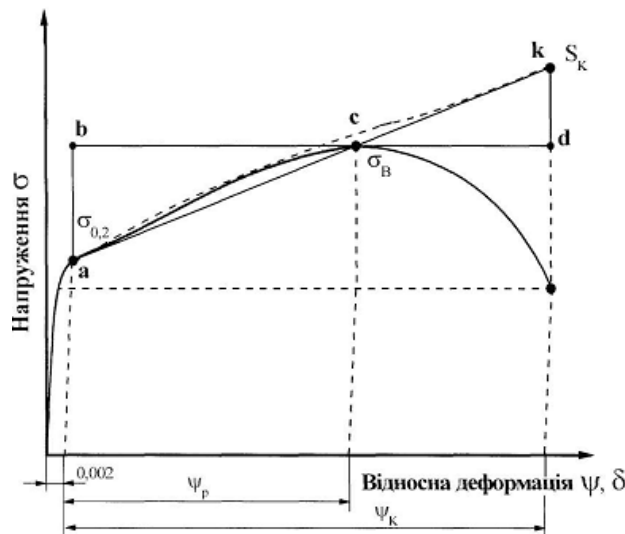
будують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}})$, визначають величину відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$ та формулюють

додаткові умови щодо використання залежностей $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$: якщо $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \geq 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для

розрахунку використовують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 8,72 \cdot \psi_K - 4,185$, якщо $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} < 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для

розрахунку використовують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 4,733 \cdot \psi_K - 1,494$. Винахід забезпечує підвищення

точності та інформативності визначення показників рівномірної деформації конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K лише за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}, \sigma_B$ та ψ_K , для здійснення комплексного аналізу властивостей сплавів незалежно від різних сполучень властивостей міцності і пластичності сплавів, їх видів, режимів термічної обробки, величин нейтронного опромінення та температур випробувань.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі металургії, а саме до фізичних методів дослідження механічних властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4 К до 293 К, а саме, до визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі.

- 5 Відомий спосіб визначення показників рівномірної деформації конструкційних металевих сплавів при випробуванні гладких циліндричних зразків на одновісне розтягнення, а саме істинної рівномірної деформації за відомою формулою [1]:

$$\epsilon_p = \ln(1 + \delta_p),$$

де δ_p - відносне рівномірне видовження зразка.

- 10 Недоліками даного способу є: а) відсутність зв'язку показників рівномірної деформації ϵ_p та δ_p з іншими основними механічними характеристиками металу, що унеможливорює їх визначення за відсутності безпосередньої реєстрації при розтягнення; б) значні похибки у визначенні показника істинної рівномірної деформації ϵ_p для конструкційних сталей з високою пластичністю при безпосередній реєстрації діаграми розтягнення без застосування тензометричного обладнання, фіксуючого деформацію в межах «робочої» довжини зразка, наприклад, при проведенні випробувань в інтервалах занижених та криогенних температур, за рахунок значної деформації частин зразка, що не належать до його «робочої» довжини.

- 15 Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісне розтягнення при температурах від 4 К до 293 К, визначення при цьому основних механічних

характеристик сплаву та побудову експериментальної залежності $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$, після чого визначають показник відносного рівномірного звуження ψ_p , в частках за наступною формулою [2]:

$$\psi_p = \psi_K \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}{\frac{S_K}{\sigma_B} - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}},$$

25

де:

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках,

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

σ_B - межа міцності, МПа,

- 30 S_K - істинне напруження руйнування, МПа,

$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 1 + 1,4 \cdot \psi_K$ - для маловуглецевих та низьколегованих пластичних конструкційних сталей, а показник відносного рівномірного видовження зразка визначається за залежністю:

$$\delta_p = \frac{1}{1 - \psi_p} - 1.$$

- 35 Разом з тим, спосіб визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі за найближчим аналогом має наступні недоліки: а) недостатню точність та інформативність щодо визначення показників рівномірної деформації для широкого кола конструкційних сталей і сплавів в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4 К до 293 К; б) відсутність залежностей для визначення показників рівномірної деформації конструкційних сталей і сплавів з високою пластичністю, у яких відносне звуження після руйнування зразка ψ_K перевищує 70 %

- 40 та які мають іншу природу деформування.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі тільки за показниками її основних механічних характеристик в широкому інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4 К до 293 К

- 45 та практично існуючому для сплавів на основі заліза інтервалі рівнів пластичності ψ_K за відсутності їх безпосередньої реєстрації при розтягнення. Поставлена задача вирішується

шляхом отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних та встановлення відповідних експериментальних залежностей між показниками рівномірної деформації та основними механічними характеристиками сплаву, такими, як відносне звуження після

руйнування зразка ψ_K , умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$ та межа міцності σ_B з метою знаходження емпіричних коефіцієнтів у формулах, які властиві сплавам на основі заліза. Винахід дає можливість більш інформативно і точно визначати показники рівномірної деформації конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}, \sigma_B$ та ψ_K , що, в свою чергу, дозволяє здійснювати комплексну оцінку їх властивостей та оцінювати спроможність сплавів на основі заліза опиратись переходу в крихкий стан.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісне розтягнення, визначення при цьому основних

механічних характеристик, побудову експериментальної залежності $\sigma_B = f(\psi_K)$, згідно з винаходом, випробування проводять в інтервалі температур від 4 К до 293 К, додатково

будують експериментальні залежності $\sigma_B = f(\psi_K)$ для конструкційних сталей з різними рівнями пластичності ψ_K , розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти та визначають відносне рівномірне звуження ψ_P та відносне рівномірне видовження зразка δ_P за формулами, в частках:

$$\psi_P = \psi_K \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}{\frac{S_K}{\sigma_B} - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}$$

$$\delta_P = \frac{1}{1 - \psi_P} - 1$$

де:
 ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка сталі, в частках;
 $\sigma_{0,2}$ - умовна межа текучості, МПа,

σ_B - межа міцності, МПа,

S_K - істинне напруження руйнування;

для конструкційних сталей з наступними рівнями пластичності:

$$\text{при } \psi_K \leq 70\% \frac{S_K}{\sigma_B} \approx 1 + 1,305 \cdot \psi_K \quad ; \quad \text{при } 70\% < \psi_K < 72\% \frac{S_K}{\sigma_B} \approx 8,72 \cdot \psi_K - 4,185 \quad , \quad \text{а при } \psi_K \geq 72\%$$

додатково будують залежність $\sigma_B = f(\frac{S_K}{\sigma_B})$, визначають величину відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$ та

формулюють додаткові умови щодо використання залежностей $\sigma_B = f(\psi_K)$: якщо

$\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \geq 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для розрахунку використовують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 8,72 \cdot \psi_K - 4,185$; якщо

$\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} < 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для розрахунку використовують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 4,733 \cdot \psi_K - 1,494$.

За рахунок отримання авторами експериментальних залежностей $\frac{S_K}{\sigma_B} - \psi_K$ для 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 показники рівномірної деформації конструкційної сталі за відсутності їх безпосередньої реєстрації при розтягненні або уникнути значних похибок, які виникають за рахунок значної деформації частин зразка, що не належать до його «робочої» довжини, при

безпосередній реєстрації діаграми розтягнення у випадках, що унеможливають застосування тензометричного обладнання, фіксує деформування в межах «робочої» довжини зразка. Неможливість застосування такого тензометричного обладнання виникає, наприклад, при проведенні випробувань в інтервалах занижених та криогенних температур. 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 межі текучості $\sigma_{0,2}$; межі міцності σ_B та істинного напруження руйнування S_K . Крім того, запропонований спосіб дозволив підвищити точність та інформативність при визначенні показників рівномірної

деформації за рахунок побудови окремих залежностей $\sigma_B = f(\psi_K)$ для різних рівнів пластичності ψ_K конструкційних сталей та сформулювати додаткові умови щодо використання

залежності $\sigma_B = f(\psi_K)$ при високих рівнях пластичності $\psi_K \geq 72\%$. Це дає можливість визначати показники рівномірної деформації конструкційних сталей і сплавів за даними лише основних

механічних характеристик $\sigma_{0,2}, \sigma_B$ та ψ_K з достатньою не тільки для інженерних розрахунків, але й наукових досліджень, точністю та здійснювати комплексний аналіз їх властивостей, у тому числі визначати 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 $\sigma_{0,2}, \sigma_B$ та ψ_K деяких конструкційних сталей і зварних швів, виконаних за різними зварювальними технологіями на трубній сталі Х75 та на сталі 12ХН2МДФ;

результати розрахунку показників рівномірної деформації ψ_p, δ_p та оцінка точності визначення цих характеристик за запропонованим способом у порівнянні з їх експериментальним визначенням при реєстрації діаграми розтягнення та застосуванні тензометричного обладнання при кімнатній температурі випробувань (293 К);

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

На фіг. 1 зображена схема для визначення характеристик $\sigma_{0,2}, \sigma_B, S_K, \psi_K$ та ψ_p на діаграмі розтягнення типової конструкційної сталі;

на фіг. 2 зображена експериментальна залежність $\sigma_B - \sigma_{0,2} = f\left(\frac{S_K - \sigma_B}{\psi_p - \psi_p}\right)$ для досліджених конструкційних сталей і сплавів;

на фіг. 3 зображені експериментальні залежності $\sigma_B = f(\psi_K)$ для різних рівнів пластичності ψ_K досліджених конструкційних сталей і сплавів (крива 1 - для $\psi_K \leq 70\%$; крива 2 - для $\psi_K > 70\%$; крива 3 - для $\psi_K \geq 72\%$);

на фіг. 4 зображена експериментальна залежність $\sigma_B = f(\psi_K)$ для досліджених конструкційних сталей і сплавів з високим рівнем пластичності $\psi_K > 70\%$ та границя (крива 4),

відповідно до якої формують додаткові умови щодо використання залежностей $\sigma_B = f(\psi_K)$; штрихові лінії - границі довірчих інтервалів кривих 2 і 3;

на фіг. 5 зображена експериментальна залежність $\sigma_B = f(\sigma_{0,2})$ для досліджених конструкційних сталей і сплавів з високим рівнем пластичності $\psi_K \geq 72\%$. Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови експериментальних залежностей $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$ та $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}})$ для різних рівнів 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

5 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 обирали 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

10 цих дослідженнях використовували результати більш ніж 500 вимірів деформаційних характеристик та характеристик міцності, отриманих при випробуванні стандартних гладких циліндричних зразків на одновісне статичне розтягнення більш ніж 150-ти видів конструкційних сталей і сплавів.

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

15 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 межа текучості; σ_B - межа міцності; S_K - істинне напруження руйнування.

Методика визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі полягає у наступному:

20 1) на основі властивості подібності трикутників abc і cdk на діаграмі розтягу типової

конструкційної сталі (фіг. 1) будують експериментальну залежність $\frac{S_K - \sigma_B}{\sigma_B - \sigma_{0,2}} = f(\frac{\psi_K - \psi_P}{\psi_P})$ для досліджених конструкційних сталей і сплавів (фіг. 2), згідно з якою отримують наступні загальні формули для визначення показників рівномірної деформації [2], а саме відносного рівномірного звуження зразка ψ_P :

$$\psi_P = \psi_K \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}{\frac{S_K}{\sigma_B} - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}, \quad (1)$$

25

та відносного рівномірного видовження зразка δ_P :

$$\delta_P = \frac{1}{1 - \psi_P} - 1. \quad (2)$$

Залежність $\frac{S_K - \sigma_B}{\sigma_B - \sigma_{0,2}} = f(\frac{\psi_K - \psi_P}{\psi_P})$ має однозначний характер, але оцінка її точності дає

наступні результати: вибірковий стандарт $S = 12,8\%$ при надійності $P\left(\frac{S_K - \sigma_B}{\sigma_B - \sigma_{0,2}} \pm 12,8\%\right) = 0,683$.

30 Такі показники точності і надійності залежності $\frac{S_K - \sigma_B}{\sigma_B - \sigma_{0,2}} = f(\frac{\psi_K - \psi_P}{\psi_P})$ недостатні при визначенні показників рівномірної деформації конструкційних сталей і сплавів за формулами (1) і (2) для інженерних потреб. Крім того, істинне напруження руйнування S_K , що входить до формули (1) не є основною (базовою) механічною характеристикою металу, тому її значення майже ніколи не наводиться у довідкових та спеціалізованих джерелах інформації, що не дає змогу

35

розраховувати показники рівномірної деформації для таких конструкційних сталей і сплавів. Враховуючи згадане, для більш точного розрахунку показників рівномірної деформації сплавів

важливо мати залежності, що пов'язують відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$ з основними механічними характеристиками металу або їх комбінаціями. В [2] наведена наступна залежність для низьковуглецевих та малолегованих пластичних конструкційних сталей:

$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx a + b \cdot \psi_K, \quad (3)$$

де $a=1; b=1,4$.

Підставляючи значення (3) в (1), отримаємо формулу для визначення відносного рівномірного звуження зразка ψ_P :

$$\psi_P = \psi_K \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}{1 + 1,4 \cdot \psi_K - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}. \quad (4)$$

Аналіз, проведений авторами, показує, що за формулою (4) можна приблизно визначити показники рівномірної деформації для вузького кола вищезгаданих класів конструкційних сталей тільки для кімнатних температур випробувань (293 K) і тільки в інтервалі їх характеристик пластичності $\psi_K \leq 70\%$, тобто формула (4) є недостатньо інформативною;

2) з метою усунення недосконалостей залежностей (3) і (4), будують експериментальні залежності $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$ для різних рівнів пластичності ψ_K досліджених конструкційних сталей і сплавів (криві 1, 2, 3 на фіг. 3), згідно з якими отримують наступні формули для визначення

відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$:

при рівнях пластичності в інтервалі $\psi_K \leq 70\%$ (крива 1 на фіг. 3):

$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx a + b \cdot \psi_K, \quad (5)$$

де $a=1; b=1,305$;

при рівнях пластичності в межах $70\% < \psi_K < 72\%$ (крива 2 на фіг. 3, 4):

$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx a + b \cdot \psi_K, \quad (6)$$

де $a=-4,185; b=8,72$,

а при рівнях пластичності в інтервалі $\psi_K \geq 72\%$ формулюють додаткові граничні умови щодо використання залежностей $\frac{S_K}{\sigma_B}$ від ψ_K ;

3) враховуючи різну природу деформування конструкційних сталей і сплавів з високою пластичністю при $\psi_K \geq 72\%$ (криві 2 і 3 на фіг. 3, 4):

- будують довірчі інтервали для кривих 2 і 3 в межах значень $\frac{S_K}{\sigma_B} \pm 0,15$;

- будують границю (крива 4 на фіг. 4) для розмежування сплавів, що мають підвищене

значення параметра $\frac{S_K}{\sigma_B}$ при однакових значеннях ψ_K . Граничну криву 4 на фіг. 4 будують шляхом з'єднання точки с, що є серединою відрізка ab, з точкою d, де точки a і b - границі довірчих інтервалів кривих 2 і 3 при $\psi_K = 72\%$ відповідно, а d - точка перетину цих довірчих інтервалів. Таким чином, на граничній кривій

відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$ визначають за наступною формулою:

$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx a + b \cdot \psi_K, \quad (7)$$

де $a=-2,83; b=6,71$;

4) у випадку відомого значення характеристики S_K , формулюють наступні додаткові умови

щодо використання залежностей $\frac{S_K}{\sigma_B}$ від ψ_K в інтервалі $\psi_K \geq 72\%$:

- якщо $\frac{\sigma_K}{\sigma_B} \geq 6,71 \cdot \psi_K - 2,83$, то для розрахунку використовують залежність (6) - крива 2 на фіг. 3, 4;

- якщо $\frac{\sigma_K}{\sigma_B} < 6,71 \cdot \psi_K - 2,83$, то для розрахунку використовують наступну залежність (крива 3 на фіг. 3, 4):

$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx a + b \cdot \psi_K, \quad (8)$$

де $a = -1,494; b = 4,733$.

5) у випадку невідомого значення характеристики S_K , будують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}})$ для конструкційних сталей і сплавів з високим рівнем пластичності $\psi_K \geq 72\%$ (фіг. 5) та визначають

відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$ за наступною формулою:

$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx a \cdot \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} + b, \quad (9)$$

де $a = 1,6; b = 0,38$.

Об'єднуючи залежності (7) і (9), формулюють наступні додаткові умови щодо використання

залежностей $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} = f(\psi_K)$ в інтервалі $\psi_K \geq 72\%$:

- якщо $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \geq 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для розрахунку використовують залежність (6);

- якщо $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} < 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для розрахунку використовують залежність (8).

6) таким чином, для визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі, а саме відносного рівномірного звуження зразка ψ_p та відносного рівномірного видовження зразка δ_p використовують загальні залежності (1) і (2), підставляючи в них відповідні залежності

параметра $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$, отримані для різних рівнів ψ_K . При цьому, за відсутності значення

характеристики S_K , величину відношення $\frac{S_K}{\sigma_B}$ розраховують при рівнях пластичності в інтервалі $\psi_K \leq 70\%$ згідно залежності (5), при рівнях пластичності в межах $70\% < \psi_K < 72\%$ згідно залежності (6), а при рівнях пластичності в інтервалі $\psi_K \geq 72\%$ згідно з залежностями (6) або (8) у відповідності до додаткових умов, викладених в п. 5.

Результати розрахунків показників рівномірної деформації для деяких конструкційних сталей і сплавів наведені в таблиці 1, а результати оцінки точності залежностей, за якими проводять розрахунки, наведені в таблиці 2.

Отже, за допомогою запропонованого способу, можна визначати показники рівномірної деформації конструкційних сталей або сплавів з різними рівнями пластичності за даними лише основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}, \sigma_B$ та ψ_K більш точно і інформативно. При цьому,

отримані залежності для розрахунку відносного рівномірного звуження зразка ψ_p та відносного рівномірного видовження зразка δ_p інваріантні до різних сполучень властивостей міцності і пластичності сплавів, їх видам, режимам термічної обробки, величини нейтронного опромінення та температури випробувань. Оцінка точності розрахунку показників рівномірної деформації за запропонованим способом цілком достатня як для інженерних розрахунків, так і для наукових

досліджень, а саме, при визначенні відносного рівномірного звуження зразка ψ_p вибіркового стандарт $S = 1,17\%$ при вірогідності $P(\psi_p \pm 2\%) = 0,913$, а при визначенні відносного рівномірного видовження зразка δ_p вибіркового стандарт $S = 1,63\%$ при вірогідності $P(\delta_p \pm 3\%) = 0,934$, 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 крихий стан.

5 Джерела інформації:

1. 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 // Металлофизика и новейшие технологии, 2011, т. 33, № 4. - С. 550.

10 2. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. - М.: Машиностроение, 1985. - С. 12-21.

Таблица 1

№ п/п	Сталі, сплави	Обробка, технологічний засіб	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	ψ_K , %	$\psi_R^{експ.}$, %	$\psi_R^{розр.}$, %	Δ , %	$\delta_R^{експ.}$, %	$\delta_R^{розр.}$, %	Δ , %
1	Зсп.	Гарт. 1373 К; 2,75 г., ох. з піччю, вакуум	160	340	71,7	23,0	23,8	+0,8	29,9	31,2	+1,3
2	10ХСНД	Гарт. 1373 К; 2 г., ох. з піччю, вакуум	312	454	72,0	15,0	16,0	+1,0	17,6	19,0	+1,4
3	У8	Гарт. 1123 К; 1 г., ох. з піччю, вакуум	341	807	12,8	10,2	9,9	-0,3	11,4	11,0	-0,4
4	09Г2Д	Стан постачання	378	530	61,8	17,0	16,2	-0,8	20,5	19,3	-1,2
5	Ст. 65	Стан постачання	680	1080	36,0	15,2	15,9	+0,7	17,9	18,9	+1,0
6	АК-35	Стан постачання	1027	1141	75,0	6,2	6,5	+0,3	6,6	7,0	+0,4
7	Х75	ЗШ (ПП.-АН30) - 1 шар	430	636	67,5	19,3	18,5	-0,8	23,9	22,7	-1,2
8		ЗШ (ПП.-АН30) - 2 шари	361	662	61,7	23,6	22,3	-13	30,9	28,7	-2,2
9		ЗШ (ПП.-АН30) - 3 шари	404	730	51,9	20,2	20,6	+0,4	25,3	25,9	+0,6
10	12ХН2МДФ	ЗШ (флюс 48- АНК-54, пров. Св.-10) В = 0,0 мас. %	622	781	59,9	14,8	12,4	-2,4	17,4	14,2	-3,2
11		ЗШ (флюс 48- АНК-54, пров. Св.-10) В = 0,001 мас. %	623	769	52,6	12,5	11,4	-1,1	14,3	12,9	-1,4
12		ЗШ (флюс 48- АНК-54, пров. Св.-10) В = 0,0022 мас. %	628	780	68,1	10,9	12,2	+1,3	12,2	13,9	+1,7
13		ЗШ (флюс 48- АНК-54, пров. Св.-10) В = 0,004 мас. %	642	783	67,9	10,0	11,5	+1,5	11,1	13,0	+1,9
S =								1,17	S =		1,63
P($\psi_p \pm 2\%$)=								0,913	P($\delta_p \pm 3\%$)=		0,934

Примітки:

Δ - абсолютне відхилення розрахункових значень показників рівномірної деформації ($\psi_R^{розн.}$, $\delta_R^{розн.}$) від експериментальних ($\psi_R^{експ.}$, $\delta_R^{експ.}$); В - вміст бору у зварному шві.

Таблиця 2

№ залежності	Залежність	Вибірковий стандарт S	Параметр для обчислення вірогідності	Довірчий інтервал	Вірогідність (надійність)
(1)	$\frac{S_K - \sigma_B}{\sigma_B - \sigma_{0,2}} - \frac{\psi_K - \psi_p}{\psi_p}$	12,8 %	$\frac{S_K - \sigma_B}{\sigma_B - \sigma_{0,2}}$	$\pm 12,8 \%$	0,683
(5)	$\frac{S_K}{\sigma_B} - \psi_K$	0,06	$\frac{S_K}{\sigma_B}$	$\pm 0,1$	0,905
(6)	$\frac{S_K}{\sigma_B} - \psi_K$	0,1	$\frac{S_K}{\sigma_B}$	$\pm 0,15$	0,866
(8)	$\frac{S_K}{\sigma_B} - \psi_K$	0,1	$\frac{S_K}{\sigma_B}$	$\pm 0,15$	0,866
(9)	$\frac{S_K}{\sigma_B} - \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}}$	0,07	$\frac{S_K}{\sigma_B}$	$\pm 0,15$	0,968

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб визначення показників рівномірної деформації конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків з неї на одновісне розтягнення, визначення при цьому її основних механічних характеристик, побудову експериментальної

10 залежності $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$, який **відрізняється** тим, що випробування проводять в інтервалі

температур від 4 K до 293 K, додатково будують експериментальні залежності $\frac{S_K}{\sigma_B} = (\psi_K)$ для

конструкційних сталей з різними рівнями пластичності ψ_K , розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти та визначають відносне рівномірне звуження ψ_p та відносне рівномірне видовження зразка сталі δ_p за формулами, в частках:

$$15 \quad \psi_p = \psi_K \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}}{\frac{S_K}{\sigma_B} - \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}},$$

$$\delta_p = \frac{1}{1 - \psi_p} - 1$$

де:

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках,

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

σ_B - межа міцності, МПа,

20 S_K - істинне напруження руйнування, МПа,

для конструкційних сталей з наступними рівнями пластичності:

при $\psi_K \leq 70 \%$ $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 1 + 1,305 \cdot \psi_K$, при $70 \% < \psi_K < 72 \%$ $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 8,72 \cdot \psi_K - 4,185$, а при

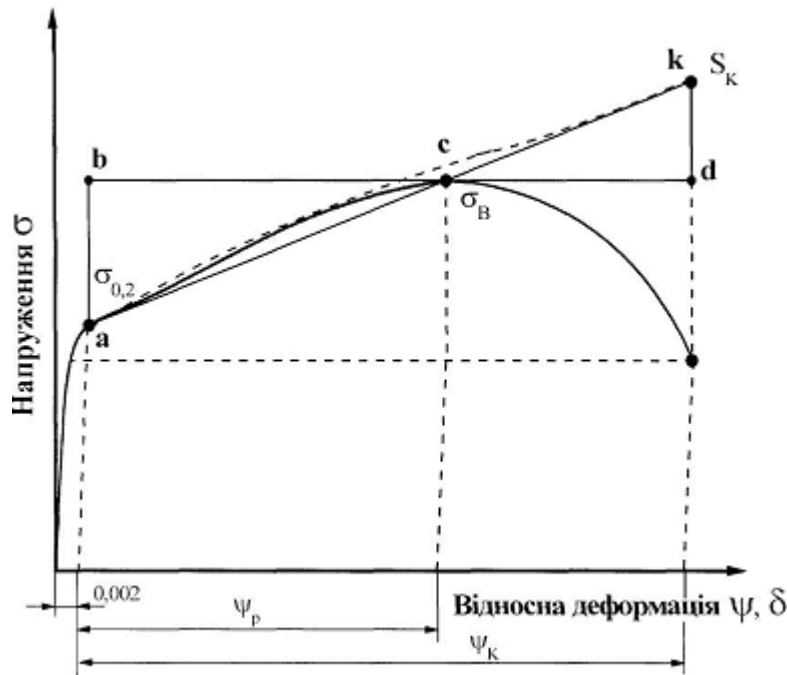
$\psi_K \geq 72 \%$ додатково будують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} = f\left(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}}\right)$, визначають величину відношення

$\frac{S_K}{\sigma_B}$ та формулюють додаткові умови щодо використання залежностей $\frac{S_K}{\sigma_B} = f(\psi_K)$: якщо

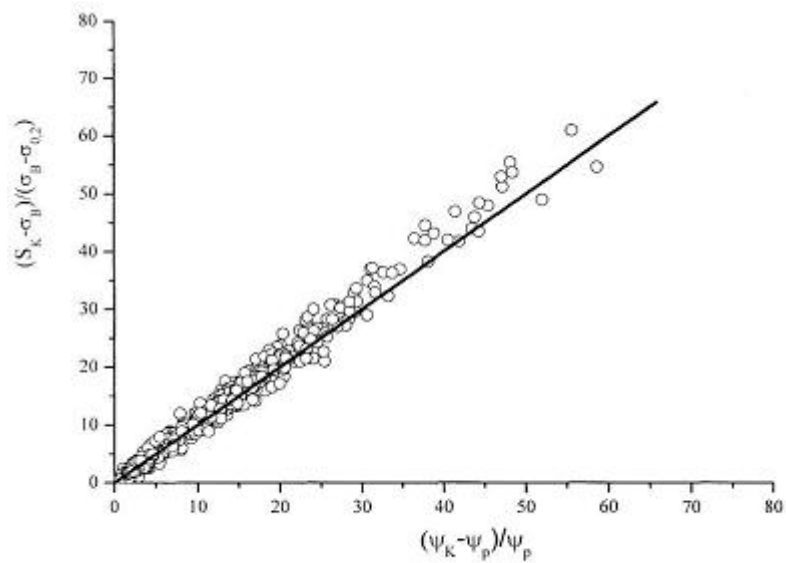
$\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \geq 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для розрахунку використовують залежність $\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 8,72 \cdot \psi_K - 4,185$,

якщо $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} < 4,19 \cdot \psi_K - 2,01$, то для розрахунку використовують залежність

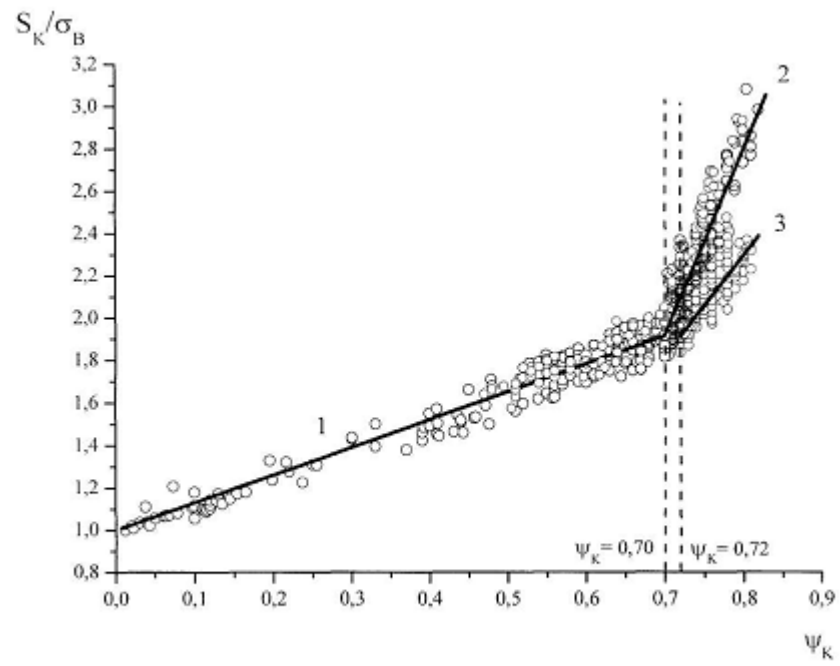
$$\frac{S_K}{\sigma_B} \approx 4,733 \cdot \psi_K - 1,494.$$



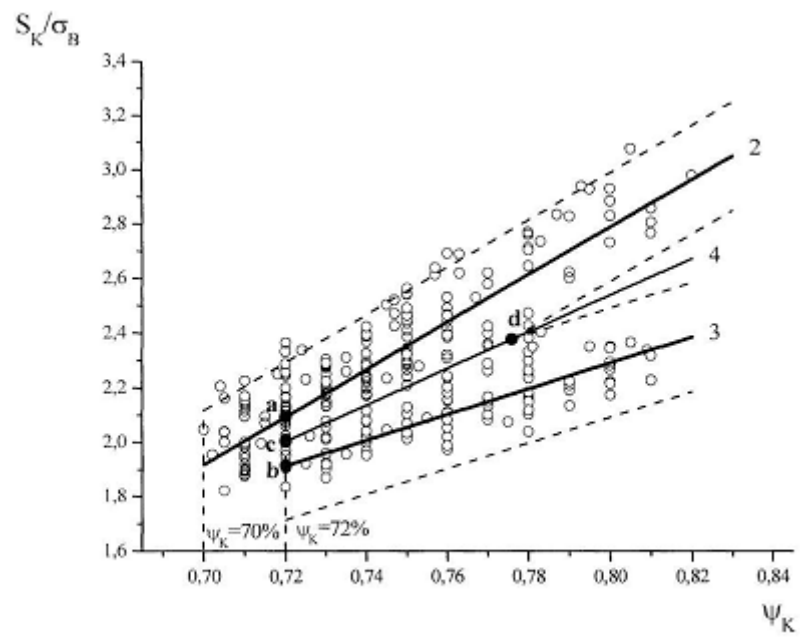
Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

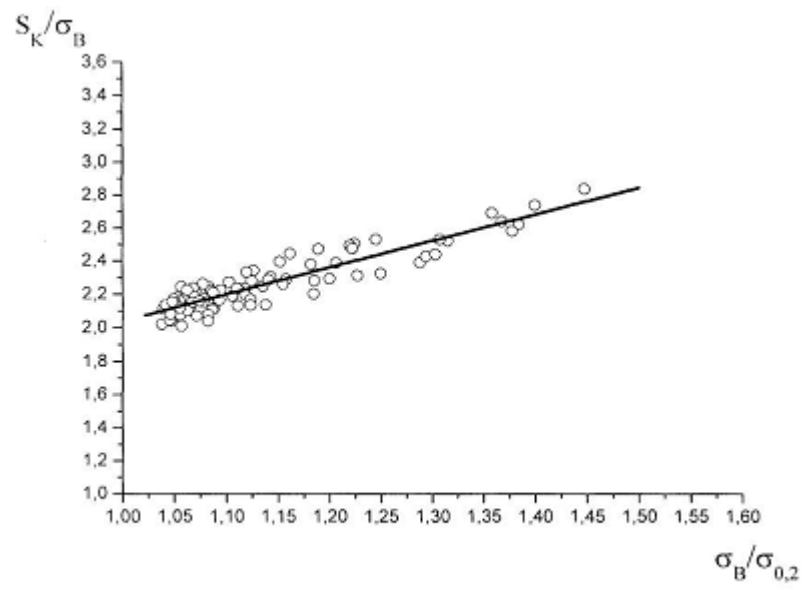


Fig. 5

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