



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 97321 (13) C2
(51) МПК
G01N 3/08 (2006.01)

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

1

(21) а201013359

(22) 10.11.2010

(24) 25.01.2012

(46) 25.01.2012, Бюл. № 2, 2012 р.

(72) МЕШКОВ ЮРІЙ ЯКОВИЧ, КОТРЕЧКО СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, ШИЯН АРТУР ВІТАЛІЙОВИЧ, СТЕЦЕНКО НАТАЛІЯ МИКОЛАЇВНА

(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) UA 49501 U; 26.04.2010

SU 976340; 23.11.1982

SU 1434319 A1; 30.10.1988

RU 2155329 C1; 27.08.2000

JP 2008191009 A; 21.08.2008

Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей// Металлофизика та новітні технології. Т. 32, № 8. - С.1123-1140.

Науковий твір. "Новые подходы к определению хрупкой прочности и механической стабильности сплав на основе железа". Мешков Ю.Я., Котречко С.О., Шиян А.В., Стеценко Н.М. Свідчення про реєстрацію авторського права № 35167 (Україна); 28.09.2010.

(57) Спосіб визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних сталей, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при кімнатній температурі +20 °С, вимірюють показники основних механічних властивостей, розраховують значення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} згідно з залежністю $lg \bar{e}_{екв} - lg \psi_K$ в діапазоні змін $10\% \leq \psi_K \leq 81\%$, який **відрізняється** тим, що значення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} визначають шляхом розрахунку за фізично обґрунтованими залежностями

2

типами виду $\bar{e}_{екв} - \psi_K$ для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$, та $lg \bar{e}_{екв} - lg \psi_K$ для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$, а саме:

для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0.2} \cdot 10^m,$$

$$m = lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + lg [ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p,$$

$$p = lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + lg [ln(1 + \delta_p)]},$$

для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$.

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0.2} \cdot 10^m,$$

$$m = \left(1 + \frac{1.377 \cdot lg \psi_K - 2.334}{1.985 - lg \psi_K} \right) \cdot \frac{lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + lg [ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p,$$

$$p = \frac{1.377 \cdot lg \psi_K - 2.334}{1.985 - lg \psi_K} \cdot \frac{lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + lg [ln(1 + \delta_p)]},$$

де: ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка;

δ_p - відносне рівномірне видовження зразка;

$\sigma_{0.2}$ - умовна границя текучості;

σ_B - границя міцності.

Винахід належить до галузі дослідження механічних властивостей твердих матеріалів, а саме визначення рівня крихкої міцності та механічної стабільності конструкційних сталей за допомогою

випробувань на одновісний розтяг при кімнатній температурі +20 °С.

Відомий спосіб визначення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей, при якому проводять розтягування стан-

(13) C2
(11) 97321
(19) UA

дартного гладкого циліндричного зразка з кільцевим концентратором повздовж однієї осі зі створенням напруженого стану, який забезпечує окрихнення сталі, при різних температурах в інтервалі температур вище -196°C , а значення крихкої міцності R_{MC} визначають за величиною середнього номінального напруження руйнування σ_{NF} при значенні залишкової деформації в місці розриву ψ , яке дорівнює 2 % [1].

Недоліками даного способу є: а) складність, тривалість в часі та дороговизна виготовлення дослідних зразків з кільцевими концентраторами; б) неможливість визначення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей з високим рівнем пластичності при кімнатній температурі випробувань $+20^{\circ}\text{C}$.

Відомий також спосіб визначення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей, при якому проводять розрахунки R_{MC} та K_{ms} за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур не нижче 196°C , у тому числі і при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$. За цим способом, значення крихкої міцності R_{MC} визначають шляхом розрахунку згідно з фізично обґрунтованою залежністю для заданої температури випробувань [2]:

$$R_{MC}^{\text{розн.}} = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \cdot \lg(\bar{\epsilon}_{\text{екв}})}, \quad (1)$$

де n - показник деформаційного зміцнення;

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

$$\bar{\epsilon}_{\text{екв.}} = \frac{\epsilon_{\text{екв.}}}{0.002} - \text{приведене значення еквівалентної деформації.}$$

Відповідно, значення механічної стабільності K_{ms} буде розраховуватись за формулою:

$$K_{ms}^{\text{розн.}} = \frac{R_{MC}^{\text{розн.}}}{\sigma_{0,2} \times 10^n}. \quad (2)$$

Разом з цим, цей спосіб визначення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} має наступні недоліки: а) необхідність ранжування конструкційних сталей за показниками $\sigma_{0,2}$ та n ; б) наявність великої кількості «категорій» при ранжуванні; в) відносно низька точність розрахунків, особливо при температурі випробувань $+20^{\circ}\text{C}$.

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$, вимірюють показники основних механічних властивостей, розраховують значення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} згідно з залежністю $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ в діапазоні змін $10\% \leq \psi_K \leq 81\%$ за фізично обґрунтованими рівняннями [3]:

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

$$m = \left(1 + \frac{0.164 \cdot \lg \psi_K - 0.15}{1.95 - \lg \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} \quad (3)$$

$$K_{ms}^{\text{розн.}} = 10^p,$$

$$p = \frac{0.164 \cdot \lg \psi_K - 0.15}{1.95 - \lg \psi_K} \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}, \quad (4)$$

де ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка;

δ_p - відносне рівномірне видовження зразка;

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

σ_B - границя міцності.

Спосіб дозволяє відносно швидко проводити розрахунки значень крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$. Разом з тим, цей спосіб визначення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} за прототипом має відносно низьку точність розрахунків, особливо для конструкційних сталей, у яких $\psi_K \geq 60\%$.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення рівня крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} конструкційних сталей шляхом створення фізично обґрунтованої методики, що дозволяє швидко проводити розрахунки R_{MC} та K_{ms} за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$ з достатньо високою точністю не тільки для інженерних та технологічних лабораторних розрахунків, але і для наукових досліджень.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення характеристик крихкого руйнування конструкційних сталей, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$, вимірюють показники основних механічних властивостей, розраховують значення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} згідно з залежністю $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ в діапазоні змін $10\% \leq \psi_K \leq 81\%$, згідно з винаходом, значення крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} визначають шляхом розрахунку за фізично обґрунтованими залежностями виду $\bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \psi_K$ для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$, та $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} - \lg \psi_K$ для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$, а саме:

для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$:

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

$$m = \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{\text{розн.}} = 10^p,$$

$$p = \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]},$$

для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0.2} \cdot 10^m,$$

$$m = \left(1 + \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p,$$

$$p = \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K} \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]},$$

де: ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка;

δ_p - відносне рівномірне видовження зразка;

$\sigma_{0.2}$ - умовна границя текучості;

σ_B - границя міцності.

Відомо, що значення показника пластичності $\psi_K \approx 60\%$ є критичним, вище якого має місце різке підвищення еквівалентної деформації $\bar{\epsilon}_{екв.}$, що дозволяє розглядати область залежності $\lg \bar{\epsilon}_{екв.} - \lg \psi_K$, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$, як область, для якої притаманно нарощування ознак в'язкого руйнування в «шийці» зразка, а область, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$, як область, для якої характерні ознаки крихкого руйнування. В зв'язку з цим, з метою підвищення точності розрахунків, має сенс виділити як самостійні дві області: де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$ та де $60\% < \psi_K \leq 81\%$. Таким чином отримуємо наступні залежності для розрахунку значень крихкої міцності R_{MC} та механічної стабільності K_{ms} при кімнатній температурі випробувань $+20^\circ\text{C}$:

для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0.2} \cdot 10^m,$$

$$m = \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p,$$

$$p = \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]},$$

для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$:

$$R_{MC}^{розр.} = \sigma_{0.2} \cdot 10^m,$$

$$m = \left(1 + \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{розр.} = 10^p,$$

$$p = \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K} \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}.$$

Випробування стандартних гладких циліндричних дослідних зразків при кімнатній температурі $+20^\circ\text{C}$, визначення показників основних механічних властивостей та розрахунок значень характеристик крихкого руйнування конструкційних сталей за методикою винаходу дає можливість більш точного визначення крихкої міцності та механічної стабільності у широкому діапазоні змін $10\% < \psi_K \leq 81\%$, що прийнятно не тільки для інженерних та технологічних лабораторних розрахунків, але і для наукових досліджень.

Винахід пояснюється кресленнями:

фіг. 1 - Залежність виду $\lg \bar{\epsilon}_{екв.} - \lg \psi_K$ в логарифмічних координатах: • - експериментальні дані; крива 1 - апроксимація залежності $\lg \bar{\epsilon}_{екв.} - \lg \psi_K$; крива 2 - асимптота вздовж осі X; крива 3 - асимптота вздовж осі Y; I - область, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$; II - область, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$.

фіг. 2 - 1 - залежність виду $\bar{\epsilon}_{екв.} - \psi_K$ в дійсних координатах для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$ (область I кривої 1 на фіг. 1) для більш точного визначення крихкої міцності $R_{MC}^{розр.}$ та механічної стабільності $K_{ms}^{розр.}$; 2 - асимптота вздовж осі X.

фіг. 3 - 1 - залежність виду $\lg \bar{\epsilon}_{екв.} - \lg \psi_K$ в логарифмічних координатах для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$ (область II кривої 1 на фіг. 1) для більш точного визначення крихкої міцності $R_{MC}^{розр.}$ та механічної стабільності $K_{ms}^{розр.}$; 2 - асимптота вздовж осі Y.

В таблиці Додатку до опису винаходу наведені результати визначення крихкої міцності $R_{MC}^{розр.}$ та механічної стабільності $K_{ms}^{розр.}$ при $T_{випр} = +20^\circ\text{C}$ та оцінка похибки визначення цих характеристик з використанням способу, що заявляється ($R_{MC}^{експ.}$ та $K_{ms}^{експ.}$ - експериментальні дані крихкої міцності та механічної стабільності).

Спосіб реалізується наступним чином.

Проводили розтягування зразка повздовж однієї осі при кімнатній температурі $+20^\circ\text{C}$, при цьому використовували стандартні гладкі циліндричні зразки. Визначали показники основних механічних властивостей: ψ_K , δ_p , $\sigma_{0.2}$, σ_B та проводили розподіл всіх досліджуваних матеріалів на дві частини: першу - у яких $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$ та другу - у яких $60\% < \psi_K \leq 81\%$.

Для визначення розрахункових значень крихкої міцності $R_{MC}^{розр.}$ та механічної стабільності

$K_{ms}^{розр.}$ здійснювали наступні дії.

Як видно з фіг. 1, за критичним значенням показника пластичності $\psi_K \approx 60\%$ виділяють як самостійні дві області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$ (I, фіг. 1) та де $60\% < \psi_K \leq 81\%$ (II, фіг. 1).

Гіперболічна залежність, що наведена на фіг. 2 (крива 1) є першою частиною загальної гіперболічної залежності, наведеної на фіг. 1 (крива 1) в області середніх та малих пластичних деформацій, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$, і може бути апроксимована функцією, що має вигляд:

$$y = a + \frac{c/x + c''}{b - x}. \quad (5)$$

Таким чином, рівняння (5), що описує функціональну залежність приведеної еквівалентної деформації $\bar{e}_{\text{екв.}}$ від залишкового відносного звуження гладкого циліндричного зразка ψ_K , можна представити у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} e_{\text{екв.}} &= 2 + \frac{1.025 \cdot \psi_K + 12.683}{63.8 - \psi_K} \\ \lg \bar{e}_{\text{екв.}} &= \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

що по аналогії із залежностями (3), (4), приводить до наступних рівнянь для більш точного визначення крихкої міцності $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ та механічної стабільності $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ - в цій області:

$$\begin{aligned} R_{\text{МС}}^{\text{розр.}} &= \sigma_{0.2} \cdot 10^m, \\ m &= \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}, \quad (7) \\ K_{\text{МС}}^{\text{розр.}} &= 10^p, \\ p &= \lg \left(10 + \frac{5.125 \cdot \psi_K + 63.42}{63.8 - \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}, \quad (8) \end{aligned}$$

Гіперболічна залежність, що наведена на фіг. 3 (крива 1), є другою частиною загальної гіперболічної залежності, наведеної на фіг. 1 (крива 1) в області великих пластичних деформацій, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$ і також може бути апроксимована функцією, що має вигляд (5). Таким чином, залежність приведеної еквівалентної деформації $\bar{e}_{\text{екв.}}$ від залишкового відносного звуження гладкого циліндричного зразка ψ_K , можна представити у наступному вигляді:

$$\lg \bar{e}_{\text{екв.}} = 1 + \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K}, \quad (9)$$

що по аналогії з залежностями (3), (4), (7), (8) приводить до наступних рівнянь для більш точного визначення крихкої міцності $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ та механічної стабільності $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ в цій області:

$$\begin{aligned} R_{\text{МС}}^{\text{розр.}} &= \sigma_{0.2} \cdot 10^m, \\ m &= \left(1 + \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K} \right) \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}, \quad (10) \\ K_{\text{МС}}^{\text{розр.}} &= 10^p, \end{aligned}$$

$$p = \frac{1.377 \cdot \lg \psi_K - 2.334}{1.985 - \lg \psi_K} \cdot \frac{\lg \left[\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}} (1 + \delta_p) \right]}{2.7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}. \quad (11)$$

Отримані залежності (7) і (8) дають змогу визначати крихку міцність $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ та механічну стабільність $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$ для області, де $10\% \leq \psi_K \leq 60\%$, з точністю, при якій відносна похибка складає: $\delta \leq 2.7\%$, а її середнє значення $\langle \delta \rangle = 0.8\%$, для області, де $60\% < \psi_K \leq 81\%$, відносна похибка складає: $\delta \leq 5.0\%$, а її середнє значення $\langle \delta \rangle = 2.0\%$. Для всього дослідженого діапазону $10\% < \psi_K \leq 81\%$ значення середньої відносної похибки $\langle \delta \rangle$ складає 1,4% (див. таблицю Додатку), що достатньо не тільки для оціночних інженерних та технологічних розрахунків при відборі (ранжуванні) та класифікації конструкційних сталей, але і для наукових досліджень.

Література:

1. Патент України на корисну модель № 49501, МПК G01N 3/08, 2009.
2. Котречко С. А., Мешков Ю. Я., Шиян А. В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металлофізика та новітні технології, 2010, т. 32, № 8, С. 1123 - 1140.
3. Науковий твір «Новые подходы к определению хрупкой прочности и механической стабильности сплавов на основе железа», автори: Мешков Ю. Я., Котречко С. О., Шиян А. В., Стеценко Н. М. Свідчення про реєстрацію авторського права № 35167 /Україна/. Опубл. 28.09.2010, бюл. № 23, С. 7-8.

Таблиця

Результати визначення $R_{MC}^{розр.}$, $K_{ms}^{розр.}$ при $T_{випр}=+20$ °C та оцінка похибки визначення цих характеристик з використанням способу, що заявляється, ($R_{MC}^{розр.}$ та $K_{ms}^{розр.}$ експериментальні дані крихкої міцності та механічної стабільності)

№ з/п	Матеріал	ψ_k , %	δ_p	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	$R_{MC}^{експ.}$, МПа	$R_{MC}^{розр.}$, МПа	$K_{MC}^{експ.}$	$K_{ms}^{розр.}$	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	АБ-2Ш	81,0	0,145	753	787	1358	1360	1,596	1,598	0,1
2	10Г2ФБ	79,3	0,238	553	683	1639	1652	2,296	2,314	0,8
3	15Г2АФ	76,3	0,219	393	544	1220	1212	2,255	2,240	0,7
4	09Г2	75,0	0,305	390	550	1198	1201	2,174	2,180	0,2
5	АК-35	75,0	0,134	1027	1141	1687	1736	1,398	1,438	2,8
6	10ХСНД	72,0	0,324	312	454	879	854	1,953	1,898	2,8
7	Зсп.	71,7	0,360	160	340	700	737	2,448	2,577	5,0
8	15ГБ	71,0	0,223	383	597	1088	1070	1,915	1,884	1,7
9	36×2НЗМФА	70,5	0,212	680	770	1120	1118	1,356	1,354	0,2
10	06Г2	70,1	0,216	336	578	1085	1040	2,051	1,966	4,1
11	10ГН2МФА	69,7	0,249	480	610	925	937	1,466	1,485	1,3
12	15ХСНД	68,0	0,333	320	510	788	819	1,618	1,682	3,8
13	12ХНЗМФА	66,0	0,130	710	883	1117	1156	1,238	1,282	3,4
14	12СГАФ	65,0	0,330	360	560	756	791	1,400	1,465	4,4
15	14ГНМА	62,0	0,310	340	490	630	625	1,294	1,283	0,8
									$\langle \delta' \rangle$, %	2,0
16	15ГНМФА	60,0	0,220	490	610	825	824	1,303	1,302	0,1
17	10ХГСМФЮ	60,0	0,240	410	590	834	831	1,434	1,433	0,4
18	40ХГСНДАМФ	51,0	0,160	735	980	1138	1152	1,159	1,173	1,2
19	22К	48,0	0,240	250	500	554	558	1,285	1,295	0,7
20	45ГСФ	45,0	0,150	730	1030	1160	1157	1,146	1,143	0,3
21	12ХГСМФЮ	36,0	0,110	550	780	838	845	1,090	1,099	0,8
22	12Х2М	30,0	0,180	865	910	935	945	1,059	1,071	1,1
23	20ХГНР	27,0	0,060	1140	1340	1450	1447	1,041	1,039	0,2
24	ЮЗ	25,0	0,400	550	750	850	827	1,093	1,063	2,7
25	50ХН	19,5	0,072	1840	2260	2400	2403	1,031	1,033	0,1
26	50Х	16,5	0,066	1860	2305	2425	2437	1,024	1,029	0,5
									$\langle \delta'' \rangle$, %	0,8
27	20ХГС2 (1) ¹	55,7	0,232	540	795	1000	1003	1,294	1,298	0,3
28	20ХГС2 (2)	60,2	0,185	1040	1210	1458	1434	1,142	1,123	1,6
29	15Х2МФА (1) ²	74,6	0,210	580	700	1258	1224	1,714	1,668	2,7
30	15Х2МФА (2)	67,2	0,161	1100	1160	1480	1467	1,177	1,167	0,9
31	Ст. 45 (1) ³	47,5	0,256	335	600	675	674	1,248	1,246	0,1
32	Ст. 45 (2)	19,7	0,060	1280	2040	2249	2207	1,090	1,069	1,9
33	20Х13 (1) ⁴	52,0	0,334	335	730	838	856	1,381	1,410	2,1
34	20Х13 (2)	49,8	0,260	1030	1165	1408	1415	1,110	1,115	0,5
35	40С2Х(1) ⁵	53,0	0,120	1760	2060	2431	2413	1,137	1,128	0,7
36	40С2Х (2)	55,0	0,120	1690	1910	2195	2255	1,096	1,126	2,7
37	60С2Х (1) ⁶	27,0	0,050	1940	2160	2333	2325	1,032	1,028	0,3
38	60С2Х (2)	38,0	0,380	2205	2400	2610	2623	1,037	1,042	0,5
39	50Х (1) ⁷	14,5	0,061	1900	2320	2490	2459	1,038	1,025	1,2
40	50Х (2)	13,5	0,043	1920	2330	2510	2519	1,021	1,025	0,4
41	50Х (3)	10,0	0,032	2030	2320	2523	2510	1,023	1,017	0,5
42	50Х (4)	46,7	0,065	1920	2090	2330	2320	1,065	1,060	0,4
43	50Х (5)	51,5	0,064	1700	1840	2061	2065	1,070	1,072	0,2
44	50Х (6)	48,6	0,063	1560	1640	1800	1807	1,046	1,050	0,4
45	50Х (7)	57,2	0,081	1200	1270	1448	1465	1,081	1,094	1,2
46	50ХН (1) ⁸	13,0	0,057	1960	2330	2464	2474	1,017	1,021	0,4

Продовження таблиці

№ з/п	Матеріал	ψ_K , %	δ_p	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	$R_{MC}^{експ.}$, МПа	$R_{MC}^{розр.}$, МПа	$K_{MC}^{експ.}$	$K_{MC}^{розр.}$	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
47	50ХН (2)	12,0	0,042	2020	2340	2499	2509	1,016	1,020	0,4
48	15Х2МФА (СШ)(1) ⁹	74,0	0,170	600	700	1150	1118	1,565	1,521	2,8
49	15Х2МФА (СШ) (2)	75,0	0,240	475	605	1140	1159	1,824	1,854	1,6
50	X75 (1) ¹⁰	67,5	0,178	430	636	935	939	1,523	1,529	0,4
51	X75 (2)	61,7	0,204	361	662	866	823	1,465	1,393	5,0
52	X75 (3)	51,9	0,187	404	730	883	869	1,344	1,323	1,6
53	12ХН2МДФ (СШ) (1) ¹¹	59,9	0,141	622	781	1040	1023	1,307	1,285	1,6
54	12ХН2МДФ (СШ) (2)	68,1	0,195	628	780	1120	1100	1,391	1,366	1,8
55	12ХН2МДФ (СШ) (3)	67,9	0,184	642	783	1085	1084	1,336	1,335	0,0
									< δ >, %	1,4

Примітки:

- (1) - Горячепрокатаний (ферит, троостит, бейніт); (2) - термічно зміцнений (мартенсит, бейніт);
- (1) - Нагрів 1273 К, охол., масло + відпуск 973 К, 14 ч. + дод. відпуск 943 К, 84 ч.; (2) - нагрів 1273 К, 4 ч. + охол., масло + відпуск 893 К, 6 ч.;
- (1) - Нормалізація; (2) - гартування 1073 К, вода + відпуск 433 К, 2 ч.;
- (1) - відпал; (2) - гартування;
- ВТМО: (1) - відп. = 473 К; (2) - $T_{відп.} = 573$ К;
- (1) - Контрольне гартування, $T_{відп.} = 573$ К; (2) - ВТМО, $T_{відп.} = 573$ К;
- Гартування 1113 К, масло + ОХ + відпуск 423 К, 2 ч.: (1) - $T_{ох.} = 223$ К, (2) - $T_{ох.} = 183$ К, (3) - $T_{ох.} = 77$ К; відпуск: (4) - $T_{відп.} = 473$ К, (5) - $T_{відп.} = 573$ К, (6) - $T_{відп.} = 673$ К, (7) - $T_{відп.} = 773$ К;
- Гартування 1123 К, масло + ОХ + відпуск 423 К, 2 ч.: (1) - $T_{ох.} = 203$ К; (2) - $T_{ох.} = 77$ К;
- Електрод 13Х2МТФ Ø 32 мм., зв. дріт 48-ОФ-6 Ø 3 мм.: (1) - ОМ, (2) - МШ;
- Порошковий дріт АН30: (1) - 1 шар, (2) - 2 шари, (3) - 3 шари;
- Керамічний флюс 48-АН К-54, зв. дріт Св. - 10ГНМДТА: (1) В = 0,0 віс.%, (2) В = 0,0022 віс.%, (3) В = 0,004 віс.%

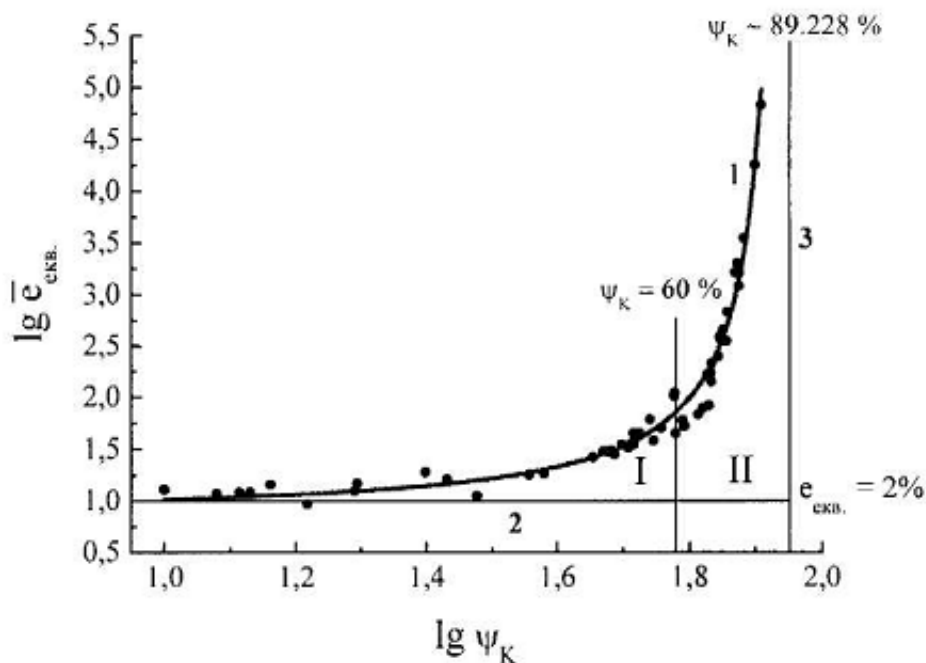
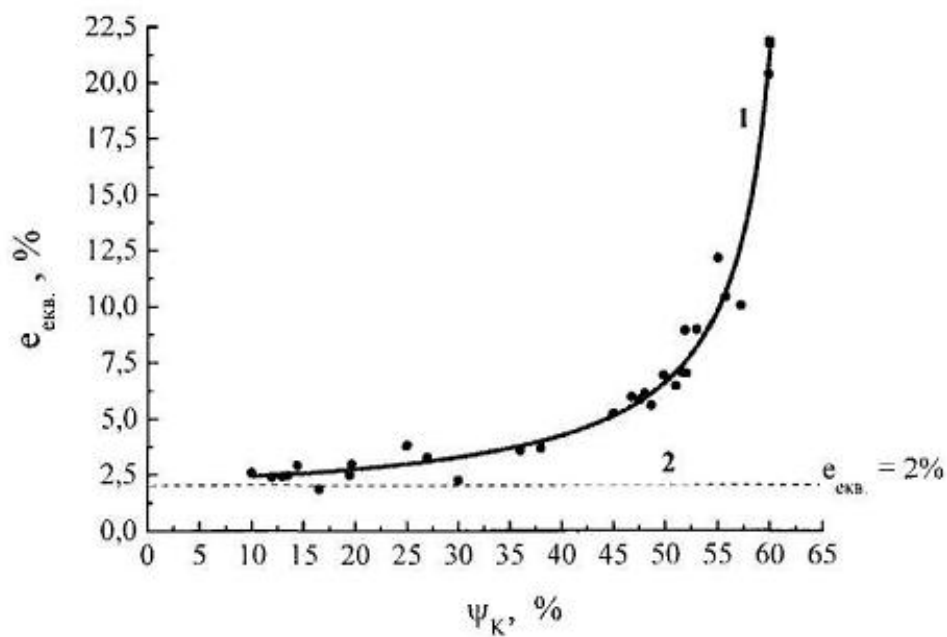
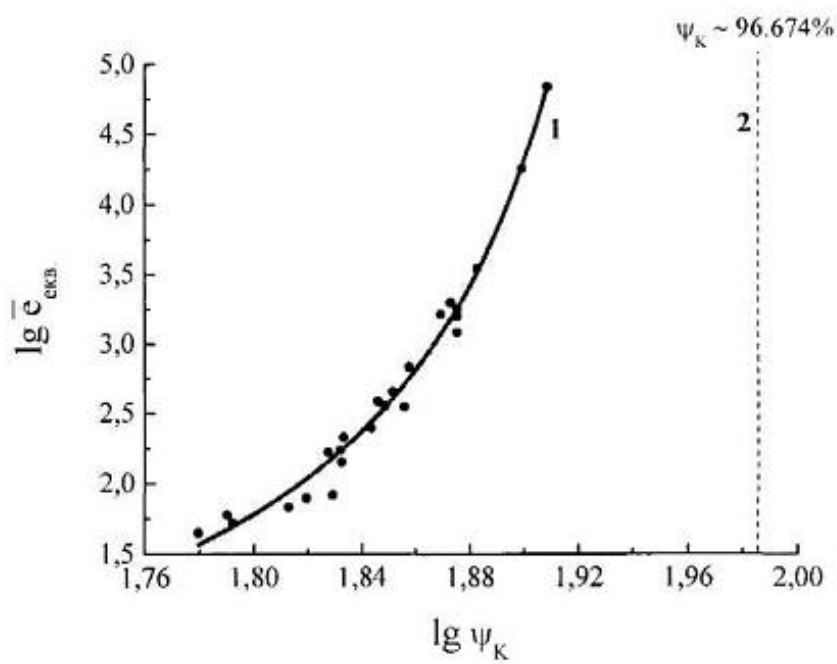


Fig. 1



Фиг. 2



Фиг. 3