

УДК 669.01:539

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.270421.48.740

## ПРИНЦИПИ АТЕСТАЦІЇ МЕТАЛІВ НА СХИЛЬНІСТЬ ДО КРИХКОСТІ ЗА КРИТЕРІЄМ КРИТИЧНОЇ МІЦНОСТІ

МЄШКОВ Ю. Я., докт. техн. наук, проф., член-кор. НАН України

Відділ фізики міцності та руйнування матеріалів, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, б. Академіка Вернадського, 36, 03142, Київ, Україна, тел. +38 (066) 462-68-17, e-mail: [meshkov0305@gmail.com](mailto:meshkov0305@gmail.com), ORCID ID:0000-0002-9918-9792

**Анотація. Постановка проблеми.** Існуюча система оцінювання схильності до крихкості сталей, заснована на визначенні критичної температури  $T_c$  переходу зразків із концентратором напружень ( $KH$ ) до крихкого руйнування, використовує умовні порогові значення показників властивостей ударної в'язкості ( $KCV$ ,  $KCU$ ) або пластичності ( $\psi_k$ ), що робить умовним саме значення температури  $T_c$  і не дозволяє в кількісному вигляді оцінювати крихкість або ступінь окрихчуваності зразка з  $KH$ . **Мета роботи** – усунути системні недоліки принципів оцінювання схильності до окрихчуваності конструкційних сплавів за впливу  $KH$  за даними порогових значень показників  $KCV$  ( $KCU$ ) або  $\psi_k$ , замінивши їх поняттям критичного значення міцності сплаву  $\sigma_{0,2c}$  (міцність  $\sigma_{0,2c}$  при  $T_c$ ). **Висновок.** Замість умовних порогових рівнів механічних властивостей ( $KCV$ ,  $KCU$ ,  $\psi_k$  та ін.) як критерій крихкості пропонується умова руйнування зразка з  $KH$  ( $\sigma_{NF}$ ) на межі плинності сплаву ( $\sigma_{0,2c}$ ) за температури  $T_c$  або кімнатної  $T_k$ . Співвідношення  $\sigma_{NF} / \sigma_{0,2} = B_{rNF}$  служить параметром ступеня захищеності зразка з  $KH$  ( $B_{rNF} > 1$ ) або заходи окрихчуваності ( $B_{rNF} < 1$ ). Величина  $B_{rNF}$  служить кількісною мірою властивості зламостійкості зразка (виробу) з конструктивним  $KH$  або тріщиною.

**Ключові слова:** міра крихкості; окрихчуваність; зламостійкість; критична температура і міцність; надійність міцності у виробі з  $KH$

## PRINCIPLES OF ATTESTATION OF METALS FOR THEIR TENDENCY TO BRITTLENESS ACCORDING TO THE CRITERION OF CRITICAL STRENGTH

MIESHKOV Yu.Ya., Dr. Sc. (Tech.), Prof., Corresponding Member NAS of Ukraine

Department of Physics of Strength and Fracture of Materials, Institute of Metal Physics named after G.V. Kurdyumov National Academy of Sciences of Ukraine, 36, b. Academician Vernadskyi, 03142, Kyiv, Ukraine, tel. +38 (066) 462-68-17, e-mail: [meshkov0305@gmail.com](mailto:meshkov0305@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9918-9792

**Abstract. Problem definition.** Existing evaluation system of liability to brittle fracture is based on specifying the critical temperature  $T_c$  of ductile/brittle transition for specimens with stress concentrator (SC) and uses relative values of impact toughness (KCV, KCU) and widening ( $\psi_k$ ). Thus the  $T_c$  becomes relative and it is not possible to measure brittleness or embrittlement degree for specimens with SC. **Paper purpose.** Neutralize the system faults of evaluation system of liability to brittle fracture of constructional alloys with SC. The concept is to change the KCV (KCU) or  $\psi_k$  parameters by critical strength parameter ( $\sigma_{0,2c}$  at  $T_c$ ). **Conclusions.** Fracture of the specimen with SC ( $\sigma_{NF}$ ) on YTS ( $\sigma_{0,2c}$ ) at  $T_c$  (or room  $T_R$ ) as embrittlement criterion is proposed instead of relative values of (KCV, KCU) and ( $\psi_k$ ). The  $\sigma_{NF} / \sigma_{0,2} = B_{rNF}$  ratio is a degree of reliability for specimen with SC ( $B_{rNF} > 1$ ) or embrittlement measure ( $B_{rNF} < 1$ ). The  $B_{rNF}$  value is a quantitative measure of the fracture resistivity of the specimen with SC or crack. Correlation ratio between  $B_r$  and  $B_{rNF}$  for each type of SC has been found. It allows to use the calculation of embrittlement liability based on metal strength for test of metals without full scale tests of metal specimens with SC.

**Keywords:** embrittlement; fracture degree; fracture resistivity; critical temperature; critical strength; strength reliability of the specimen with SC

**Постановка проблеми.** Крихкість конструкційного металу або сплаву згубно відбивається на всьому комплексі його механічних властивостей, але прийнято

відмічати, в першу чергу, падіння пластичності і в'язкості матеріалу. Саме на цих характеристиках будуються основні критерії переходу в крихкий стан сталей і

сплавів у сучасних стандартах і нормативах [1–3]. Недолік таких методик – умовність прийнятих порогових значень показників пластичності  $\psi_k$  (відносне звуження при розриві в «шийці» зразка) або ударної в'язкості KCV (з надрізом Шарпі), KCU (з надрізом Менаж), наприклад, KCV = = 40 Дж/м<sup>2</sup>. Звідси впливає і повна умовність показника критичної температури крихкості  $T_c$  металу, на якому будується висновок про його конструкційну придатність для виробу.

Фактично крихкість завдає найбільшої шкоди не пластичності (або в'язкості) виробу, а його міцності, тобто здатності витримувати силове навантаження в реальних умовах його експлуатації, наприклад, за зниження температури або за ударної дії.

**Мета статті** – показати, що аналіз закономірностей змін міцності металу у разі переходу від вузького до крихкого стану може не тільки усунути умовність у встановленні порогів крихкості металів, а й радикально оновити та вдосконалити саму систему атестації металів за ознакою крихкості, надавши їй можливості кількісної оцінки міри окрихчуваності.

**Результати дослідження.** Вплив КН на окрихчування металів загальновідомий і у працях [4–6] для дослідження цієї проблеми були запропоновані спеціальні механічні

характеристики, засновані на показниках міцності металу – деформаційна стійкість (або зламостійкість) металу  $B_r$ :

$$B_r = S_k / \sigma_{0,2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{0,2}$  – умовна межа плинності,  $S_k$  – справжня напруга руйнування в «шийці» зразка. За своїм фізичним змістом величина  $B_r$  відображає той деформаційний резерв міцності, який поглинає локальні напруги в зоні дії КН і захищає метал від передчасного руйнування, тобто від крихкості. Але  $B_r$  являє собою вихідний резерв міцності самого металу як такого. У разі відсутності цього резерву ( $B_r = 1$ ), коли  $S_k = \sigma_{0,2}$ , метал крихкий за визначенням. У пластичному стані ( $B_r > 1$ ) метал має певний опір переходу в крихкий стан, який вимірюється конкретною величиною  $B_r$ , завжди доступний для визначення в стандартних випробуваннях на розтяг.

Зразок із нанесеним концентратором (КН) також руйнується за напруги  $\sigma_{NF} > \sigma_{0,2}$  за кімнатних температур ( $T_k$ ), але у разі зниження температури, як правило, настає момент, коли руйнування зразка з КН випереджає межа плинності –  $\sigma_{NF} < \sigma_{0,2}$ , тобто в макроскопічному поданні це відбувається в чисто пружній області, що можна сприймати як технічно крихке руйнування (рис.).

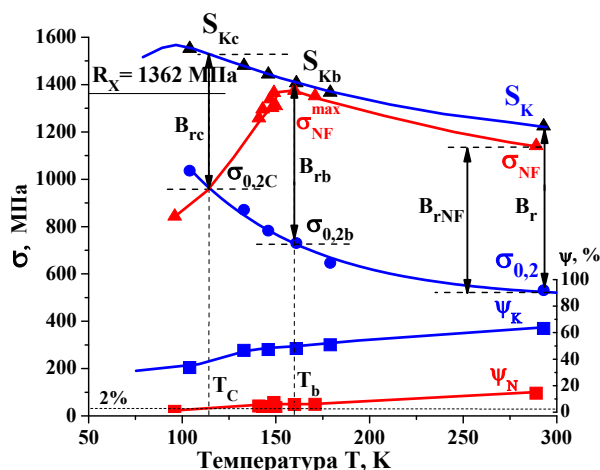


Рис. Температурні залежності за результатами випробувань на одновісний розтяг гладких зразків і зразків із кільцевим надрізом ( $d = 8$  мм,  $r = 0,25$  мм,  $t = 1,4$  мм):  $\sigma_{0,2}$ ,  $S_k$  – умовна межа плинності і справжня напруга руйнування гладкого зразка;  $\sigma_{0,2c}$ ,  $S_{kc}$  – те саме для критичної температури  $T_c$ ;  $\sigma_{NF}$  – середня номінальна напруга руйнування зразка з КН;  $\psi_k$  – відносне звуження в місці руйнування гладкого зразка;  $\psi_N$  – те саме для зразка з КН

Тому цілком можна вибрати момент руйнування зразка з нанесеним КН (тріщина, надріз) на межі плинності металу, ( $\sigma_{0,2}$ ) як природного (технічно обгрунтованого) критерію крихкості:

$$\sigma_{NF} = \sigma_{0,2}, \quad (2)$$

тут  $\sigma_{0,2}$  має сенс критичного рівня міцності металу  $\sigma_{0,2c}$ .

Температуру  $T_c$ , за якої має місце умова (2), слід вважати критичною температурою крихкості для даного виду випробування металу. Мірою захисту від крихкого стану такого зразка з КН за всіх температур вище  $T_c$  можна вважати не різницю температур  $\Delta T = T_k - T_c$ , а залишковий резерв міцності  $B_{rNF}$  зразка з КН:

$$B_{rNF} = \sigma_{NF} / \sigma_{0,2}. \quad (3)$$

У цьому підході, як бачимо, використовується один і той же сенс критерію крихкості як для металу ( $B_r = 1$ ), так і для «виробу» з КН ( $B_{rNF} = 1$ ) – умова руйнування на межі плинності. Це теж критерій умовний, як і всі інші, що використовують показники пластичності або в'язкості, але критерій критичної міцності ( $\sigma_{0,2c}$ ): (i) найбільш універсальний, тому що охоплює всі види концентраторів на зразках, включаючи зразки без концентраторів, (ii) технічно зумовлений і очевидний, тому що чітко поділяє два види поведінки матеріалу під час руйнування – в'язкий (пластичний) і крихкий (катастрофічний), і, нарешті, (iii) критерій заснований на такій властивості матеріалу, з яким крихкість завдає найбільш відчутної шкоди – несної здатності ( $\sigma_{NF}$ ) матеріалу в навантаженому виробі. Зазначені вище особливості критерію критичної міцності ( $\sigma_{0,2c}$ ) надають йому належної ефективності в практичному застосуванні, зокрема, в можливості його розрахункового прогнозування [7; 8].

Співвідношення між поточною ( $\sigma_{0,2}$ ) і критичною ( $\sigma_{0,2c}$ ) міцністю (або, що практично те ж саме, – між  $B_r$  і  $B_{rc}$ ) визначає ступінь захищеності зразка з КН від крихкого стану:

$$\sigma_{0,2c} / \sigma_{0,2} = P_c, \quad (4)$$

$$B_r / B_{rc} = P_b. \quad (5)$$

Зворотні величини, навпаки, позначають ступінь схильності окрихчування зразка за дії КН, тобто міру окрихчування металу:

$$\sigma_{0,2} / \sigma_{0,2c} = D_c, \quad (6)$$

$$B_{rc} / B_r = D_b. \quad (7)$$

Наявність таких показників за формулами (4) – (7) істотно розширює можливості детального аналізу проблеми крихкості металів, використовуючи параметри в їх кількісному вимірі.

Зазначимо принципову відмінність критерію  $\sigma_{0,2c}$  від супутнього йому критерію критичної температури  $T_c$ . У першому мірою захисту від крихкості служить параметр  $P_c$  (або  $P_b$ ), у другому – температурний інтервал  $\Delta T = T_k - T_c$ . Але для різних сталей один і той самий інтервал  $\Delta T$  може означати абсолютно різний ступінь захищеності від крихкості за параметрами  $P_c$  і  $P_b$  (табл. 1).

У таблиці 1, взятій із праці [8], досить порівняти показники за п. п. 1, 4 і 5 або 13 і 14. Це означає, що одна й та сама критична температура  $T_c$  для різних сталей має різну «ціну», тобто показник  $T_c$  не дає однозначної оцінки конструкційним можливостям даного металу. В цьому відношенні показники  $P_c$  і  $P_b$  (або  $D_c$  і  $D_b$ ) явно кращі.

Більше того, параметр  $\Delta T$  повністю втрачає свою придатність, якщо матеріал демонструє крихкість зразка з КН уже за кімнатної температури, коли  $\Delta T = 0$ . Параметри за формулами (4) – (7) також втрачають свою інформативність ( $\sigma_{0,2} \approx \sigma_{0,2c}$ ). Але зберігає інформативність параметр  $B_{rNF}$  по (3), як резерв міцності зразка з КН, тобто як ступінь захисту його від стану крихкості за  $T_k$  у разі дії цього виду КН (за  $B_{rNF} > 1$ ).

Якщо  $\sigma_{NF} \approx \sigma_{0,2}$  ( $B_{rNF} = 1$ ), маємо крихкість за кімнатної температури  $T_k$ . Але найважливіше те, що у випадку  $B_{rNF} < 1$  (тобто в разі переокрихчування матеріалу) виникає кількісна міра переокрихчування за  $T_k$ , викликана не температурним фактором, а зайвою міцністю матеріалу, створюваною

його специфічною структурою. Тут ще раз виявляється універсальність міцнісного критерію крихкості ( $\sigma_{0,2c}$ ), оскільки він дозволяє характеризувати крихкість

матеріалів як наслідок єдиної фізичної причини – надлишкового (для даних умов навантаження) рівня міцності, створюваного самою природою матеріалу.

Таблиця 1

**Критичні показники крихкого стану сталей під час випробувань на холодостійкість ( $\Delta T_c$ )  
(за даними праці [8])**

№№ п/п	Сталь, обробка	Тип КН	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_{0,2c}$ МПа	$B_r$	$B_{rc}$	$B_{rc}/B_r$	$T_c$ К	$\Delta T_c$ град.
1	ст. 30	Кільцевий надріз, розтяг	350	800	2,97	1,31	0,44	77	216
2	30ХГСА (з.в. 200 °С)		1 400	1 600	1,58	1,50	0,95	150	143
3	30ХГСА (ізот. г. 300 °С)		1 500	1 600	1,80	1,45	0,81	130	163
4	30ХГСНА (ізот. г. 200 °С)		1 450	1 700	1,77	1,57	0,89	83	210
5	30ХГСНА (ізот. г. 300 °С)		1 170	1 400	2,10	1,36	0,66	77	216
6	10Х2СВА		1 600	1 700	1,83	1,59	0,87	160	133
7	У8 (г.в. 400 °С)		1 180	1 300	1,58	1,54	0,97	200	93
8	$\alpha$ – Fe	Вигин балки із тріщиною	140	350	5,0	2,77	0,55	140	153
9	У8 (відп.)		340	450	2,8	2,15	0,77	220	73
10	ст. 3сп		160	400	3,1	2,10	0,64	147	146
11	10ХСНД		310	420	2,9	2,5	0,86	180	113
12	АК35		1 027	1100	2,3	2,0	0,87	180	113
13	ЗШ 12ХН2МДФ (лег. бором $B = 0,0$ )		640	700	1,97	1,81	0,92	173	120
14	ЗШ 12ХН2МДФ (лег. бором $B = 0,001$ )		640	820	1,80	1,46	0,81	175	118
15	ЗШ 12ХН2МДФ (лег. бором $B = 0,0022$ )		640	977	2,00	1,50	0,75	65	228
16	ЗШ 12ХН2МДФ (лег. бором $B = 0,004$ )		650	968	2,17	1,67	0,77	81	212

*Примітки:* г. в. – гартування + відпуск; ізот. г. – ізотермічне гартування, відп. – відпал, ЗШ – зварний шов, В – легування бором.

Таблиця 2

**Значення базових механічних характеристик  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\Psi_k$  сталей і зламостійкостей  $B_r$  (для сталей) і  $B_{rCO}$  (для зразка із тріщиною при триточковому вигині) за даними праці [4]**

Номери в [ ] – цитовані джерела даних в [4].

Температура випробувань – 293 К.

№ з/п	КС	Обробка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\Psi_k$ %	$B_r$	$B_{rCO}$ по [1]
1	АК-35 [2]	Стан поставки	1 027	1 141	75,0	2,26	1,83
2	$\alpha$ -Fe [2]	Г 1 323 К, 2 год. ПО	138	307	83,8	5,07	2,10
3	10ХСНД [2]	Г 1 373 К, 2 год. ПО	312	454	72,0	2,95	1,88
4	Ст. 3 сп. [2]	Г. 1 373 К, 2,75 год. ПО	160	340	71,7	3,14	1,92
5	10X15H27T3B2MP [3]	Г. 1373 К, 1 год. + + ОП 1 023 К, 16 год.; 923 К, 10 год.	870	1 270	23,0	1,82	1,40
6		Г. 1 373 К, 1 год. + + ОП 1 023 К, 16 год.; 923 К, 10 год. + H <sub>2</sub>	880	1 240	10,0	1,64	0,81
7	15X12H2MФАВ [4]	Г. 1 393 К, 1 год. + + ОП 953 К 2 год.	940	1 080	62,0	2,11	1,68
8	03X12H10MT [4]	1 273 К, 1 год.; 1 023 К, 2 год. + ОП 773 К 2 год.	940	1090	79,0	2,84	1,85
9	03X12H10MT [4]	Г. 1 373 К, 15 хв.; 1 023 К, 2 год. + ОП 773 К, 2 год.	930	1010	76,0	2,50	1,78
10	СШ Х75 [2]	ПД-АНЗО, 1 шар	430	636	67,5	3,16	1,92
11		ПД-АНЗО, 2 шари	361	662	60,7	3,17	1,94
12		ПД-АНЗО, 3 шари	404	730	51,9	3,10	1,92
13	СШ 12ХН2МДФ [2]	КФ 48-АНК-54, В = 0,0	622	781	59,9	2,00	1,56
14		те саме, В = 0,001	623	759	55,6	1,86	1,43
15		те саме, В = 0,0022	628	780	68,1	2,04	1,60
16		те саме, В = 0,004	642	783	67,9	2,18	1,74
17	20X [5]	ОП 473 К	1150	1210	53,9	1,68	1,11
18	50X [5]	Г 1 113 К + ОП 423 К, 2 год.	1860	2300	16,5	1,64	1,50
19		Г 1 113 К + ОП 473 К, 2 год.	1920	2090	46,7	1,64	0,60
20		Г 1 113 К + ОП 673 К, 2 год.	1560	1640	48,6	1,64	0,80
21		Г 1 113 К + ОП 773 К, 2 год.	1200	1270	57,2	1,65	0,90
22	40С2Х [5]	ВТМО + ОП 473 К	1760	2060	53,0	1,63	0,44
23		ВТМО + ОП 573 К	1690	1910	55,0	1,65	0,53
24	60С2Х [5]	ВТМО + ОП 573 К	2205	2400	38,0	1,63	0,21
25		ВТМО + ОП 773 К	1570	1715	40,0	1,64	0,46
26	ШХ15 [5]	Г 1 133 К + ОП 473 К	2120	2340	3,6	1,63	0,07
27	24ХН0МФА [5]	Г 1 153 К + ОП 913 К, 15 год.	765	870	73,5	2,51	1,78
28	65Ф [5]	стан поставки	700	1080	28,0	1,69	1,14
29	10ХСНД [6]	вздовж прокату	419	592	69,7	2,92	2,43
30	10ХСНД [6]	поперек прокату	445	633	73,7	3,15	2,64
31	12Г2МФТ [6]	вздовж прокату	571	667	65,6	2,26	1,84
32		поперек прокату	602	696	58,4	2,03	1,62
23	15ХСНД [7]	стан поставки	328	520	68,0	3,19	2,68

*Примітки:* Г – гартування; ПО – охолодження в печі; ОП – відпуск; H<sub>2</sub> – водневе середовище; ЗШ – зварні шви; ПД – порошковий дріт; КФ – керамічний флюс; В – вміст бору; ВТМО – високотемпературна термічна обробка, год.

У таблиці 2, обробленій за даними публікації [4], наведено параметри  $B_r$  і  $B_{rCO}$  ( $B_{rCO} = \sigma_{CO} / \sigma_{0,2}$ , де  $\sigma_{CO}$  – номінальна напруга руйнування зразка з тріщиною при вигині). Сталі за з/п 18–26 в інтервалі міцності  $\sigma_{0,2} = 1\ 200 \dots 2\ 200$  МПа проявляють крихкість за  $T_c$  ( $B_{rCO} = 0,07 \dots 0,80$ ). Примітно, що характеристики пластичності цих сталей за  $\psi_k \approx 35 \dots 55$  % анітрохи не попереджають про загрозу крихкості зразка з тріщиною, і тільки стабільний рівень зламостійкості  $B_r \approx 1,64$  свідчить, що для цього виду випробування (вигин балки з тріщиною) це критичний рівень властивості  $B_{rc} = 1,64$ .

Таким чином, критичний поріг крихкості проявляють не показники  $\psi_k$  або  $KCV$  ( $KCU$ ), а зламостійкість  $B_{rc}$  – для всіх сталей в даного виду КН поріг крихкості настає при  $B_r = B_{rc} \approx 1,64$ , але для кожної сталі при своєму значенні критичної міцності, наприклад,  $\sigma_{0,2c} = 880$  МПа (п. 6 табл. 2) або  $\sigma_{0,2c} = 1\ 560$  МПа (п. 20, там само). Як бачимо, міцнісний поріг крихкості зразка з КН  $\sigma_{NF} = \sigma_{0,2c}$  у вигляді рівності:

$$B_r = B_{rc} \quad (8)$$

чи

$$B_{rNF} = 1 \quad (9)$$

позначає не якийсь умовний рівень якості  $B_r$ , а саме той критичний рівень  $B_{rc}$ , за якого об'єкт із концентратором переходить в особливий стан властивості міцності  $\sigma_{NF}$  – у стан різкої нестабільності величини  $\sigma_{NF}$ , сильного розкиду значень  $\sigma_{NF}$ , тобто такої поведінки властивості міцності, яка притаманна саме *крихкому* стану виробу. Тим самим критерій міцності, на відміну від звичних критеріїв крихкості, що використовують конкретні порогові величини показників  $\psi_k$  або при  $KCV$  ( $KCU$ ), набуває не умовного, а справжнього фізичного змісту як реальний рубіж переходу виробу з КН у крихкий стан.

Тому для атестації конструкційних сталей на їх схильність до окрихчування і на крихко-в'язкий перехід доцільно застосовувати критерій різкої зміни поведінки міцності властивостей зразка, а не його показників в'язкості або пластичності.

Показати переваги показників резервів міцності у вигляді характеристик зламостійкості самого металу ( $B_r$ ) і зразка з концентратором напружень ( $B_{rNF}$ ,  $B_{rCO}$ ) для дослідження проблеми окрихчування і крихкості конструкційних сталей і було завданням цієї роботи.

**Висновок.** Умовність вибору порогових значень показників міцності ( $\psi_k$ ) або в'язкості ( $KCV$ ,  $KCU$ ) для визначення критичних умов в'язко-крихкого переходу для атестації сталей на зразках із КН виключає можливість кількісної інтерпретації схильності до крихкості випробуваного металу в термінах показника будь-якої механічної властивості. Визначення критичної температури крихкості  $T_c$  не вирішує цього питання, оскільки  $T_c$  не несе інформації про конкретний комплекс механічних властивостей сталі, а лише фіксує критичний рівень крихкої міцності зразку з КН –  $\sigma_{0,2c}$ .

Пропонується застосувати цей показник механічної властивості ( $\sigma_{0,2c}$ ), або супутній йому показник деформаційної стійкості (зламостійкості)  $B_{rc}$  для використання в новій системі атестації металів на крихкість за дії КН як більш ефективний та інформативний. Але повною мірою досягти цієї мети можна лише замінивши умовні пороги крихкості (за показниками  $\psi_k$  і  $KCV$  ( $KCU$ )) на технічно міцнісний критерій крихкості, що однозначно обчислюється за умовою падіння несної здатності зразка з КН до критичного рівня  $\sigma_{NF} \approx \sigma_{0,2c}$  за  $T_c$ .

Співвідношення між міцністю металу ( $\sigma_{0,2c}$ ) і міцністю зразка з КН ( $\sigma_{NF}$ ) визначає або кількісну міру захисту від крихкості (за  $\sigma_{NF} > \sigma_{0,2c}$  і  $T > T_c$ ), або ступінь окрихчування металу за дії КН (за  $\sigma_{NF} < \sigma_{0,2c}$  і  $T < T_c$ ).

Принципово важливою перевагою показника надійності міцності  $B_{rNF}$  стало те, що він характеризує міру захищеності від крихкості зразка з КН за самої температури експлуатації  $T_e$  або кімнатної  $T_k$ : за  $B_{rNF} > 1$  міцність виробу з КН – надійна, за  $B_{rNF} < 1$  показник  $B_{rNF}$  дає кількісну міру крихкості виробу. Цього в принципі неможливо очікувати від традиційного показника

крихкого стану металу – критичної температури крихкості  $T_c$ .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 9454-78. Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах. Москва : Изд-во стандартов, 1978. 15 с.
2. Smida T., Babjak J., Dlouhi I. Prediction of fracture toughness temperature dependence from tensile test parameters. *Kovové materiály. Metallic Materials*. 2010. Vol. 48. Pp. 1–8.
3. ASTM T 1921. Standard test method of determination of reference temperature to for ferritic in the transition range. 2005.
4. Шиян А. В., Мешков Ю. Я., Полушкин Ю. А. Оценка изломостойкости конструкционных сталей в условиях концентрации напряжений. *Сталь*. 2019. № 6. С. 39–50.
5. Мешков Ю. Я., Шиян А. В. Основы анализа конструкционной пригодности металлов и сплавов. Сообщение 1. *Сталь*. 2019. № 12. С. 52–58.
6. Мешков Ю. Я., Шиян А. В. Основы анализа конструкционной пригодности металлов и сплавов. Сообщение 2. *Сталь*. 2020. № 3. С. 59–68.
7. Шиян А. В., Мешков Ю. Я. Охрупчивание металлических сплавов в условиях концентрации напряжений. Конструкционные стали и титановые сплавы : монография. Саарбрюккен, Германия : LAP LAMBERT Akademik Publishing, 2015. 113 с.
8. Мешков Ю. Я., Сорока К. Ф. Холодноламкость сталей в умовах концентрації напружень. (Повідомлення 1). *Металлофізика і новітні технології*. 2021 (прийнята до друку).

### REFERENCES

1. GOST 9454-78. *Metally. Metody ispytaniy na udarnyy izgib pri ponizhenykh, komnatnoy i povyshennoy temperaturakh* [Metals. Test methods for impact bending at low, room and high temperatures]. Moscow : Izd-vo Standartov, 1978, 15 p. (in Russian).
2. Smida T., Babjak J. and Dlouhi I. Prediction of fracture toughness temperature dependence from tensile test parameters. *Kovové materiály. Metallic Materials*. 2010, vol. 48, pp. 1–8.
3. ASTM T 1921. Standard test method of determination of reference temperature to for ferritic in the transition range. 2005.
4. Shiyani A.V., Meshkov Yu.Ya. and Polushkin Yu.A. *Otsenka izlomostoykosti konstruksionnykh staley v usloviyakh kontsentratsii napryazheniy* [Assessment of fracture toughness of structural steels under stress concentration conditions]. *Stal'* [Steel]. 2019, no. 6, pp. 39–50. (in Russian).
5. Meshkov Yu.Ya. and Shiyani A.V. *Osnovy analiza konstruksionnoy prigodnosti metallov i splyavov. Soobshcheniye 1* [Fundamentals of the analysis of the structural suitability of metals and alloys. Post 1]. *Stal'* [Steel]. 2019, no. 12, pp. 52–58. (in Russian).
6. Meshkov Yu.Ya. and Shiyani A.V. *Osnovy analiza konstruksionnoy prigodnosti metallov i splyavov. Soobshcheniye 2* [Fundamentals of the analysis of the structural suitability of metals and alloys. Post 2]. *Stal'* [Steel]. 2020, no. 3, pp. 59–68. (in Russian).
7. Shiyani A.V. and Meshkov Yu.Ya. *Okhrupchivaniye metallicheskih splyavov v usloviyakh kontsentratsii napryazheniy. Konstruksionnyye stali i titanovyie splyavy* [Embrittlement of metal alloys under stress concentration conditions. Structural steels and titanium alloys]. Saarbrücken, Germany : LAP LAMBERT Akademik Publishing, 2015, 113 p.
8. Meshkov Yu.Ya. and Soroka K.F. *Kholodnolamkist' staley v umovakh kontsentratsiyi napruzen'*. (Povidomlennya 1) [Cold brittleness of steels in the conditions of stress concentration. (Post 1)]. *Metallofizyka i novitni tekhnolohiyi* [Metal physics and the latest technologies]. 2021 (accepted for printing).

Надійшла до редакції: 13.04.2021.