



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 104666

(13) C2

(51) МПК

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/18 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

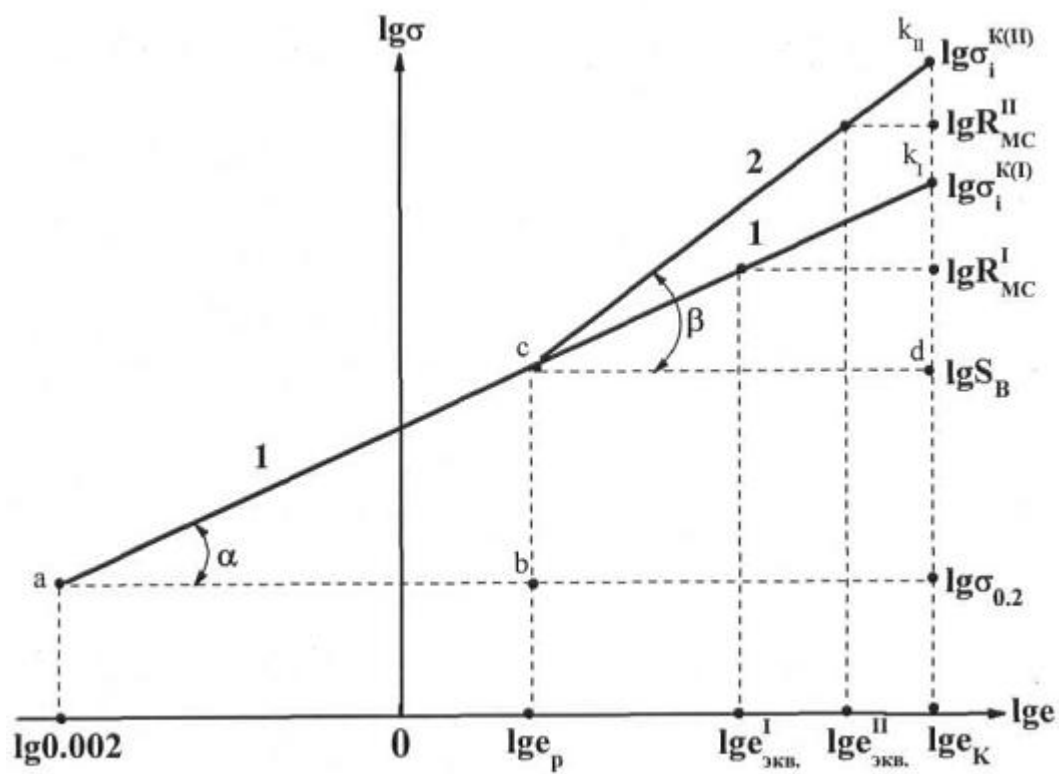
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2012 10874</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Шиян Артур Віталійович (UA),</b> <b>Котречко Сергій Олексійович (UA),</b> <b>Мешков Юрій Якович (UA),</b> <b>Сорока Катерина Феодосіївна (UA),</b> <b>Зацарна Олександра Вікторівна (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>18.09.2012</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.02.2014</b>	
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>25.02.2013, Бюл.№ 4</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,</b> бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, 03680 (UA)
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.02.2014, Бюл.№ 4</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 97321 C2; 25.01.2012 UA 201202928 A; 11.06.2012 UA 95870 C2; 12.09.2011 UA 201112151 A; 12.03.2012 Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофизика та новітні технології. - 2010. - Т. 32. - № 8. - С. 1134

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ****(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів, а саме до визначення характеристики механічної стабільності конструкційних сталей. Спосіб визначення характеристики механічної стабільності конструкційних сталей включає операції розтягування стандартних гладких циліндричних зразків повздовж однієї осі при різних температурах в інтервалі від 77 К до 293 К, визначення при цьому базових механічних характеристик, розрахунку величин інтенсивності напружень руйнування  $\sigma_i^k$  та відносного рівномірного звуження зразка  $\psi_p$ , побудови експериментальних залежностей опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації  $\lg \sigma = f(\lg \epsilon)$ , що характеризуються зберіганням властивості лінійності або 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, визначення показників деформаційного зміцнення для кожної групи сплавів, побудови додаткових залежностей, що пов'язують приведені значення еквівалентної деформації  $\bar{\epsilon}_{\text{екв}}$  з показниками деформаційного зміцнення або їх комбінаціями в області рівномірної та нерівномірної деформації для кожної групи сплавів. Механічну стабільність  $K_{\text{мс}}$  певної конструкційної сталі визначають відповідно до її належності певній групі за величинами базових механічних

UA 104666 C2

характеристик. Запропонований спосіб дозволяє розробити загальну методику визначення характеристики механічної стабільності для широкого кола конструкційних сталей і сплавів, що дозволяє більш точно оцінювати спроможність конструкційних сталей і сплавів опиратись переходу в крихкий стан та більш інформативно здійснювати комплексну оцінку їх властивостей в широкому діапазоні змін показників міцності і пластичності.



Фиг. 1

Винахід належить до галузі дослідження властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 77 К до 293 К, а саме, до визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі.

Відомий спосіб визначення характеристик крихкої міцності  $R_{MC}$  та механічної стабільності

5  $K_{ms}$  конструкційної сталі, при якому проводять розрахунок цих характеристик 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 обґрунтованих залежностей для заданої температури випробувань [1]:

$$10 \quad R_{MC} = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \cdot \lg(\bar{e}_{екв})}, \text{ МПа,}$$

відповідно, величину характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$  розраховують за формулою:

$$K_{ms} = \frac{R_{MC}}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n} = 10^{n \cdot (\lg \bar{e}_{екв} - 1)}$$

де:  $n$  - показник деформаційного зміцнення;

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

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

Такий спосіб визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі має наступні недоліки: а) необхідність ранжування конструкційних сталей за показниками  $\sigma_{0,2}$  та  $n$ ;

20 б) наявність великої кількості "категорій" при ранжуванні; в) відносно низька точність розрахунків, особливо при кімнатній температурі випробувань 293 К.

Відомий також спосіб визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних сталей, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при кімнатній температурі 293 К, вимірюють показники базових механічних властивостей, розраховують значення крихкої міцності  $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$  згідно з залежностями  $\bar{e}_{екв} = f(\psi_K)$  для області, де  $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$ , та  $\lg \bar{e}_{екв} = f(\lg \psi_K)$  для області, де  $60\% \leq \psi_K \leq 81\%$  [2].

Однак, недоліками цього способу є: 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 <293К; б) відсутність загальної методики для визначення характеристик крихкої міцності та механічної стабільності конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності  $\psi_K$  через базові механічні характеристики металу в інтервалі температур випробувань від 77 К до 293 К.

30 Найбільш близьким за технічною суттю та результату, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 77 К до 293 К та визначення при цьому базових механічних характеристик, розраховують величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_1^K$  та відносного рівномірного звуження  $\psi_p$  зразка і будують експериментальні залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації  $\lg \sigma = f(\lg e)$ , що характеризуються зберіганням властивості лінійності або 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 та визначають показники деформаційного зміцнення для кожної групи сплавів, які використовують для визначення характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$  за залежністю [3]:

$$45 \quad K_{ms} = f(\sigma, n, \bar{e}_{екв}),$$

де:  $\sigma$  - показник міцності, МПа;

$n$  - показник деформаційного зміцнення;

$\bar{e}_{екв}$  - приведені значення еквівалентної деформації.

50 Разом з тим, спосіб визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі за прототипом має наступні недоліки: а) відсутність залежностей, що пов'язують приведені значення еквівалентної деформації  $\bar{e}_{екв}$  з показниками деформаційного зміцнення в області

нерівномірної деформації для кожної групи сплавів; б) відсутність загальної методики для визначення характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$  для широкого кола конструкційних сталей і сплавів в інтервалі температур випробувань від 77 К до 293 К.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі з урахуванням особливостей поведінки залежності опору пластичної деформації  $lg \sigma = f(lge)$  в області нерівномірної деформації шляхом отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для розрахунку величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_i^k$  та відносного рівномірного звуження зразка  $\psi_p$ , додаткової побудови залежностей  $lg \sigma = f(lge)$  в області нерівномірної деформації, які характеризуються:

зберіганням властивості лінійності залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}$  до величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_i^k$ ;

наявністю зламу залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності  $S_B$  до величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_i^k$  і підвищенням кута нахилу цієї залежності;

наявністю зламу залежності опору пластичній деформації в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності  $S_B$  до величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_i^k$  і зниженням кута нахилу цієї залежності,

встановлення відповідної групи сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях, менших та більших за рівномірну та визначення показників деформаційного зміцнення для кожної групи сплавів. Це дозволило на основі отриманих результатів побудувати залежності, що пов'язують приведені значення еквівалентної деформації  $\bar{\epsilon}_{екв.}$  з показниками деформаційного зміцнення або їх комбінаціями в

області рівномірної та нерівномірної деформації для кожної групи сплавів та розробити загальну методику визначення характеристики механічної стабільності  $K_{ms}$  для широкого кола конструкційних сталей і сплавів відповідно до їх належності певній групі за величинами базових механічних характеристик  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\psi_K$  в інтервалі температур випробувань від 77 К до 293 К.

Запропонований спосіб дозволяє більш точно оцінювати спроможність конструкційних сталей і сплавів опиратись переходу в крихкий стан та є більш інформативним внаслідок можливості здійснювати комплексну оцінку їх властивостей в широкому діапазоні змін показників міцності і пластичності.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 77 К до 293 К та визначення при цьому базових механічних характеристик, розраховують величини інтенсивності напружень руйнування  $\sigma_i^k$  та відносного рівномірного звуження  $\psi_p$  зразка, будують експериментальні залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації  $lg \sigma = f(lge)$ , що характеризуються зберіганням властивості лінійності або 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, визначають показники деформаційного зміцнення для кожної групи сплавів, згідно з винаходом, додатково будують залежності, які пов'язують приведені значення еквівалентної деформації  $\bar{\epsilon}_{екв.}$  з показниками деформаційного зміцнення або їх комбінаціями в областях рівномірної та нерівномірної деформації для кожної групи сплавів та визначають характеристику механічної стабільності  $K_{ms}$  конструкційної сталі відповідно до її належності певній групі за величинами базових механічних характеристик таких, як:

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

$\sigma_B$  - границя міцності, МПа;

$\psi_K$  - відносне звуження після руйнування зразка, в %:

для сплавів I-ої групи:

$$K_{ms}^I = 10^{A \cdot n^2}$$

де:  $n = \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2} \cdot (1 - \psi_p)} \right]}{\lg [-500 \cdot \ln(1 - \psi_p)]}$  - показник деформаційного зміцнення;

$\psi_p = \psi_k \cdot \frac{1 - \sigma_{0,2} / \sigma_B}{\sigma_1^k / \sigma_B - \sigma_{0,2} / \sigma_B}$  - відносне рівномірне звуження зразка, в частках,

де  $\psi_k$ , в частках;

$\sigma_1^k / \sigma_B = 10^m$ ,  $m = 1 + \frac{a \cdot \lg \psi_k - b}{c - \lg \psi_k}$ ,

5  $a=1,027$ ,  $b=2,158$ ,  $c=2,185$ ;  $A=13,582$  - емпіричні коефіцієнти;  
для сплавів II-ої групи:

$K_{ms}^{II} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \cdot 10^m$ ,

де:  $S_B = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_p}$  дійсне напруження на границі міцності, МПа;

$m = n^{II} \cdot \lg \bar{e}_{екв}^{II} - n$ ;

10  $\lg \bar{e}_{екв}^{II} = a \cdot \left( \frac{n^{II}}{n} - 1 \right)^b$ ;

$a = \frac{A \cdot T_{вип.} - B}{T_{вип.} - C}$ ,  $b = D - F \cdot T_{вип.} + N \cdot T_{вип.}^2$ ;

$A = 1,167$ ;  $B = 56,361$ ;  $C = 9,847$ ;  $D = 0,823$ ;  $F = 0,004 [K^{-1}]$ ;  $N = 8,7 \cdot 10^{-6} [K^{-2}]$  - емпіричні коефіцієнти;  $T_{вип.}$  - температура випробувань, К;

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

15  $e_p = -\ln(1 - \psi_p)$  - дійсна рівномірна деформація;

$e_k = -\ln(1 - \psi_k)$  - дійсна деформація руйнування зразка, де  $\psi_k$ , в частках;

$a=55,427$ ;  $b=55,357$ ;  $c=0,084$ ;  $d=1,973$  - емпіричні коефіцієнти;  
для сплавів III-ої групи, що не знеміцнюються:

$K_{ms}^{III} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \cdot 10^m$ ,

20 де:  $m = n^{III} \cdot \lg \bar{e}_{екв}^{III} - n$ ,

$\lg \bar{e}_{екв}^{III} = a \cdot \left( 1 - \frac{n^{III}}{n} \right)^b$ ;

$a = \frac{A \cdot T_{вип.} - B}{T_{вип.} - C}$ ,  $b = D + F \cdot T_{вип.} - N \cdot T_{вип.}^2$ ;

$A = 11,124$ ;  $B = 494,944$ ;  $C = 799,844$ ;  $D = -0,04$ ;  $F = 0,01 [K^{-1}]$ ;  $N = 3,0 \cdot 10^{-5} [K^{-2}]$  - емпіричні коефіцієнти;  $T_{вип.}$  - температура випробувань, К;

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

$A=-0,094$ ;  $B=0,946$  - емпіричні коефіцієнти.

- для сплавів III-ої групи, що знеміцнюються:

$K_{ms}^{III} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n}$ .

За рахунок отримання авторами експериментальних залежностей, що пов'язують приведені значення еквівалентної деформації  $\bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$  з показниками деформаційного зміцнення або їх комбінаціями в області рівномірної та нерівномірної деформації і розрахунку на їх основі емпіричних коефіцієнтів для сплавів кожної групи, запропонований спосіб дозволив розробити загальну методіку більш інформативного і точного визначення характеристики механічної стабільності  $K_{\text{мс}}$  для широкого кола конструкційних сталей і сплавів за величинами базових механічних характеристик. При цьому автори використовують достатньо велику базу експериментальних даних механічних характеристик конструкційних сталей і сплавів з різними рівнями пластичності  $\psi_K$  та міцності  $\sigma_{0,2}$ , отриманих за результатами випробувань в широкому інтервалі температур від 77 К до 293 К, а саме: значень відносного звуження після руйнування зразка  $\psi_K$ ; умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}$  та границі міцності  $\sigma_B$ . Це дозволило віднайти залежності для визначення характеристики механічної стабільності  $K_{\text{мс}}$  конструкційної сталі відповідно до її належності певній групі за величинами базових механічних характеристик, що, в свою чергу, дало змогу здійснювати комплексний аналіз її властивостей, у тому числі оцінювати властивість опору переходу у крихкий стан.

Запропонований спосіб пояснюється таблицями та графіками, а саме:

в таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів а і b та оцінка точності залежності (10) для ряду фіксованих значень  $T_{\text{вип.}}$  в інтервалі  $77\text{ К} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{ К}$ ;

в таблиці 2 наведені значення коефіцієнтів а і b та оцінка точності залежності (13) для ряду фіксованих значень  $T_{\text{вип.}}$  в інтервалі  $77\text{ К} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{ К}$ ;

в таблиці 3 наведені значення механічних характеристик  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\psi_K$ ,  $\delta_p$ ,  $S_B$  сталі У8 III-ої групи, що знеміцнюється в інтервалі  $173\text{ К} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{ К}$ , а також відносної похибки  $\Delta$  визначення крихкої міцності  $R_{\text{МС}}$  по відношенню до величини  $S_B$  при зміні  $T_{\text{вип.}}$ ;

в таблиці 4 наведені значення механічних характеристик  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\psi_K$ , а також результати розрахунку та оцінка точності визначення характеристики  $K_{\text{мс}}$  у відповідності до залежностей (16), (17), (18) і (19) для I-ої, II-ої і III-ої груп сплавів в інтервалі  $77\text{ К} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{ К}$ .

на фіг. 1 зображені залежності опору пластичній деформації конструкційних сталей в логарифмічних координатах (схема): сплавів, що характеризуються зберіганням властивості лінійності  $\text{tg}\alpha = n = n^I$  - сплави I-ої групи (крива 1); сплавів, що характеризуються наявністю

зламу, при якому кут нахилу цієї залежності підвищується  $\text{tg}\beta = n^{II}$  - сплави II-ої групи (крива 2);

на фіг. 2 зображені залежності опору пластичній деформації конструкційних сталей в логарифмічних координатах (схема) сплавів, що характеризуються наявністю зламу, при якому кут нахилу цієї залежності знижується  $\text{tg}\beta(\beta') = n^{III}$  - сплави III-ої групи (криві 3, 3');;

на фіг. 3 зображена залежність  $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}^I = f(n)$ ; ▲ - експериментальні дані в інтервалі  $77\text{ К} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{ К}$ ;

на фіг. 4 зображені залежності  $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}^{II} = f(\Delta n/n)$  при певних температурах випробувань сплавів II-ої групи; експериментальні дані: ○ - при  $T_{\text{вип.}} = 293\text{ К}$  (крива 1); ▲ - при  $T_{\text{вип.}} = 233\text{ К}$  (крива 2); □ - при  $T_{\text{вип.}} = 113\text{ К}$  (крива 3); ♦ - при  $T_{\text{вип.}} = 77\text{ К}$  (крива 4);

на фіг. 5 зображені температурні залежності коефіцієнтів а (крива 1) і b (крива 2) в формулі (10);

на фіг. 6 зображені залежності  $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}^{III} = f(\Delta n/n)$  при певних температурах випробувань сплавів III-ої групи; експериментальні дані: ○ - при  $T_{\text{вип.}} = 293\text{ К}$  (крива 1); ▲ - при  $T_{\text{вип.}} = 233\text{ К}$  (крива 2); □ - при  $T_{\text{вип.}} = 173\text{ К}$  (крива 3); ♦ - при  $T_{\text{вип.}} = 77\text{ К}$  (крива 4);

на фіг. 7 зображені температурні залежності коефіцієнтів а (крива 1) і b (крива 2) в формулі (13).

Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови експериментальних залежностей  $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}^I = f(n)$ ,  $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}^{II} = f(\Delta n/n)$  та  $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}^{III} = f(\Delta n/n)$  для різних груп досліджених конструкційних сталей і сплавів матеріали для досліджень добирали за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності, 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 вибирали конструкційні сталі, які використовують у криогенній техніці та атомній енергетиці. Змінювали також різні режими термічної обробки, температуру випробувань в інтервалі від 77 К до 293 К 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 ніж 400 марок конструкційних сталей і сплавів.

Проводять розтягування повздож однієї осі стандартних гладких циліндричних зразків та визначають базові механічні характеристики сплаву такі, як:  $\psi_K$  - відносне звуження після руйнування зразка;  $\sigma_{0,2}$  - умовна границя текучості та  $\sigma_B$  - границя міцності, при різних температурах випробувань в інтервалі  $77\text{K} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{K}$ .

Загальна методика визначення характеристики механічної стабільності конструкційної сталі полягає у наступному:

1) розраховують величини інтенсивності напружень руйнування  $\sigma_i^K$  та відносного рівномірного звуження  $\psi_p$  зразка за відомими формулами [3]:

$$\sigma_i^K = \sigma_B \cdot 10^m, \text{ МПа, (1)}$$

$$\psi_p = \psi_K \cdot \frac{1 - \sigma_{0,2} / \sigma_B}{\sigma_i^K / \sigma_B - \sigma_{0,2} / \sigma_B}, \text{ в частках; } \psi_K, \text{ в частках; (2)}$$

$$\text{де: } m = 1 + \frac{a \cdot \lg \psi_K - b}{c - \lg \psi_K}; \psi_K, \%$$

$a = 1,027, b = 2,158, c = 2,185$  - емпіричні коефіцієнти;

2) будують експериментальні залежності опору пластичній деформації в області нерівномірної деформації  $\lg \sigma = f(\lg e)$ , що характеризуються зберіганням властивості лінійності (фіг. 1, крива 1) або наявністю зламу, при якому кут нахилу цієї залежності підвищується (фіг. 1, крива 2) або знижується (фіг.2, криві 3, 3');

3) встановлюють групу сплаву в залежності від співвідношення величин показників деформаційного зміцнення при деформаціях, менших та більших за рівномірну за умовами:

- до I-ої групи сплавів належать конструкційні сталі, що характеризуються зберіганням властивості лінійності залежності опору пластичній деформації  $\lg \sigma = f(\lg e)$  в інтервалі змін міцності від умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}$  до величини інтенсивності напружень руйнування

зразка  $\sigma_i^K$  (див. фіг. 1, крива 1), для яких  $\text{tg} \alpha = n \approx n^I$  та виконується рівність:

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

- до II-ої групи сплавів належать конструкційні сталі, що характеризуються наявністю зламу залежності опору пластичній деформації  $\lg \sigma = f(\lg e)$  в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності  $S_B$  до величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_i^K$

і підвищенням кута нахилу цієї залежності (див. фіг. 1, крива 2), для яких  $\text{tg} \beta = n^{II}$  ( $n^{II} > n$ ) та виконується нерівність:

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

- до III-ої групи сплавів належать конструкційні сталі, що характеризуються наявністю зламу залежності опору пластичній деформації  $\lg \sigma = f(\lg e)$  в інтервалі змін міцності від дійсного напруження на границі міцності  $S_B$  до величини інтенсивності напружень руйнування зразка  $\sigma_i^K$

і зниженням кута нахилу цієї залежності (див. фіг.2, криві 3, 3'), для яких  $\text{tg} \beta(\beta') = n^{III}$  ( $n^{III} < n$ ) та виконується нерівність:

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

4) визначають показники деформаційного зміцнення для кожної групи сплавів за відомими формулами [3]:

для сплавів I-ої групи:

$$n^I = n = \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2} \cdot (1 - \psi_p)} \right]}{\lg [-500 \cdot \ln(1 - \psi_p)]}; \quad (6)$$

5 для сплавів II-ої групи:

$$n^{II} = \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_k / e_p)} \cdot \left\{ a - \frac{b}{1 + c \cdot \left[ \frac{\lg(e_k / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right]^d} \right\}; \quad (7)$$

де:  $S_B = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_p}$  - дійсне напруження на границі міцності, МПа,

$e_p = -\ln(1 - \psi_p)$  - дійсна рівномірна деформація,

$e_k = -\ln(1 - \psi_k)$  - дійсна деформація руйнування зразка, де  $\psi_k$ , в частках,

10  $a=55,427$ ;  $b=55,357$ ;  $c=0,084$ ;  $d=1,973$  - емпіричні коефіцієнти;

- для сплавів III-ої групи:

$$n^{III} = -\frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_k / e_p)} \cdot \left[ A + B \cdot \frac{\lg(e_k / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right], \quad (8)$$

де:  $A=-0,094$ ;  $B=0,946$  - емпіричні коефіцієнти;

15 5) будують залежності, що пов'язують приведені значення еквівалентної деформації  $\bar{e}_{екв.}$  з показниками деформаційного зміцнення або їх комбінаціями в області рівномірної та нерівномірної деформації для кожної групи сплавів:

для сплавів I-ої групи будують залежність  $\lg \bar{e}_{екв.}^I = f(n)$ , яку апроксимують функцією (фіг. 3):

$$\lg \bar{e}_{екв.}^I = 1 + a \cdot n, \quad (9)$$

де:  $\bar{e}_{екв.}^I = e_{екв.}^I / 0,002$  - приведені значення еквівалентної деформації,

20  $a=13,582$  - емпіричний коефіцієнт;

для сплавів II-ої групи будують залежності  $\lg \bar{e}_{екв.}^{II} = f(\Delta n / n)$  для певних фіксованих температур випробувань в інтервалі  $77K \leq T_{вип.} \leq 293K$ , які апроксимують функцією (фіг. 4):

$$\lg \bar{e}_{екв.}^{II} = a \cdot \left( \frac{n^{II}}{n} - 1 \right)^b, \quad (10)$$

де:  $\bar{e}_{екв.}^{II} = e_{екв.}^{II} / e_p$  - приведені значення еквівалентної деформації, значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  наведені в таблиці 1.

25  $b$  наведені в таблиці 1.

На основі даних таблиці 1 віднаходять температурні залежності коефіцієнтів  $a$  і  $b$  в формулі (10). З достатньою точністю залежність  $a = f(T_{вип.})$  апроксимують функцією (фіг. 5, крива 1):

$$a = \frac{A \cdot T_{вип.} - B}{T_{вип.} - C}, \quad (11)$$

де:  $A=1,167$ ;  $B=56,361$ ;  $C=9,847$ ; - емпіричні коефіцієнти,

30  $a$  залежність  $b = f(T_{вип.})$  функцією (фіг. 5, крива 2):

$$b = D - F \cdot T_{вип.} + N \cdot T_{вип.}^2, \quad (12)$$

де:  $D = 0,823$ ;  $F = 0,004 [K^{-1}]$ ;  $N = 8,7 \cdot 10^{-6} [K^{-2}]$  - емпіричні коефіцієнти;

для сплавів III-ої групи будують залежності  $\lg \bar{e}_{екв.}^{III} = f(\Delta n / n)$  для певних фіксованих температур випробувань в інтервалі  $77K \leq T_{вип.} \leq 293K$ , які апроксимують функцією (фіг. 6):

$$35 \quad \lg \bar{e}_{екв.}^{III} = a \cdot \left( 1 - \frac{n^{III}}{n} \right)^b, \quad (13)$$



де:  $\bar{e}_{\text{екв}}^{\text{III}} = e_{\text{екв}}^{\text{III}} / e_p$  - приведені значення еквівалентної деформації,

значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  наведені в таблиці 2.

На основі даних таблиці 2 віднаходять температурні залежності коефіцієнтів  $a$  і  $b$  в формулі (13). З достатньою точністю залежність  $a = f(T_{\text{вип.}})$  апроксимують функцією (фіг. 7, крива 1):

$$a = \frac{A \cdot T_{\text{вип.}} - B}{T_{\text{вип.}} + C}$$

де:  $A=11,124$ ;  $B=494,944$ ;  $C=799,844$ ; - емпіричні коефіцієнти, а залежність  $b = f(T_{\text{вип.}})$  функцією (фіг. 7, крива 2):

$$b = D + F \cdot T_{\text{вип.}} - N \cdot T_{\text{вип.}}^2, \quad (15)$$

де:  $D = -0,04$ ;  $F = 0,01 [\text{K}^{-1}]$ ;  $N = 3,0 \cdot 10^{-5} [\text{K}^{-2}]$  - емпіричні коефіцієнти;

6) далі визначають характеристику механічної стабільності  $K_{\text{мс}}$  конструкційної сталі відповідно до її належності певній групі за величинами базових механічних характеристик:

- для сплавів I-ої групи (фіг. 1, крива 1):

$$K_{\text{мс}}^{\text{I}} = 10^{n \cdot (\lg \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{I}} - 1)} = 10^{A \cdot n^2}, \quad (16)$$

де: показник деформаційного зміцнення  $n^{\text{I}} = n$  розраховують за формулою (6) з урахуванням (1) і (2), а величину параметра  $\lg \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{I}}$  визначають згідно з (9):

$$\lg \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{I}} = 1 + 13,582 \cdot n, \quad \text{звідки:}$$

$A = 13,582$  - емпіричний коефіцієнт;

- для сплавів II-ої групи (фіг. 1, крива 2):

$$K_{\text{мс}}^{\text{II}} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \cdot 10^m, \quad (17)$$

де:  $m = n^{\text{II}} \cdot \lg \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{II}} - n$ ;

показники деформаційного зміцнення  $n$  і  $n^{\text{II}}$  розраховують за формулами (6) і (7) з урахуванням (1), (2);

величину параметра  $\lg \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{II}}$  визначають згідно з (10) з урахуванням (11), (12);

- для сплавів III-ої групи, що не знеміцнюються (фіг. 2, крива 3):

$$K_{\text{мс}}^{\text{III}} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \cdot 10^m, \quad (18)$$

де:  $m = n^{\text{III}} \cdot \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{III}} - n$ ;

показники деформаційного зміцнення  $n$  і  $n^{\text{III}}$  розраховують за формулами (6) і (8) з урахуванням (1), (2);

величину параметра  $\lg \bar{e}_{\text{екв}}^{\text{III}}$  визначають згідно з (13) з урахуванням (14), (15);

для сплавів III-ої групи, що знеміцнюються (фіг. 2, крива 3') згідно з даними таблиці 3, що показують інваріантність характеристики дійсного напруження на границі міцності  $S_B$  до температури випробувань. Це дає підстави для визначення характеристики крихкої міцності  $R_{\text{МС}}^{\text{III}} \approx S_B$  з відносною похибкою, яка не перевищує 4,25 % (див. таблицю 3). Таким чином:

$$K_{\text{мс}}^{\text{III}} = \frac{R_{\text{МС}}}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n}, \quad (19)$$

де: показник деформаційного зміцнення  $p$  розраховують за формулою (6) з урахуванням (1) і (2).

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє розробити загальну методику визначення характеристики механічної стабільності  $K_{\text{мс}}$  для широкого кола конструкційних сталей і сплавів відповідно до їх належності певній групі в інтервалі температур випробувань від 77 К до 293 К за величинами базових механічних характеристик  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\psi_K$ . При цьому для визначення характеристики  $K_{\text{мс}}$  сплавів I-ої групи використовують залежність (16), II-ої групи - залежність (17), а III-ої групи - залежність (18) для сплавів, що не знеміцнюються, і залежність (19) для сплавів, що знеміцнюються.

Результати оцінки точності залежностей (10) і (13), які використовують для розрахунку характеристики механічної стабільності, наведені в таблицях 1 і 2, з яких видно, що точність

згаданих залежностей, при якій вибіркового стандарт не перевищує 4,2 % з вірогідністю не нижче 0,905 в довірчому інтервалі  $\pm(6,0\% - 7,0\%)$ , достатня щодо їх використання для подальших висновків та розрахунків. Результати розрахунків характеристики механічної стабільності для деяких конструкційних сталей і сплавів у відповідності до залежностей (16), (17), (18) і (19) для кожної групи сплавів в інтервалі  $77\text{K} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293\text{K}$  наведені в таблиці 4, з якої видно, що точність визначення характеристики  $K_{\text{мс}}$  за запропонованим способом достатня як для інженерних розрахунків, так і для наукових досліджень, а саме, вибіркового стандарт складає  $S=1,97\%$  при вірогідності  $P(K_{\text{мс}}^{\text{розрах.}} \pm 5,0\%) = 0,989$ .

Отже, запропонований спосіб дозволяє більш точно оцінювати спроможність конструкційних сталей і сплавів опиратись переходу в крихкий стан та є більш інформативним внаслідок можливості здійснювати комплексну оцінку їх властивостей в широкому діапазоні змін показників міцності і пластичності. При цьому отримані залежності для визначення характеристики механічної стабільності  $K_{\text{мс}}$  інваріантні до різних сполучень властивостей міцності і пластичності сплавів, режимам термічної обробки та температури випробувань.

Джерела інформації:

1. 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.

2. Патент України на винахід №97321, МПК G01N 3/08, 2012.

3. Науковий твір "Физическая природа взаимосвязи показателей деформационного упрочнения с базовыми механическими характеристиками конструкционных сталей и сплавов", автори: Котречко С.О., Мешков Ю.Я., Шиян А.В., Сорока К.Ф. Свідectво про реєстрацію авторського права № 45206 від 20.08.2012 /Україна/. Опубл. бюл. № 28, С. 3-12; 19.

Таблиця 1

№ п/п	$T_{\text{вип.}}, \text{K}$	a	b	Вибірковий стандарт $S, \%$	Довірчий інтервал, $\%$	Вірогідність P
1	293	0.987	0.524	3,8	7,0	0,934
2	253	0.982	0.477	4,1	7,0	0,913
3	233	0.965	0.464	3,6	6,0	0,905
4	213	0.946	0.457	4,0	7,0	0,920
5	193	0.948	0.462	3,7	7,0	0,941
6	173	0.891	0.466	3,6	6,0	0,905
7	153	0.863	0.477	4,0	7,0	0,920
8	133	0.802	0.502	3,9	7,0	0,927
9	123	0.770	0.516	3,7	7,0	0,941
10	113	0.732	0.531	3,8	7,0	0,934
11	103	0.685	0.548	3,9	7,0	0,927
12	93	0.596	0.566	4,1	7,0	0,913
13	77	0.514	0.601	4,2	7,0	0,905

Таблиця 2

№ п/п	$T_{\text{вип.}}, \text{K}$	a	b	Вибірковий стандарт $S, \%$	Довірчий інтервал, $\%$	Вірогідність P
1	293	2.530	0.313	3,2	6,0	0,939
2	253	2.203	0.555	3,0	6,0	0,955
3	233	2.030	0.647	2,8	6,0	0,968
4	213	1.851	0.716	3,3	6,0	0,931
5	173	1.664	0.761	2,7	6,0	0,974
6	113	0.835	0.700	3,5	6,0	0,913
7	77	0.412	0.549	3,6	6,0	0,903

Таблиця 3

№ п/п	T <sub>вип.</sub> , К	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\psi_K$ , %	$\delta_p$	S <sub>B</sub> , МПа	R <sub>MC</sub> , МПа	$\Delta$ , %
1	293	341	807	12,8	0,117	901	941	+4,25
2	253	391	859	12,0	0,108	952		-1,17
3	233	427	876	11,6	0,103	967		-2,76
4	213	473	885	11,2	0,098	972		-3,29
5	173	507	881	3,8	0,034	911		+3,19

Таблиця 4

№ п/п	Сталі, сплави	Обробка	Група	T <sub>вип.</sub> , К	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\psi_K$ , %	K <sub>експ.</sub> , МПа	K <sub>розр.</sub> , МПа	$\Delta$ , %
1	15Г2АФ	ТО <sub>п</sub> (t <sub>а</sub> =1050 °С, t <sub>ох</sub> = 630 °С)	I	293	313	570	71,8	2,745	2,798	+1,92
2				233	380	640	70,0	2,354	2,319	-1,46
3	Х75	ЗШ (ПД - АН30) - 2 шари	I	253	361	662	61,3	2,782	2,844	+2,22
4				233	362	663	61,6	2,777	2,837	+2,16
5				173	408	714	62,4	2,521	2,540	+0,78
6		ЗШ (ПД-АН30) - 1 шар	I	173	443	745	62,1	2,050	2,096	+2,27
7				213	430	701	63,9	2,146	2,156	+0,45
8			II	233	430	682	64,8	2,178	2,173	-0,23
9				293	430	636	67,5	2,263	2,198	-2,87
10				293	312	454	72,0	2,305	2,262	-1,86
11	10ХСНД	Нагрів 1100 °С; 2 год., охолодження з піччю, вакуум	II	253	317	478	68,5	2,220	2,197	-1,03
12				233	326	493	66,8	2,156	2,147	-0,41
13				213	339	510	65,1	2,082	2,084	+0,10
14				173	382	549	61,1	1,894	1,900	+0,31
15	12ХНЗМФА	ТО <sub>п</sub> (t <sub>а</sub> =870 °С, t <sub>от</sub> =650 °С)	II	293	880	950	72,0	1,882	1,917	+1,87
16				233	940	1010	71,0	1,769	1,785	+0,93
17				193	970	1040	71,0	1,717	1,736	+1,10
18				113	1100	1140	70,0	1,564	1,597	+2,14
19				93	1190	1210	66,0	1,475	1,506	+2,14
20				77	1290	1310	58,0	1,362	1,374	+0,88
21	12ХНЗМФА	ШТО (ТЦО при t <sub>а</sub> =850 °С, 3 цикли, t <sub>от</sub> =660 °С)	II	293	900	1060	75,0	2,079	2,068	-0,55
22				233	920	1110	74,0	2,000	1,989	-0,55
23				193	940	1150	76,0	1,940	2,009	+3,55
24				153	990	1170	76,0	1,887	1,891	+0,23
25				93	1120	1290	73,0	1,698	1,691	-0,41
26				77	1210	1400	68,0	1,564	1,530	-2,14
27	АК-35	Стан постачання	II	253	1050	1142	72,6	1,803	1,856	+2,96
28				233	1065	1150	71,4	1,787	1,796	+0,48
29				213	1083	1163	70,2	1,766	1,747	-1,10
30				173	1127	1204	67,8	1,704	1,664	-2,34
31	12ХН2МДФ	ЗШ (флюс 48-АНК-54, дрiт Св.-10)В = 0,004вес. %	II	293	642	783	67,9	1,854	1,912	+3,13
32				253	658	795	65,1	1,819	1,811	-0,42
33				233	672	807	63,8	1,790	1,768	-1,18
34				213	689	823	62,4	1,750	1,722	-1,60
35				173	735	871	59,7	1,650	1,638	-0,70
36	Ст.3сп	Нагрів 1100 °С; 2,75 год., охолодження з піччю, вакуум	III	293	160	340	71,7	2,550	2,454	-3,74
37				253	192	362	64,9	2,249	2,310	+2,69
38				233	213	378	61,4	2,094	2,119	+1,20
39				213	239	398	58,0	1,931	1,908	-1,20
40				173	308	450	51,1	1,610	1,576	-2,10
41	20ХГС2	Гарячекатаний стан (ферит, троостит, бейніт)	III	193	560	830	52,0	1,615	1,632	+1,06
42			I	293	540	795	55,7	1,679	1,730	+3,01
43	Х75	ЗШ (ПД – АН30) - 3 шари	III	293	404	730	51,9	2,320	2,333	+0,57

Таблиця 4

№ п/п	Сталі, сплави	Обробка	Група	T <sub>вип.</sub> , К	σ <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> , МПа	ψ <sub>к</sub> , %	K <sub>мс</sub> <sup>експ.</sup>	K <sub>мс</sub> <sup>розр.</sup>	Δ, %
44			I	173	507	797	58,0	1,982	1,985	+0,14
45				293	341	807	12,8	1,579	1,512	-4,25
46				253	391	859	12,0	1,430	1,447	+1,17
47				233	427	876	11,6	1,360	1,397	+2,76
48				213	473	885	11,2	1,293	1,335	+3,29
49				173	507	881	3,8	1,150	1,114	-3,19
S =										1,97
P(K <sub>мс</sub> <sup>розр.</sup> ± 5,0%) =										0,989

Примітки: \* - сталь, що піддається знеміцненню в області нерівномірної пластичної деформації; Δ - відносна похибка розрахунку величини характеристики K<sub>мс</sub><sup>розр.</sup> по відношенню до експериментальних значень K<sub>мс</sub><sup>експ.</sup>; ТО<sub>п</sub> - пічна термічна обробка; ШТО - швидкісна термічна обробка; ЦО - термоциклічна обробка; t<sub>а</sub> - температура аустенізації; t<sub>ох</sub> - температура охолодження; t<sub>от</sub> - температура відпуску; ЗШ - зварний шов; ПД - порошковий дріт; В - вміст бору в зварному шві.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

Спосіб визначення характеристики механічної стабільності конструкційних сталей, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур від 77 К до 293 К та визначення при цьому базових механічних характеристик, розраховують величини інтенсивності напружень руйнування σ<sub>і</sub><sup>к</sup> та відносного

рівномірного звуження зразка ψ<sub>р</sub>, будують експериментальні залежності опору пластичній

деформації в області нерівномірної деформації lg σ = f(lg ε), що характеризуються зберіганням

властивості лінійності або 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,

визначають показники деформаційного зміцнення для кожної групи сплавів, який **відрізняється**

тим, що додатково будують залежності, які пов'язують приведені значення еквівалентної

деформації ε<sub>екв.</sub> з показниками деформаційного зміцнення або їх комбінаціями в областях

рівномірної та нерівномірної деформації для кожної групи сплавів, а характеристику механічної

стабільності K<sub>мс</sub> певної конструкційної сталі визначають відповідно до її належності певній

групі за величинами базових механічних характеристик таких, як σ<sub>0,2</sub> - умовна границя

текучості, МПа, σ<sub>в</sub> - границя міцності, МПа, ψ<sub>к</sub> - відносне звуження після руйнування зразка, в

%:

- для сплавів I-ої групи:

$$K_{мс}^I = 10^{A \cdot n^2}$$

25 де:  $n = \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{0,2} \cdot (1 - \psi_{\text{р}})} \right]}{\lg [-500 \cdot \ln(1 - \psi_{\text{р}})]}$  - показник деформаційного зміцнення;

$$\psi_{\text{р}} = \psi_{\text{к}} \cdot \frac{1 - \sigma_{0,2} / \sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{і}}^{\text{к}} / \sigma_{\text{в}} - \sigma_{0,2} / \sigma_{\text{в}}}$$

відповідне рівномірне звуження зразка, в частках,

де ψ<sub>к</sub>, в частках;

$$\sigma_{\text{і}}^{\text{к}} / \sigma_{\text{в}} = 10^m, m = 1 + \frac{a \cdot \lg \psi_{\text{к}} - b}{c - \lg \psi_{\text{к}}},$$

$a = 1,027$  ,  $b = 2,158$  ,  $c = 2,185$  ;  $A = 13,582$  - емпіричні коефіцієнти;  
для сплавів II-ої групи:

$$K_{ms}^{II} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \cdot 10^m ,$$

де:  $S_B = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_p}$  - дійсне напруження на границі міцності, МПа;

$$5 \quad m = n^{II} \cdot \lg \bar{e}_{екв.}^{II} - n ;$$

$$\lg \bar{e}_{екв.}^{II} = a \cdot \left( \frac{n^{II}}{n} - 1 \right)^b ,$$

$$a = \frac{A \cdot T_{вип.} - B}{T_{вип.} - C}, b = D - F \cdot T_{вип.} + N \cdot T_{вип.}^2 ;$$

$A = 1,167$  ;  $B = 56,361$  ;  $C = 9,847$  ;  $D = 0,823$  ;  $F = 0,004 [K^{-1}]$  ;  $N = 8,7 \cdot 10^{-6} [K^{-2}]$  - емпіричні коефіцієнти;  $T_{вип.}$  - температура випробувань, К;

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

$e_p = -\ln(1 - \psi_p)$  - дійсна рівномірна деформація;

$e_k = -\ln(1 - \psi_k)$  - дійсна деформація руйнування зразка, де  $\psi_k$  , в частках;

$a = 55,427$  ;  $b = 55,357$  ;  $c = 0,084$  ;  $d = 1,973$  - емпіричні коефіцієнти;

для сплавів III-ої групи, що не знеміцнюються:

$$15 \quad K_{ms}^{III} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2}} \cdot 10^m ,$$

де:  $m = n^{III} \cdot \lg \bar{e}_{екв.}^{III} - n$  ,

$$\lg \bar{e}_{екв.}^{III} = a \cdot \left( 1 - \frac{n^{III}}{n} \right)^b ;$$

$$a = \frac{A \cdot T_{вип.} - B}{T_{вип.} + C}, b = D + F \cdot T_{вип.} - N \cdot T_{вип.}^2 ;$$

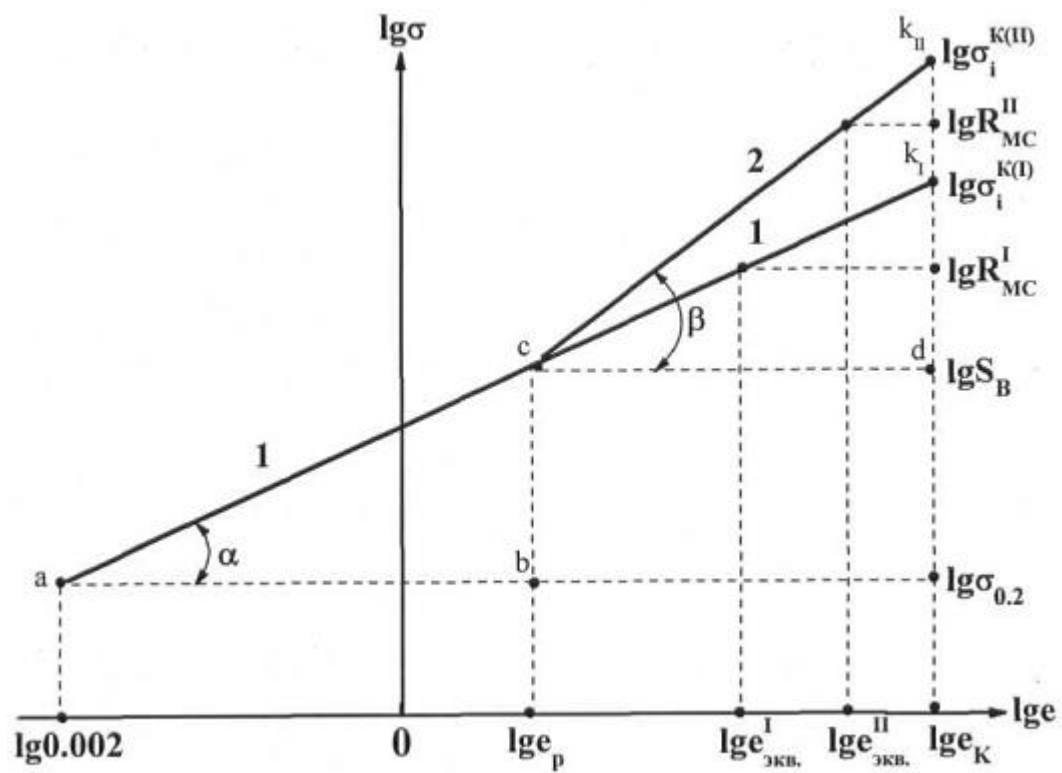
$A = 11,124$  ;  $B = 494,944$  ;  $C = 799,844$  ;  $D = -0,04$  ;  $F = 0,01 [K^{-1}]$  ;  $N = 3,0 \cdot 10^{-5} [K^{-2}]$  - емпіричні коефіцієнти;  $T_{вип.}$  - температура випробувань, К;

$$20 \quad n^{III} = - \frac{\lg(S_B / \sigma_{0,2})}{\lg(e_k / e_p)} \cdot \left[ A + B \cdot \frac{\lg(e_k / e_p)}{\lg(500 \cdot e_p)} \right] - \text{показник деформаційного зміцнення};$$

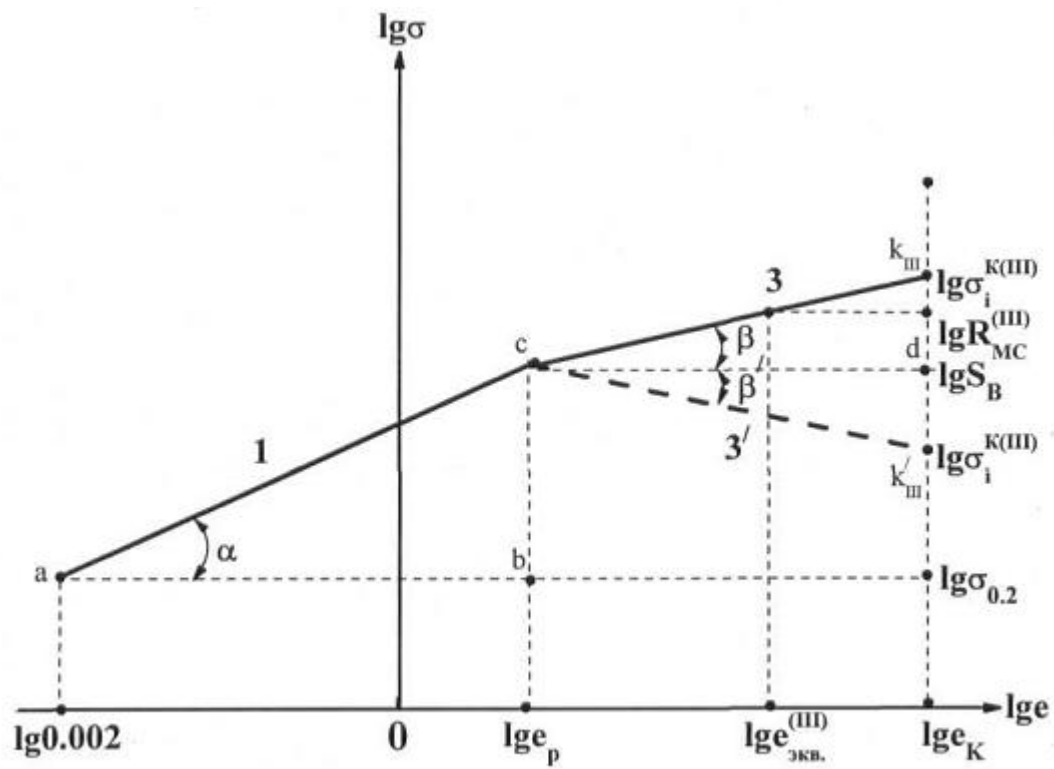
$A = -0,094$  ;  $B = 0,946$  - емпіричні коефіцієнти.

для сплавів III-ої групи, що знеміцнюються:

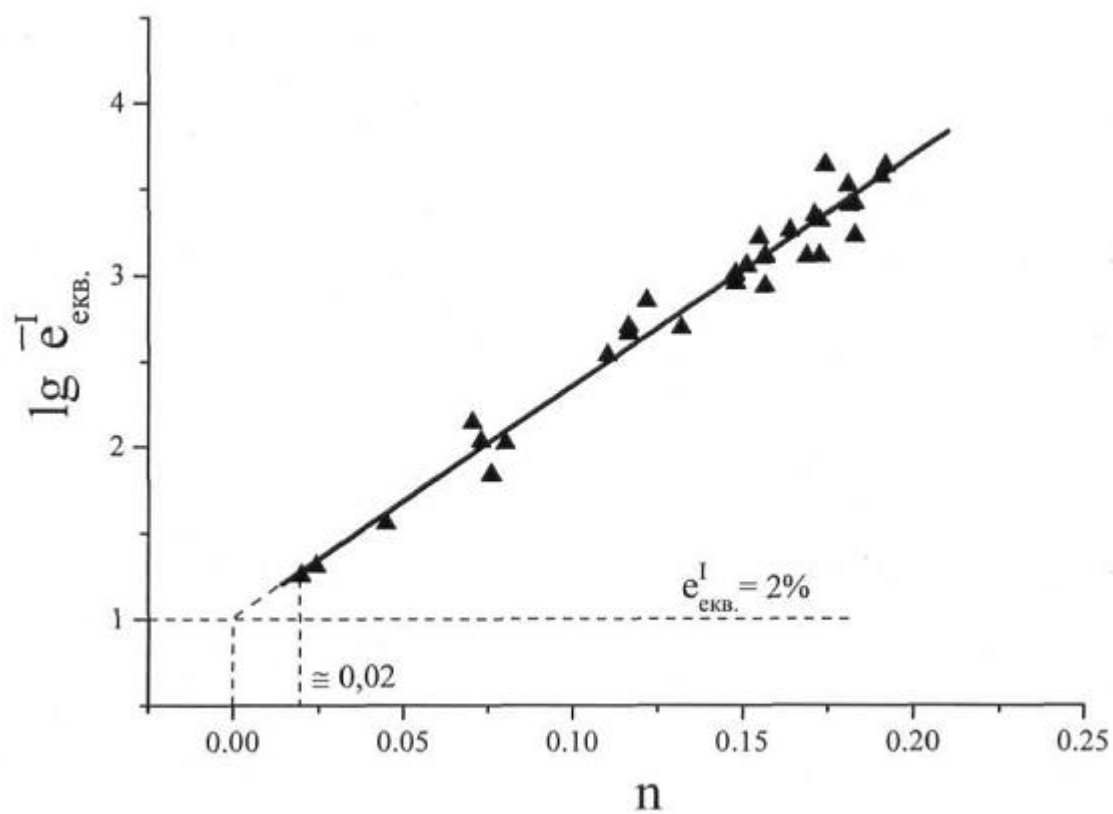
$$K_{ms}^{III} = \frac{S_B}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n} .$$



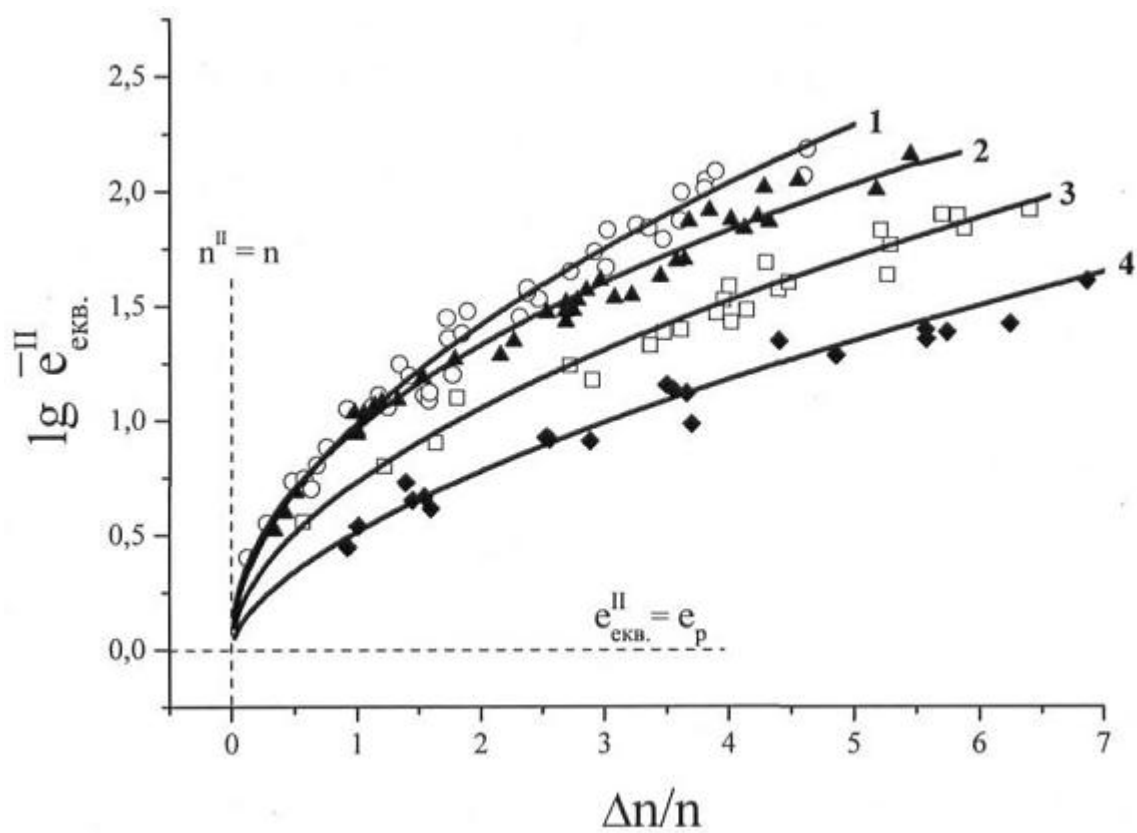
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

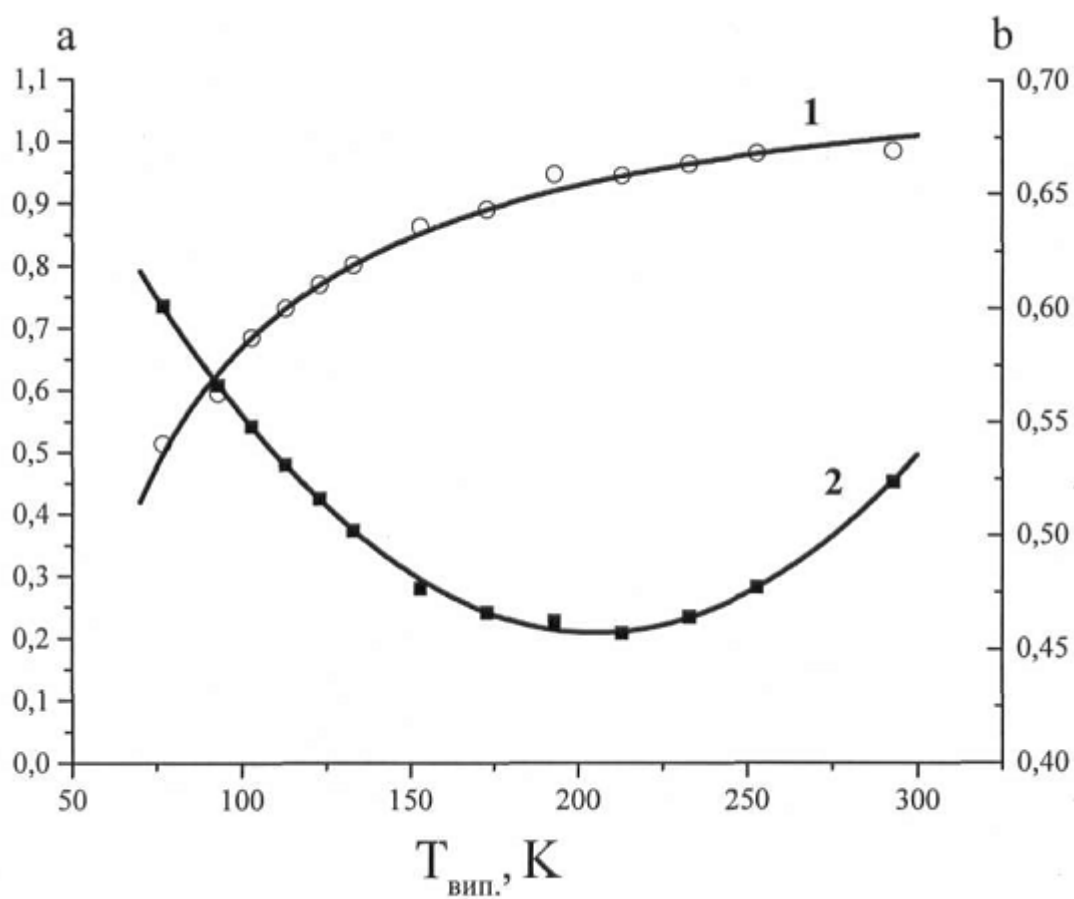


Fig. 5

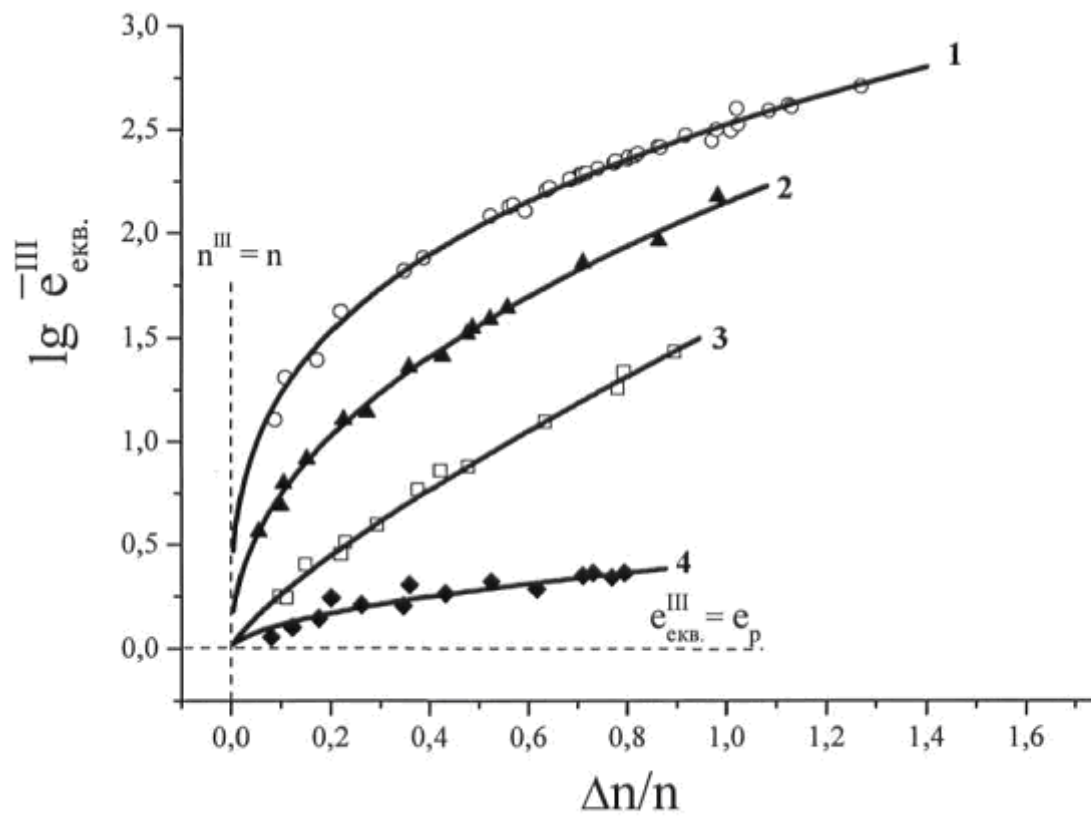


Fig. 6



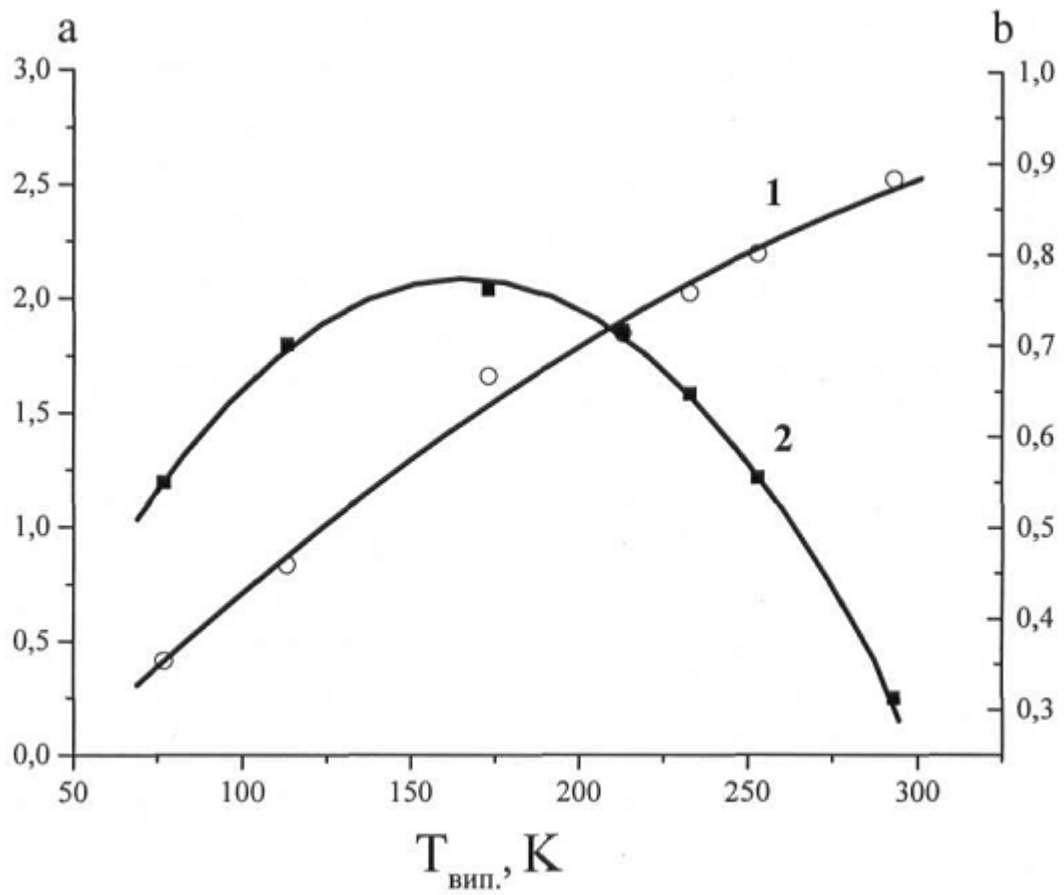


Fig. 7

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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