



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **104665** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
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 10060**
(22) Дата подання заявки: **22.08.2012**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **25.02.2014**
(41) Публікація відомостей про заявку: **10.12.2012, Бюл.№ 23**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.02.2014, Бюл.№ 4**

(72) Винахідник(и):
**Івасишин Орест Михайлович (UA),
Марковський Павло Євгенович (UA),
Котречко Сергій Олексійович (UA),
Мешков Юрій Якович (UA),
Шиян Артур Віталійович (UA)**

(73) Власник(и):
**ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В.
КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ,**
бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, 03680 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 97 226 C2; 10.01.2012
UA a201112151; 12.03.2012
UA a201202272; 25.05.2012
UA a201202271; 25.06.2012
RU 2 169 355 C1; 20.06.2001
CN 102455263 A; 16.05.2012
Мешков Ю.Я., Сердитова Т.Н. Разрушение деформированной стали.- К.: Наукова думка, 1989. – С. 67-73
Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей//Металлофизика и новейшие технологии. Т. 32, № 8, 2010. – С.1123-1140
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. Т.33, № 3, 2011. – С.407-423

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВУ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі кольорової металургії, а саме - до способу визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву. Спосіб включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї вісі при різних температурах в інтервалі від 4К до 293К, визначення при цьому базових механічних характеристик та характеристик дійсного напруження руйнування зразка S_K і відносного

UA 104665 C2

рівномірного звуження ψ_p , побудови експериментальної залежності опору пластичній деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області рівномірної деформації, розрахунку величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K , побудови експериментальних залежностей опору пластичній деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K , встановлення групи сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, додаткової побудови експериментальних залежностей $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f\left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)}\right]$, розрахунку на їх основі емпіричних коефіцієнтів та визначення

показників деформаційного зміцнення за формулами:

для I-ої групи сплавів:

$$n^I = n = \frac{\lg\left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}}\right)}{\lg(500 \cdot e_p)},$$

для II-ої групи сплавів:

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

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

$S_B = \sigma_B \cdot \left(\frac{1}{1 - \psi_p} \right)$ - дійсне напруження на границі міцності, МПа,

σ_B - границя міцності, МПа,

$e_p = \ln\left(\frac{1}{1 - \psi_p}\right)$ - дійсна рівномірна деформація,

ψ_p - відносне рівномірне звуження, в частках,

$e_K = -\ln(1 - \psi_K)$ - дійсна деформація після руйнування зразка,

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках,

$a = 82,23$, $b = 82,156$, $c = 0,041$, $d = 1,692$ - емпіричні коефіцієнти.

Винахід забезпечує підвищення точності та інформативності визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву в області нерівномірної деформації за даними лише базових механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_K та характеристики відносного рівномірного звуження ψ_p за якими комплексно оцінюють спроможність опору переходу титанових сплавів в крихкий стан.

Винахід належить до галузі кольорової металургії, а саме – до дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4К до 293К, і визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву.

- 5 Відомий спосіб визначення показників деформаційного зміцнення металевих сплавів при випробуванні гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг за формулою [1]:

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

$$\text{де: } S_B = \sigma_B \cdot \left(\frac{1}{1 - \psi_p}\right) - \text{дійсне напруження на границі міцності, МПа;}$$

$$e_p = \ln\left(\frac{1}{1 - \psi_p}\right) - \text{дійсна рівномірна деформація;}$$

- 10 σ_B - границя міцності, МПа;

ψ_p - відносне рівномірне звуження 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 металевих сплавів; б) не враховуються особливості поведінки залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини дійсного напруження руйнування зразка S_K .

- Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву, при якому враховують факт зламу залежності опору пластичній деформації в логарифмічних координатах в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини дійсного напруження руйнування зразка S_K . Таким чином, для розрахунку показників деформаційного зміцнення за основу приймають певну розрахункову лінійну залежність, що усереднює вплив ефекту зламу залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації, а величина самих показників представляє 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 одновісне розтягнення при температурах від 4К до 293К, визначення базових механічних характеристик конструкційного титанового сплаву, будують експериментальну залежність опору пластичній деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області рівномірної деформації та експериментальні залежності опору пластичній деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини дійсного напруження руйнування зразка S_K , після чого визначають показник деформаційного зміцнення n за розрахунковою лінійною залежністю, що усереднює вплив ефекту зламу залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації, використовуючи наступну формулу [2]:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}}\right)}{\lg(500 \cdot e_p)},$$

$$\text{де: } S_B = \sigma_B \cdot \left(\frac{1}{1 - \psi_p}\right) - \text{дійсне напруження на границі міцності, МПа;}$$

$$e_p = \ln\left(\frac{1}{1 - \psi_p}\right) - \text{дійсна рівномірна деформація;}$$

- 40

σ_B - границя міцності, МПа;

ψ_p - відносне рівномірне звуження зразка, в частках.

Разом з тим, спосіб визначення показника деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву за прототипом має наступні недоліки: а) недостатню точність та інформативність щодо визначення показників деформаційного зміцнення для широкого кола конструкційних титанових сплавів по причині неврахування явища локалізації деформації в "шийці" зразка при визначенні дійсного напруження руйнування S_K ; б) відсутність методики розподілу конструкційних титанових 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 титанових сплавів з різною природою поведінки залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації.

В основу винаходу покладено задачу вдосконалення способу визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву з урахуванням особливостей поведінки залежності опору пластичній деформації $Ig\sigma = f(Ige)$ в області нерівномірної деформації. При цьому використовують базові механічні характеристики та характеристики

дійсного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного звуження Ψ_P , отримані в широкому інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4K до 293K. Поставлену задачу вирішують шляхом врахування явища локалізації деформації в "шийці" зразка при розтягненні та отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для розрахунку

величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K . Далі будують експериментальну

залежність опору пластичній деформації $Ig\sigma = f(Ige)$ в області рівномірної деформації та експериментальні залежності опору пластичній деформації $Ig\sigma = f(Ige)$, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини

інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K . Після цього встановлюють групу сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, додатково будують експериментальні залежності

$$\frac{Ig(\sigma_i^K / S_B)}{Ig(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{Ig(e_K / e_p)}{Ig(500 \cdot e_p)} \right]$$
, розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти для кожної групи сплавів та встановлюють зв'язок між показниками деформаційного зміцнення в області нерівномірної деформації і базовими механічними характеристиками конструкційного

титанового сплаву, такими, як відносне звуження після руйнування зразка Ψ_K , умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$, границя міцності σ_B та допоміжною характеристикою відносного рівномірного

звуження Ψ_P . Це дозволило авторам розробити загальну методику розподілу широкого кола конструкційних титанових сплавів за групами та визначення показників деформаційного зміцнення для сплавів кожної групи. Винахід дає можливість більш інформативно і точно визначати показники деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву в області

нерівномірної деформації за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , Ψ_K та характеристики відносного рівномірного звуження Ψ_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 конструкційного титанового сплаву, 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 дійсного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного звуження

Ψ_P , будують експериментальну залежність опору пластичній деформації $Ig\sigma = f(Ige)$ в області рівномірної деформації, згідно з винаходом, розраховують величину інтенсивності напружень

руйнування зразка σ_i^K , будують експериментальні залежності опору пластичній деформації

$Ig\sigma = f(Ige)$ в області нерівномірної деформації, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень

руйнування зразка σ_i^K , встановлюють групу сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну,

додатково будують експериментальні залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$, розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти та визначають показники деформаційного зміцнення за формулами:

5 для I-ої групи сплавів:

$$n^I = n = \frac{\lg \left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \right)}{\lg(500 \cdot e_p)};$$

для II-ої групи сплавів:

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

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

$$S_B = \sigma_B \cdot \left(\frac{1}{1 - \psi_p} \right) - \text{дійсне напруження на границі міцності, МПа};$$

σ_B - границя міцності, МПа;

$$e_p = \ln \left(\frac{1}{1 - \psi_p} \right) - \text{дійсна рівномірна деформація};$$

ψ_p - відносне рівномірне звуження, в частках;

15 $e_K = -\ln(1 - \psi_K)$ - дійсна деформація після руйнування зразка;

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках;

$a = 82,23$; $b=82,156$; $c = 0,041$; $d=1,692$ - емпіричні коефіцієнти. За рахунок отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для розрахунку величини інтенсивності

напружень руйнування зразка σ_i^K , побудови залежностей $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K , додаткової

побудови експериментальних залежностей $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$, запропонований спосіб

25 дозволяє більш інформативно і точно визначати показники деформаційного зміцнення для широкого кола конструкційних титанових сплавів в області нерівномірної деформації за величинами основних механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_K та характеристики відносного

рівномірного звуження ψ_p . При цьому автори використовують достатньо велику базу експериментальних даних механічних характеристик конструкційних титанових сплавів з

30 різними рівнями пластичності ψ_K та міцності $\sigma_{0,2}$, отриманих за результатами випробувань в широкому інтервалі температур від 4K до 293K, а саме: значень відносного звуження після

руйнування зразка ψ_K ; умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$; границі міцності σ_B ; дійсного напруження

руйнування зразка S_K та відносного рівномірного звуження зразка ψ_p . Крім того,

запропонований спосіб дозволив розробити загальну методику розподілу широкого кола

35 конструкційних титанових сплавів за групами в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, а також 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 титанових сплавів, у тому числі більш точно визначати характеристики крихкої міцності і механічної стабільності, тобто оцінювати спроможність цих сплавів чинити опір переходу у крихкий стан.

5 Запропонований спосіб пояснюється таблицями та графіками, а саме:

в таблиці 1 наведені значення базових механічних характеристик $\sigma_{0.2}$, σ_B , ψ_K деяких конструкційних титанових сплавів, а також результати розрахунку показників деформаційного зміцнення $n^{(I)}$ та n^{II} в інтервалі температур випробувань від 4K до 293K;

10 в таблиці 2 наведені значення вибіркового стандарту S, величини довірчого інтервалу та вірогідності P для оцінки точності залежностей, які використовують для розрахунку показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву;

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

15 на фіг. 2 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 досліджених конструкційних титанових сплавів, що належать до різних груп, у масштабі по координаті X: від 0 до 2,5; експериментальні дані, отримані в інтервалі температур випробувань від 4K до 293K: \blacktriangle - сплави I-ої групи (крива 1), \circ - сплави II-ої групи (крива 2);

20 на фіг. 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 досліджених конструкційних титанових сплавів, що належать до різних груп, у масштабі по координаті X: від 0 до 0,7; експериментальні дані, отримані в інтервалі температур випробувань від 4K до 293K: \blacktriangle - сплави I-ої групи (крива 1), \circ - сплави II-ої групи (крива 2);

Спосіб реалізується наступним чином.

25 3 метою розрахунку величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K , побудови експериментальних залежностей $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області нерівномірної деформації, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності, додаткової побудови експериментальних залежностей

$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0.2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$, 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 $\sigma_{0.2}$

30 $= 570$ МПа до $\sigma_{0.2} = 1925$ МПа, а діапазон характеристик пластичності складав $1,0 \% \leq \psi_K \leq 81,0 \%$. Крім цього, за об'єкти досліджень обирали конструкційні титанові сплави, що відносяться до різних класів за структурою, якістю, складом та призначенням, у тому числі особливого призначення, які використовують у криогенній техніці та для створення відповідальних конструкцій. Змінювали також різні режими термічної обробки і температуру

35 випробувань в інтервалі від 4K до 293K. Всього в цих дослідженнях використовували результати більш ніж 300 вимірів деформаційних характеристик та характеристик міцності, отриманих при випробуванні стандартних гладких циліндричних зразків на одновісне статичне розтягнення більш ніж 200 видів конструкційних титанових сплавів.

Проводять розтягування вздовж однієї вісі стандартних гладких циліндричних зразків та

40 визначають базові механічні характеристики сплаву такі, як: ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0.2}$ - умовна границя текучості; σ_B - границя міцності, а також характеристики дійсного напруження руйнування зразка S_K та відносного рівномірного звуження

ψ_P при температурах випробувань в інтервалі $4K \leq T_{\text{вип}} \leq 293K$.

45 Загальна методика визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву полягає у наступному:

1) з метою урахування явища локалізації деформації в "шийці" при розтягненні зразка в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини дійсного напруження руйнування зразка S_K , що обумовлює необхідність розглядати "шийку" як

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 $\eta = f(\psi_K)$:

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

2) будують експериментальну залежність опору пластичній деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$ в області рівномірної деформації (фіг. 1, крива 1) [2] та експериментальні залежності опору пластичній деформації $\lg \sigma = f(\lg e)$, що характеризуються зберіганням властивості лінійності (фіг. 1, крива 1) або наявністю зламу і підвищення кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B до величини інтенсивності напружень руйнування

зразка σ_i^K (фіг. 1, крива 2). При цьому враховують необхідність заміни характеристики дійсного напруження руйнування зразка S_K на характеристику інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K , яка більш точно відображає напружений стан зразка при руйнуванні в умовах концентрації напружень. Таким чином, конструкційні титанові сплави, що зберігають властивість

лінійності залежності 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 $\lg \alpha = n \approx n^I$, а, конструкційні титанові сплави, що характеризуються наявністю зламу і підвищення кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від S_B до σ_i^K , умовно відносять до сплавів II-ї групи, при цьому показник деформаційного зміцнення для

таких сплавів визначають як $\lg \beta = n^{II}$ ($n^{II} > n$). Виходячи з подібності трикутників abc і cdk_I (див. фіг. 1, крива 1), для сплавів I-ї групи має місце рівність:

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

навіпаки, виходячи з відсутності подібності трикутників abc і cdk_{II} , (див. фіг. 1, крива 2), для сплавів II-ї групи має місце нерівність:

$$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} > \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} + 5\% \quad (4)$$

Таким чином, групу конструкційного титанового 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) або (4).

3) 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) та розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти:

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

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

- для II-ї групи сплавів, відповідно до умов (4), будують залежність:

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

яка апроксимується функцією виду (див. фіг. 2, 3, крива 2):

$$Y = f \left(a - \frac{b}{1 + 1 \cdot X^d} \right), \quad (7)$$

де: $a = 82,23$; $b = 82,156$; $c = 0,041$; $d = 1,692$ - емпіричні коефіцієнти.

4) на основі залежностей (5) і (6) з урахуванням (7) визначають показники деформаційного зміцнення за формулами:

- для I-ої групи сплавів:

$$n^I = n = \frac{\lg\left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}}\right)}{\lg(500 \cdot e_p)}; \quad (8)$$

5 - для II-ої групи сплавів:

$$n^{II} = \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_K / e_p)} \cdot \left\{ a - \frac{b}{1 + c \cdot \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]^d} \right\}; \quad (9)$$

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

$$S_B = \sigma_B \cdot \left(\frac{1}{1 - \psi_p} \right) - \text{дійсне напруження на границі міцності, МПа;}$$

σ_B - границя міцності, МПа;

$$e_p = \ln\left(\frac{1}{1 - \psi_p}\right) - \text{дійсна рівномірна деформація;}$$

ψ_p - відносне рівномірне звуження, в частках;

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

ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках;

$a = 82,23$; $b = 82,156$; $c = 0,041$; $d = 1,692$ - емпіричні коефіцієнти.

15 Результати розрахунків показників деформаційного зміцнення для деяких конструкційних титанових сплавів за формулами (8) і (9) наведені в таблиці 1, а результати оцінки точності залежностей (5) і (6), які використовують для розрахунку показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву, наведені в таблиці 2. З таблиці 2 видно, що точність залежностей (5) і (6) достатня щодо їх використання для подальших висновків та розрахунків.

20 Отже, за допомогою запропонованого способу, можна визначати показники деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву в області нерівномірної деформації за даними лише базових механічних характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B , ψ_K та характеристики відносного рівномірного звуження ψ_p більш точно і інформативно. При цьому, отримані залежності для

25 розрахунку показників деформаційного зміцнення $n(n^I)$ і n^{II} 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 титанових сплавів та більш точно оцінювати їх спроможність опиратись переходу в 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, сс. 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, сс. 409-416.

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

Таблиця 1

№ п/п	Сплави	Група	T _{вип.} , К	σ _{0,2} , МПа	σ _В , МПа	ψ _к , %	n ^(I) (8)	n ^{II} (9)
1	BT16 ¹	I	77	1500	1680	16,0	0,053	--
2	BT16 ²		77	1400	1560	16,0	0,051	--
3	BT22 ³		293	1135	1240	7,5	0,043	--
4	BT6 ⁴		293	1286	1475	14,1	0,059	--
5	2Ti-6-4 ⁵		293	900	1005	25,4	0,054	--
6	Ti+B2		293	1129	1238	21,9	0,047	--
7	JLCB70CD ⁶		293	1448	1679	10,1	0,061	--
8	BT9Л		293	970	1100	15,0	0,062	--
9	BT16 ¹	II	293	980	1070	40,0	0,048	0,096
10	BT16 ²		293	900	960	57,0	0,039	0,099
11	BT22 ⁶		293	1130	1220	19,0	0,041	0,071
12	AT2		293	570	660	62,2	0,070	0,139
13			200	700	775	60,0	0,054	0,119
14			77	940	1077	67,0	0,067	0,140
15			4	1180	1272	53,1	0,044	0,102
16	BT5-1кт.		293	770	835	26,4	0,044	0,081
17			200	950	984	23,7	0,025	0,063
18			77	1230	1325	21,6	0,041	0,073
19			4	1365	1460	16,1	0,038	0,065
20	Beta-21S ⁷		293	1548	1568	30,8	0,014	0,056
21	Ti-15-3 ⁸		293	1435	1472	20,4	0,021	0,056
22	LCB		293	1319	1397	58,5	0,036	0,096

- Примітки: 1 - нагрів 800 °С, 1 год., охол. з піччю 500 °С, 8 год.; 2 - нагрів 800 °С, 1 год., охол. з піччю 600 °С, 8 год.; 3 - нагрів 900 °С, 0,5 год., охол. з піччю до 700 °С, 1 год., охол., повітря + 750 °С, 2 год. + 475 °С, 4 год., охол., повітря; 4 - прокатка 1050 °С; 5 - нагрів 900 °С, 0,5 год., охол. з піччю до 800 °С, 1 год., охол., повітря + 750 °С, 2 год. + 625 °С, 4 год., охол., повітря; 6 - нагрів 1205 °С, 4 год.; 6-10 К·с⁻¹ до 820 °С+300 °С, 90 хв + 450 °С, 6,5 год.; 7 - нагрів 880 °С, 10 год., охол. з піччю; 8 - нагрів 900 °С, 45 хв, охол. з піччю + 15 % CD+500 °С, 8 год.

Таблиця 2

№ залежності	Залежність	Вибірковий стандарт S	Параметр для обчислення вірогідності	Довірчий інтервал	Вірогідність P
(5)	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = \frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)}$	0,012	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}$	±0,02	0,904
(6)	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f^{II} \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$	0,177	$\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}$	±0,3	0,909

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- Спосіб визначення показників деформаційного зміцнення конструкційного титанового сплаву, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісне розтягнення в інтервалі температур від 4 К до 293 К, визначають при цьому базові механічні характеристики та характеристики дійсного напруження руйнування зразка S_K і відносного рівномірного звуження ψ_p, будують експериментальну залежність опору пластичній деформації lgσ=f(lge) в області рівномірної деформації, який **відрізняється** тим, що розраховують величину інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K, будують експериментальні залежності опору пластичній деформації lgσ=f(lge) в області нерівномірної деформації, що характеризуються зберіганням властивості лінійності або наявністю зламу і підвищенням кута нахилу цієї залежності в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності S_B

до величини інтенсивності напружень руйнування зразка σ_i^K , встановлюють групу сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях менших та більших за рівномірну, додатково будують експериментальні залежності $\frac{\lg(\sigma_i^K / S_B)}{\lg(S_B / \sigma_{0,2})} = f \left[\frac{\lg(e_K / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]$, розраховують на їх основі емпіричні коефіцієнти та визначають

- 5 показники деформаційного зміцнення за формулами: для I-ої групи сплавів:

$$n^I = n = \frac{\lg \left(\frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \right)}{\lg(500 \cdot e_p)},$$

для II-ої групи сплавів:

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

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

- 10 $S_B = \sigma_B \cdot \left(\frac{1}{1 - \psi_p} \right)$ - дійсне напруження на границі міцності, МПа,

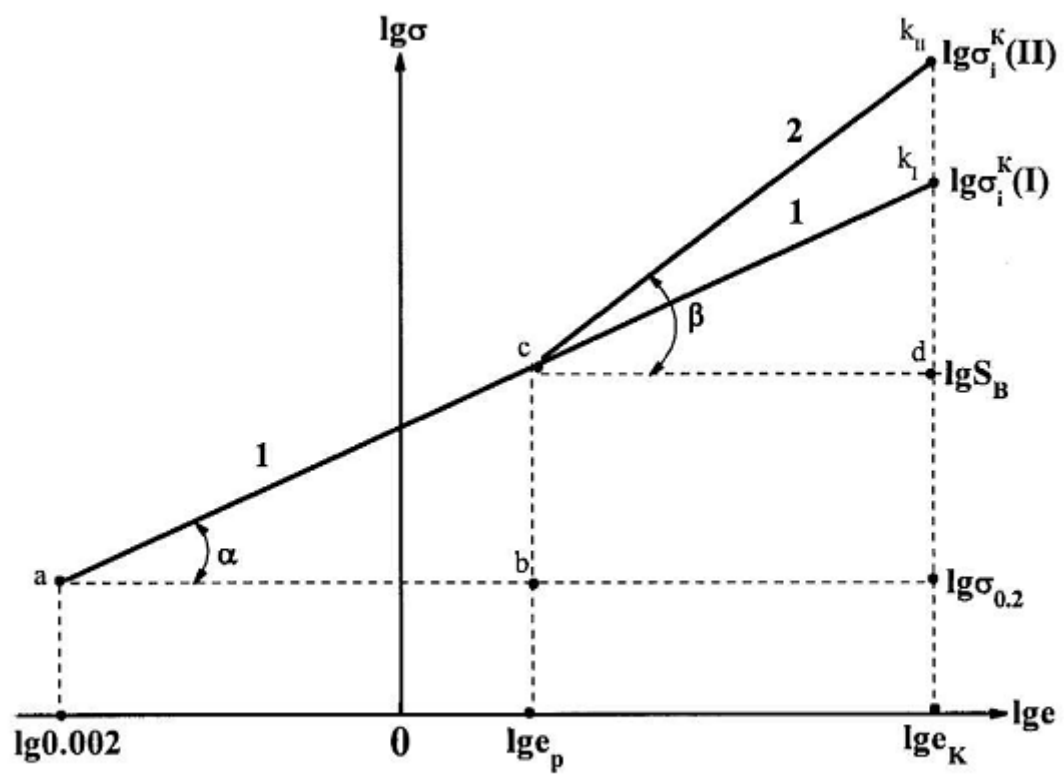
σ_B - границя міцності, МПа,

$e_p = \ln \left(\frac{1}{1 - \psi_p} \right)$ - дійсна рівномірна деформація,

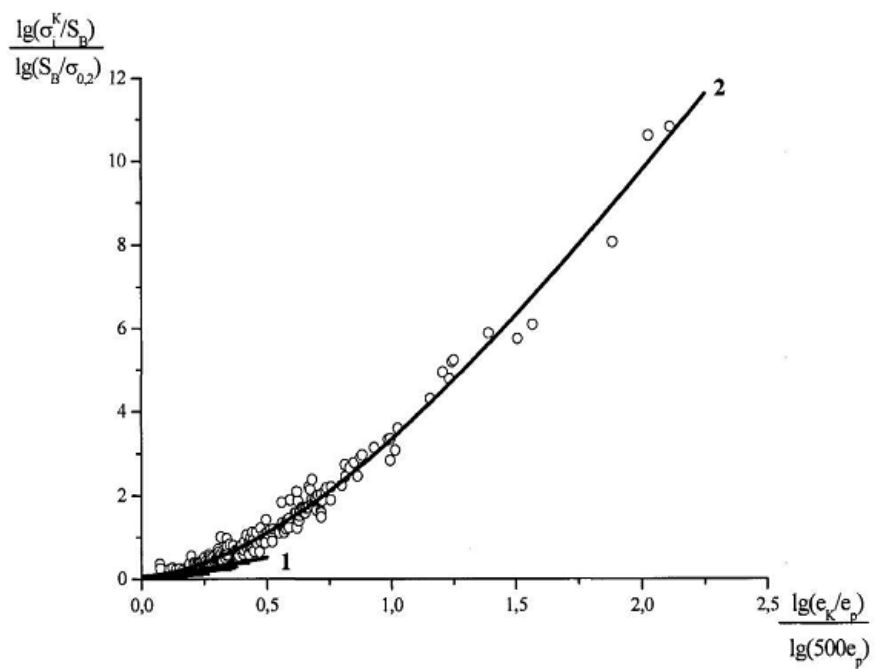
ψ_p - відносне рівномірне звуження, в частках,

$e_K = -\ln(1 - \psi_K)$ - дійсна деформація після руйнування зразка,

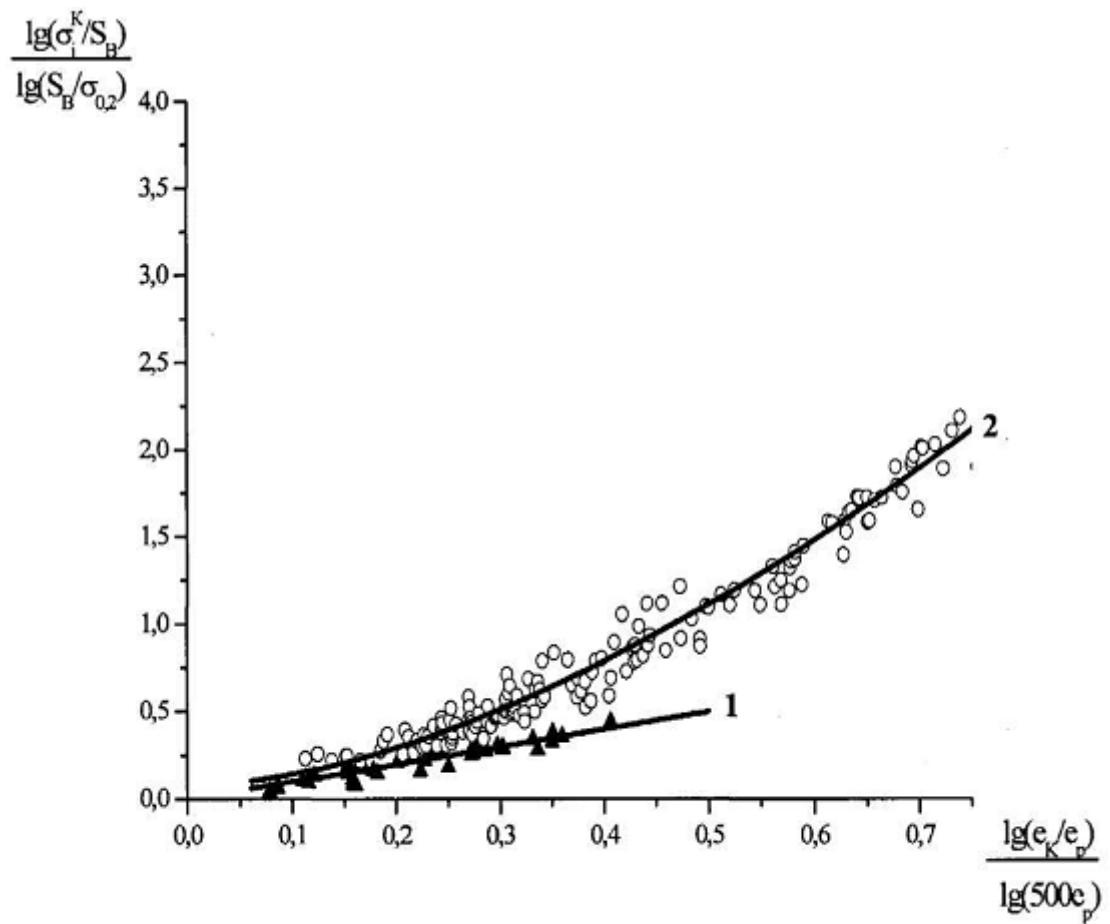
- 15 ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка, в частках,
 $a = 82,23$, $b = 82,156$, $c = 0,041$, $d = 1,692$ - емпіричні коефіцієнти.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

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