



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 95870 (13) C2  
(51) МПК  
G01N 3/08 (2006.01)

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

### (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

1

2

(21) а201010678

(22) 06.09.2010

(24) 12.09.2011

(46) 12.09.2011, Бюл. № 17, 2011 р.

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

(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ.  
Г.В.КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НА-  
УК УКРАЇНИ

(56) UA 49501 U, 26.04.2010

UA 83197 C2, 25.06.2008

SU 1272161 A1, 23.11.1986

Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная проч-  
ность. Кристаллы, металлы, конструкции. – К.:  
Наукова думка, 2008. – С.142-143, 232-239

Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физичес-  
кие основы экспресс-метода для определения  
хрупкой прочности конструкционных сталей // Ме-  
таллофизика и новейшие технологии, 2010. - Т.32,  
№8. – С.1123-1140

(57) Спосіб визначення характеристик крихкого  
руйнування конструкційних сталей, при якому про-  
водять розтягування стандартного гладкого цилін-  
дричного зразка повздовж однієї осі при кімнатній  
температурі (+20°C) зі створенням напруженого  
стану, що забезпечує окрихчення сталі, визнача-

ють значення основних механічних характеристик  
металу та розраховують значення крихкої міцності  
 $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$ , який **відрізня-**  
**ється** тим, що значення крихкої міцності  $R_{MC}$  та  
механічної стабільності  $K_{ms}$  визначають шляхом  
розрахунку згідно з фізично обґрунтованими зале-  
жностями для кімнатної температури випробувань:

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

$$m = \left( 1 + \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \right) \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [1 + \delta_p]},$$

$$K_{ms}^{розн.} = 10^p,$$

$$p = \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [1 + \delta_p]},$$

де:  $\psi_k$  - відносне звуження після руйнування зра-  
зка;

$\delta_p$  - відносне рівномірне видовження зразка;

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

$\sigma_B$  - границя міцності.

Винахід відноситься до галузі дослідження ме-  
ханічних властивостей твердих матеріалів, а саме  
визначення рівня крихкої міцності та механічної  
стабільності конструкційних сталей за допомогою  
випробувань на одновісний розтяг при кімнатній  
температурі +20°C.

Відомий спосіб визначення крихкої міцності  
 $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$  конструкційних  
сталей шляхом розтягування гладких циліндрич-  
них зразків при температурах, близьких до темпе-  
ратури киплячого азоту (-196°C), коли зразок втра-  
чає пластичність до критичного рівня деформації в  
місці розриву  $\psi \approx 2\%$  при руйнуванні. Цьому рів-  
ню пластичності ( $\epsilon = 2\%$ ) відповідає мінімальне  
напруження в зоні крихкого руйнування, яке назива-  
ється опором мікросколу або крихкою міцністю  
 $R_{MC}$ . У випадках, коли при температурах випробу-

вання залишкова деформація в «шийці» трохи (до  
15 - 20%) перевищує критичну 2%, використовують  
отримані при таких випробуваннях значення дійс-  
ного напруження в шийці  $S_k$  ( $S_k > R_{MC}$ ). При цьому,  
рівень  $R_{MC}$  визначають шляхом екстраполяції по-  
точних значень напруження в шийці  $S_k$  на значен-  
ня, відповідне критичній деформації  $\epsilon = 2\%$ . Рівень  
напруження в шийці  $S_k$  при цій деформації прий-  
мається рівним величині крихкої міцності  $R_{MC}$ .  
Після цього розраховують значення механічної  
стабільності  $K_{ms}$  за формулою:  $K_{ms} = \frac{R_{MC}}{\sigma_2}$ , де  $\sigma_2$

- міцність пластичного металу при критичній де-  
формації  $\epsilon = 2\%$  [1].

Недоліком даного способу є наступне: значен-  
ня крихкої міцності  $R_{MC}$  для сталевих сплавів з  
високим рівнем пластичності визначають за відно-

(13) C2

(11) 95870

(19) UA

сним звуженням в місці руйнування («шийці»)  $\psi$  при температурах, близьких до  $-196^\circ\text{C}$  та залишковою пластичною деформацією значно вище 2 %, а це робить метод екстраполяції та інші подібні методи математичних розрахунків для гладких зразків неефективними тому, що вони несуть в собі значні похибки.

Відомий також спосіб визначення характеристик  $R_{MC}$  та  $K_{ms}$  конструкційних сталей, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка з кільцевим концентратором повздовж однієї осі зі створенням регламентованого напруженого стану, який забезпечує окрихнення сталі, при різних температурах в інтервалі температур вище  $-196^\circ\text{C}$ , а значення крихкої міцності  $R_{MC}$  визначають за величиною середнього номінального напруження руйнування  $\sigma_{NF}$  при значенні залишкової деформації в місці розриву  $\Psi$ , яке дорівнює 2% [2].

Разом з тим, спосіб визначення крихкої міцності та механічної стабільності за цим способом має наступні недоліки: а) складність, тривалість в часі та висока вартість 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  $+20^\circ\text{C}$ .

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб, що дозволяє відносно швидко проводити розрахунки  $R_{MC}$  та  $K_{ms}$  за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур не нижче  $-196^\circ\text{C}$ , 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:

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

де:

$n$  - показник деформаційного зміцнення;

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

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

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

$S_B$  - дійсне напруження на границі міцності:

$$S_B = \sigma_B \cdot (1 + \delta_p) \quad (3)$$

$e_p$  - дійсна рівномірна деформація:

$$e_p = \ln(1 + \delta_p) \quad (4)$$

$\sigma_B$  - границя міцності;

$\delta_p$  - відносне рівномірне видовження зразка.

Рівень напруження розтягу, що визначає крихку міцність  $R_{MC}$  конструкційних сталей, досягається

за рахунок деформаційного зміцнення. У зв'язку з цим, введено поняття «еквівалентної» деформації  $e_{\text{екв.}}$ , при якій, за рахунок деформаційного зміцнення, значення напруження розтягу може досягнути значення  $R_{MC}$  при температурах, вищих  $-196^\circ\text{C}$ , в тому числі, при  $+20^\circ\text{C}$  [3]. Відповідно, значення механічної стабільності буде розраховуватись за формулою:

$$K_{ms}^{\text{розн.}} = \frac{R_{MC}^{\text{розн.}}}{\sigma_{0,2} \times 10^n} \quad (5)$$

Разом з тим, спосіб визначення крихкої міцності  $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$  за прототипом має наступні недоліки: а) необхідність ранжування конструкційних сталей за показниками  $\sigma_2$  та  $n$ ; б) наявність великої кількості «категорій» при ранжуванні; в) відносно низька точність розрахунків, особливо при температурі випробувань  $+20^\circ\text{C}$ .

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення рівня крихкої міцності та механічної стабільності 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  $+20^\circ\text{C}$ .

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 ( $+20^\circ\text{C}$ ) зі створенням напруженого стану, що забезпечує окрихнення сталі, визначають значення основних механічних характеристик металу та розраховують значення крихкої міцності  $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$ , згідно з винаходом, значення крихкої міцності  $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$  визначають шляхом розрахунку згідно з фізично обґрунтованими залежностями для кімнатної температури випробувань:

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

$$m = \left( 1 + \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \right) \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]}$$

$$K_{ms}^{\text{розн.}} = 10^p,$$

$$p = \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]},$$

де:  $\psi_k$  - відносне звуження після руйнування зразка;

$\delta_p$  - відносне рівномірне видовження зразка;

$\sigma_2$  - умовна границя текучості;

$\sigma_B$  - границя міцності.

Випробування стандартних гладких циліндричних дослідних зразків при кімнатній температурі  $+20^\circ\text{C}$  та розрахунок значень крихкої міцності  $R_{MC}$  та механічної стабільності  $K_{ms}$  за методикою винаходу дає можливість більш швидкого визначення

крихкої міцності та механічної стабільності конструкційних сталей з більш високою та достатньою для лабораторних умов точністю, при цьому випробування проводяться при кімнатній температурі, що не потребує коштовного та громіздкого криогенного обладнання.

Винахід пояснюється графіком:

Фіг.1 - залежність виду  $\lg \bar{e}_{\text{екв.}} - \lg \psi_k$  в логарифмічних координатах: • - експериментальні дані; крива 1 - апроксимація залежності  $\lg \bar{e}_{\text{екв.}} - \lg \psi_k$ ; крива 2 - асимптота вздовж осі X; крива 3 - асимптота вздовж осі Y.

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

Спосіб реалізується наступним чином.

Проводять розтягування зразка повздовж однієї осі при кімнатній температурі  $+20^\circ\text{C}$ , при цьому використовують стандартні гладкі циліндричні зразки.

Для визначення розрахункових значень крихкої міцності  $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$  та механічної стабільності  $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$  здійснювали наступні математичні перетворення.

З огляду на (3) і (4) показник деформаційного зміцнення буде мати вигляд:

$$n = \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} \quad (6)$$

Таким чином, з огляду на (1), (5) та (6), отримуємо загальні залежності для розрахунку крихкої міцності та механічної стабільності у наступному вигляді:

$$R_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = \sigma_{0,2} \cdot 10^m, \quad m = \lg \bar{e}_{\text{екв.}} \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} \quad (7)$$

$$K_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = \frac{R_{\text{МС}}}{\sigma_2} = 10^p, \quad p = (\lg \bar{e}_{\text{екв.}} - 1) \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} \quad (8)$$

Згідно з експериментальними даними, що наведені на фіг.1, має місце зв'язок між двома характеристиками пластичності металу - граничною пластичністю при руйнуванні зразка в «шийці»  $\psi_k$  та значенням еквівалентної деформації  $e_{\text{екв.}}$ . При цьому,  $e_{\text{екв.}}$  визначає рівень пластичної деформації, при якому за рахунок деформаційного зміцнення рівень напружень розтягу  $\sigma_e$  в металі дорівнює

значенню крихкої міцності  $R_{\text{МС}}$ . У наведеному на графіку інтервалі значень пластичності  $\psi_k = 10\% - 81\%$  та міцності  $\sigma_{02} = 160 \text{ МПа} - 2205 \text{ МПа}$  залежність на графіку може бути апроксимована гіперболічною функцією, що має вигляд:

$$y = a + \frac{c'x - c''}{b - x}.$$

Особливість отриманої залежності у тому, що:

1. Вона інваріантна до різних комбінацій властивостей міцності та пластичності конструкційних сталей та режимів їх термічної обробки.

2. Асимптота 2 вздовж осі X має значення  $\lg \bar{e}_{\text{екв.}} = 1.0$ , тобто,  $e_{\text{екв.}} = 2\%$ , що, згідно з [1], є фізично обґрунтованою границею залишкової деформації для конструкційних сталей при досягненні значення крихкої міцності  $R_{\text{МС}}$ .

3. Суть коефіцієнтів, що характеризують залежність 1 на графіку, наступна:

$a = 1,0$  ( $e_{\text{екв.}} = 2\%$ ) - обумовлює значення асимптоти 2 вздовж осі X;

$b = 1.95$  ( $\psi_k \approx 89.2\%$ ) - обумовлює значення асимптоти 3 вздовж осі Y;

$a$  вираз  $c'x - c'' = 0.164x - 0.15$  - є радіусом кривизни гіперболи 1 в розрахунковій точці у.

Таким чином, рівняння (9), що описує функціональну залежність приведеної еквівалентної деформації  $\bar{e}_{\text{екв.}}$  від залишкового відносного звуження гладкого циліндричного зразка  $\psi_k$ , можна представити у наступному вигляді:

$$\lg \bar{e}_{\text{екв.}} = 1 + \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \quad (9)$$

що дає змогу, з огляду на (7) та (8), отримати кінцеві рівняння для розрахунку крихкої міцності  $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$  та механічної стабільності  $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$  конструкційних сталей за основними результатами лабораторних механічних випробувань на одновісний розтяг стандартних гладких циліндричних зразків при кімнатній температурі  $+20^\circ\text{C}$  практично в усьому реально існуючому діапазоні змін  $\psi_k$  (від 10% до 81% включно):

$$R_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = \sigma_{0,2} \cdot 10^m, \quad m = \left( 1 + \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \right) \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} \quad (10)$$

$$K_{\text{МС}}^{\text{розр.}} = 10^p, \quad p = \frac{0,164 \cdot \lg \psi_k - 0,15}{1,95 - \lg \psi_k} \cdot \frac{\lg \left[ \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} (1 + \delta_p) \right]}{2,7 + \lg [\ln(1 + \delta_p)]} \quad (11)$$

Отримані залежності (10) і (11) дають змогу визначати значення  $R_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$  та  $K_{\text{МС}}^{\text{розр.}}$  з точністю, при якій відносна похибка складає:  $\delta \leq 9.5\%$ , а її середнє значення  $\langle \delta \rangle = 2.6\%$  (див. Таблицю Додатку), що достатньо для оціночних інженерних розрахунків при відборі (ранжуванні) та класифікації конструкційних сталей.

## Література:

1. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции - Киев: Наук. думка, 2008, С. 142-144; 232-239.
2. Патент України на корисну модель №49501, МПК G 01N 3/08, 2009.
3. Котречко С.А., Мешков Ю.Я., Шиян А.В. Физические основы экспресс-метода для определения хрупкой прочности конструкционных сталей // Металофізика та новітні технології, 2010, т. 32, № 8, С. 1123 - 1140.

Таблица

№ п/п	Материал	ψ <sub>к</sub>	δ <sub>p</sub>	σ <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>B</sub> > МПа	R <sub>эксп.</sub> МС МПа	R <sub>розн.</sub> МС	K <sub>эксп.</sub> ms	K <sub>розн.</sub> ms	δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	АБ-2Ш	81,0	0,145	753	787	1358	1374	1,596	1,615	1,2
2	10Г2ФБ	79,3	0,238	553	683	1639	1611	2,296	2,257	1,7
3	15Г2АФ	76,3	0,219	393	544	1220	1149	2,255	2,124	5,8
4	09Г2	75,0	0,305	390	550	1198	1139	2,174	2,067	4,9
5	АК-35	75,0	0,134	1027	1141	1687	1693	1,398	1,403	0,4
6	10ХСНД	72,0	0,324	312	454	879	829	1,953	1,842	5,7
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	1048	1,915	1,845	3,7
9	36×2Н3МФА	70,5	0,212	680	770	1120	1110	1,356	1,344	0,9
10	06Г2	70,1	0,216	336	578	1085	1028	2,051	1,943	5,3
11	10ГН2МФА	69,7	0,249	480	610	925	933	1,466	1,479	0,9
12	15ХСНД	68,0	0,333	320	510	788	832	1,618	1,708	5,3
13	12ХН3МФА	66,0	0,130	710	883	1117	1185	1,238	1,313	5,7
14	12СГА	65,0	0,330	360	560	756	835	1,400	1,546	9,5
15	14ГНМА	62,0	0,310	340	490	630	676	1,294	1,388	6,8
16	15ГНМФА	60,0	0,220	490	610	825	781	1,303	1,234	5,3
17	10ХГСМФЮ	60,0	0,240	410	590	834	773	1,434	1,329	7,3
18	40ХГСНДАМФ	51,0	0,160	735	980	1138	1148	1,159	1,169	0,9
19	22К	48,0	0,240	250	500	554	557	1,285	1,292	0,5
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	842	1,090	1,095	0,5
22	12×2М	30,0	0,180	865	910	935	941	1,059	1,066	0,6
23	20ХГНР	27,0	0,060	1140	1340	1450	1439	1,041	1,033	0,8
24	ЮЗ	25,0	0,400	550	750	850	816	1,093	1,049	4,0
25	50ХН	19,5	0,072	1840	2260	2400	2379	1,031	1,022	0,9
26	50Х	16,5	0,066	1860	2305	2425	2408	1,024	1,017	0,7
27	20ХГС2 (1) <sup>1</sup>	55,7	0,232	540	795	1000	983	1,294	1,272	1,7
28	20ХГС2 (2)	60,2	0,185	1040	1210	1458	1514	1,142	1,186	3,7
29	15×2МФА (1) <sup>2</sup>	74,6	0,210	580	700	1258	1183	1,714	1,612	6,0
30	15×2МФА (2)	67,2	0,161	1100	1160	1480	1480	1,177	1,177	0,0
31	Ст. 45 (1) <sup>3</sup>	47,5	0,256	335	600	675	673	1,248	1,244	0,3
32	Ст. 45 (2)	19,7	0,060	1280	2040	2249	2163	1,090	1,048	3,8
33	20×13 (I) <sup>4</sup>	52,0	0,334	335	730	838	847	1,381	1,396	1,1
34	20×13 (2)	49,8	0,260	1030	1165	1408	1413	1,110	1,114	0,4
35	40С2Х (1) <sup>5</sup>	53,0	0,120	1760	2060	2431	2402	1,137	1,123	1,2
36	40С2Х (2)	55,0	0,120	1690	1910	2195	2237	1,096	1,117	1,9
37	60С2Х(1) <sup>6</sup>	27,0	0,050	1940	2160	2333	2315	1,032	1,024	0,8
38	60С2Х (2)	38,0	0,380							

Примітки:

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

