



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 71819

(13) A

(51) 7 G01N3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ СХИЛЬНОСТІ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ДО ОКРИХЧУВАННЯ

1

2

(21) 20031212811

(22) 29.12.2003

(24) 15.12.2004

(46) 15.12.2004, Бюл. № 12, 2004 р.

(72) Ткаченко Ігор Федорович, Ткаченко Костянтин Ігоревич

(73) Ткаченко Ігор Федорович, Ткаченко Костянтин Ігоревич

(57) Спосіб визначення схильності металевих матеріалів до окрихчування, який включає випробування на ударний вигин надрізаних зразків при різних температурах, який **відрізняється** тим, що випробування проводять на зразках з гострим надрізом або попередньо наведеною тріщиною, одночасно випробовують зразки без надрізу на статичне розтягування і на підставі отриманих результатів визначають загальний рівень опірності матеріалу основним різновидам окрихчування у відповідності з формулою:

$$R_E = S_{\sigma} \cdot S_{\psi} \cdot S_{KCV(T)} \cdot S_{KCV(T)-60} \cdot K_T,$$

де S_{σ} - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{\sigma} = \begin{cases} \frac{(\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}})}{\sigma_{02}^{st}} & \text{якщо } (\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}}) > 0, \\ 0 & \text{якщо } (\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}}) \leq 0 \end{cases},$$

де $\bar{\sigma}_{02}$ - середнє значення умовної границі текучості матеріалу, МПа;

$S_{\sigma_{02}}$ - стандартне відхилення показника σ_{02} , МПа;

σ_{02}^{st} - контрольне значення показника σ_{02} згідно з діючим стандартом використовується з метою контролю якості матеріалу, МПа;

де S_{ψ} - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{\psi} = \begin{cases} \frac{(\bar{\psi} - 3 \cdot S_{\psi})}{\psi^{st}} & \text{якщо } (\bar{\psi} - 3 \cdot S_{\psi}) > 0, \\ 0 & \text{якщо } (\bar{\psi} - 3 \cdot S_{\psi}) \leq 0 \end{cases},$$

де $\bar{\psi}$ - середнє значення відносного звуження матеріалу, %;

$S_{\sigma_{02}}$ - стандартне відхилення показника ψ , %;

ψ^{st} - контрольне значення показника ψ згідно з діючим стандартом, який використовується з метою контролю якості матеріалу, %;

$S_{RCV(T)}$ - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{RCV(T)} = \begin{cases} \frac{(KCV(T) - 3 \cdot S_{KCV(T)})}{KCV(T)^{st}} & \text{якщо } (KCV(T) - 3 \cdot S_{KCV(T)}) > 0 \text{ де} \\ 0 & \text{якщо } (KCV(T) - 3 \cdot S_{KCV(T)}) \leq 0 \end{cases}$$

$KCV(T)$ - середнє значення ударної в'язкості на зразках з гострим надрізом (KCV), або на зразках з тріщиною (KCT) при +20°C, МДж/м²;

$S_{KCV(T)}$ - стандартне відхилення показника KCV(T), МДж/м²;

$KCV(T)^{st}$ - контрольне значення показника KCV(T) згідно з діючим стандартом, який використовується з метою контролю якості матеріалу, МДж/м²;

$S_{RCV(T)-60}$ - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{RCV(T)-60} = \begin{cases} \frac{(KCV(T)^{-60} - 3 \cdot S_{KCV(T)^{-60}})}{KCV(T)^{-60st}} & \text{якщо } (KCV(T)^{-60} - 3 \cdot S_{KCV(T)^{-60}}) > 0, \\ 0 & \text{якщо } (KCV(T)^{-60} - 3 \cdot S_{KCV(T)^{-60}}) \leq 0 \end{cases}$$

де $KCV(T)^{-60}$ - середнє значення ударної в'язкості на зразках з гострим надрізом (KCV) або на зразках з тріщиною (KCT) при -60°C, МДж/м²;

$S_{KCV(T)^{-60}}$ - стандартне відхилення показника KCV(T)⁻⁶⁰, МДж/м²;

$KCV(T)^{-60st}$ - контрольне значення показника KCV(T)⁻⁶⁰ згідно з діючим стандартом, який використовується з метою контролю якості матеріалу, МДж/м²;

K_T - температурний коефіцієнт опірності руйнуванню, який розраховується за формулою:

$$K_T = \frac{2 \cdot (T_{екс} - \bar{T}_{крх})}{(T_{крх}^B - T_{крх}^H)},$$

де $T_{екс}$ - температура експлуатації промислового виробу з матеріалу який випробовується;

(13) A

(11) 71819

(19) UA

$\bar{T}_{крх}$ - середнє значення температури в інтервалі в'язко-крижкого переходу матеріалу;

$T_{крх}^B$ - верхня температура крижкості матеріалу;

$T_{крх}^H$ - нижня температура крижкості матеріалу.

Винахід відноситься до області випробувань механічних та технологічних властивостей металевих матеріалів і може бути використаний в металургії, машинобудуванні та інших галузях промисловості які виготовляють промислову продукцію із металів та їх сплавів між собою та іншими елементами.

Відомий спосіб визначення схильності металевих матеріалів до окрихчування [1,2] згідно з яким проводять випробування на ударний вигиб як найменше двох серій зразків з одного матеріалу після різних варіантів зміцнюючої обробки чи з різним вмістом домішаних елементів, або із різних матеріалів. Зразки з тупим надрізом випробовують при різних температурах (серіальні випробування). За результатами випробувань будують криві температурної залежності роботи удару або ударної в'язкості (серіальні криві) та вимірюють на них відносне зменшення роботи руйнування при постійній наданій температурі.

За допомогою способу неможливо визначити схильність до окрихчування яке супроводжується підвищенням порогу окрихчування (критичних температур крижкості) матеріалів, наприклад при збільшенні розміру зерна в сталях.

Найбільш близькими до пропонованого, прототипом, є способи визначення схильності до окрихчування які також базуються на проведенні серіальних випробувань ударної в'язкості на зразках з тупим надрізом. За цими способами на серіальних кривих вимірюють зміщення температури при якій досягається певний рівень роботи ударного руйнування або наданий відсоток в'язкої складової на поверхні зламу зразків [1].

За допомогою цих способів неможливо визначити схильність матеріалу до окрихчування яке супроводжується зменшенням роботи удару у в'язкому стані тобто є наслідком в'язкого руйнування поміж зернами матеріалу. Крім того, використовуючи жоден з відомих способів, включаючи прототип, неможливо одночасно визначити схильність матеріалу до різних видів окрихчування які можуть спостерігатися на одному матеріалі під впливом декількох одночасно діючих факторів. Зокрема відомо, що збільшення розміру зерна приводить до підвищення порогу окрихчування сталей [3], в той же час, підвищення концентрації домішок, схильних до утворення сегрегацій на межах зерен, а також наявність частинок других фаз, особливо на межах зерен, знижують [2] спротив сталей руйнуванню у в'язкому стані. Окрім цього, відомі способи не дозволяють визначити схильність матеріалів до водневого окрихчування яке взагалі не супро-

воджується зменшенням спротиву матеріалів руйнуванню в умовах дії динамічних навантажень [4]. Важливим також є те що всі відомі способи дають неточні значення параметрів які вимірюють задля визначення схильності матеріалів до окрихчування. Причина неточностей полягає в використанні зразків з тупим надрізом для проведення серіальних випробувань. Робота ударного руйнування таких зразків включає до себе роботу пластичного деформування к а зародження тріщини, яка у в'язкому стані матеріалів має великі значення та не ф залежного від більшості чинників які викликають окрихчування матеріалу [3], присутності в сталях багатьох різновидів домішок; морфології частинок других фаз та ін.

В основу винаходу покладена задача розробити спосіб визначення схильності металевих матеріалів до окрихчування, у якому за рахунок нових дій досягається можливість кількісного вимірювання загального спротиву матеріалів основним різновидам окрихчування, що дозволить: об'єктивно оцінювати комплекс механічних та технологічних властивостей існуючих матеріалів виготовлених та оброблених за існуючими технологіями; обґрунтовано вибирати матеріали та технології за для підвищення якості промислових виробів; розробляти нові матеріали та технології задля отримання попередньо наданої якості або експлуатаційної ефективності.

Для розв'язання поставленої задачі, у спосіб визначення схильності металевих матеріалів до окрихчування який вміщує в собі випробування на ударний вигиб при різних температурах надрізаних зразків, у відповідності з винаходом випробування проводять на зразках з гострим надрізом або попередньо наведеною тріщиною, одночасно випробовують зразки без надрізу на статичне розтягування і на підставі отриманих результатів визначають загальний рівень спротиву матеріалу основним різновидам окрихчування у відповідності з формулою:

$$R_E = S_{\sigma} \cdot S_{\psi} \cdot S_{KCV(T)} \cdot S_{KCV(T)-60} \cdot K_T \quad (1)$$

де S_{σ} - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{\sigma} = \begin{cases} \frac{(\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}})}{\sigma_{02}^{st}} & \text{якщо } (\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}}) > 0 \\ 0 & \text{якщо } (\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}}) \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$\bar{\sigma}_{02}$ - середнє значення умовної межі течі матеріалу, МПа;

$S_{\sigma_{02}}$ - стандартне відхилення показника σ_{02} , МПа;

σ_{02}^{st} - контрольне значення показника σ_{02} згідно з діючим стандартом використовується з метою контролю якості матеріалу, МПа;

S_{ψ} - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{\psi} = \begin{cases} \frac{(\bar{\psi} - 3 \cdot s_{\psi})}{\psi^{st}} & \text{якщо } (\bar{\psi} - 3 \cdot S_{\psi}) > 0 \\ 0 & \text{якщо } (\bar{\psi} - 3 \cdot S_{\psi}) \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$\bar{\psi}$ - середнє значення відносного звуження матеріалу, %;

$S_{\sigma_{02}}$ - стандартне відхилення показника ψ , %;

ψ^{st} - контрольне значення показника ψ згідно з діючим стандартом, який використовується з метою контролю якості матеріалу, %;

$S_{RCV(T)}$ - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{RCV(T)} = \begin{cases} \frac{(K\bar{C}V(T) - 3 \cdot S_{KCV(T)})}{KCV(T)^{st}} & \text{якщо } (K\bar{C}V(T) - 3 \cdot S_{KCV(T)}) > 0 \\ 0 & \text{якщо } (K\bar{C}V(T) - 3 \cdot S_{KCV(T)}) \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$K\bar{C}V(T)$ - середнє значення ударної в'язкості на зразках з гострим надрізом (KCV), або на зразках з тріщиною (KCT) при +20°C, МДж/м²;

$S_{KCV(T)}$ - стандартне відхилення показника KCV(T), МДж/м²;

$KCV(T)^{st}$ - контрольне значення показника KCV(T) згідно з діючим стандартом, який використовується з метою контролю якості матеріалу, МДж/м²;

$S_{RCV(T)-60}$ - параметр, значення якого розраховують за формулою:

$$S_{RCV(T)-60} = \begin{cases} \frac{(K\bar{C}V(T)^{-60} - 3 \cdot S_{KCV(T)^{-60}})}{KCV(T)^{-60st}} & \text{якщо } (K\bar{C}V(T)^{-60} - 3 \cdot S_{KCV(T)^{-60}}) > 0 \\ 0 & \text{якщо } (K\bar{C}V(T)^{-60} - 3 \cdot S_{KCV(T)^{-60}}) \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$KCV(T)^{-60}$ - середнє значення ударної в'язкості на зразках з гострим надрізом (KCV), або на зразках з тріщиною (KCT) при -60°C, МДж/м²;

$S_{KCV(T)^{-60}}$ - стандартне відхилення показника KCV(T)⁻⁶⁰, МДж/м²;

$KCV(T)^{-60st}$ - контрольне значення показника KCV(T)⁻⁶⁰ згідно з діючим стандартом, який використовується з метою контролю якості матеріалу, МДж/м²;

K_T - температурний коефіцієнт спротиву руйнуванню, який розраховується за формулою:

$$K_T = \frac{2 \cdot (T_{екс} - \bar{T}_{крх})}{(T_{крх}^B - T_{крх}^H)} \quad (6)$$

$T_{екс}$ - температура експлуатації промислового виробу з матеріалу який випробовується;

$\bar{T}_{крх}$ - середнє значення температури в інтервалі в'язко-крижкого переходу матеріалу;

$T_{крх}^B$ - верхня температура крижкості матеріалу;

$T_{крх}^H$ - нижня температура крижкості матеріалу.

Винахід являє собою принципово нове рішення задачі визначення схильності металевих матеріалів до основних різновидів окрихчування які можуть бути викликані: збільшенням розміру зерна полікристалів, утворенням сегрегацій домішаних елементів та скупчень частинок других фаз на межах зерен, збільшенням об'ємної долі неметалевих включень, збільшеною концентрацією водню в металах та ін. Вказані різновиди окрихчування супроводжуються: підвищенням критичної температури крижкості, розширенням температурного інтервалу в'язко-крижкого переходу, зменшенням рівнів роботи удару у в'язкому та крижкому станах, зниженням межі течії та відносного звуження металів в напрямках поперек прокатування та вздовж товщини прокату.

На відміну від існуючих, у даному способі одночасно виконують серіальні випробування на ударний вигиб з використанням зразків з гострим надрізом або готовою тріщиною, а також випробування на статичне розтягування, та вимірюють загальний спротив основним різновидам окрихчування за допомогою одного показника R_E , досягнення високого рівня якого з можливим тільки за умови отримання високих, або, як найменше, середніх значень усіх без винятку характеристик, що контролюються. Вказана особливість запропонованого показника R_E дозволяє використовувати його в якості інтегральної характеристики усього комплексу головних експлуатаційних властивостей будь якого металевого матеріалу, які забезпечують його працездатність в умовах комплексної дії основних різновидів експлуатаційних факторів; статичних розтягуючих та динамічних згинаючих навантажень, а також низьких кліматичних температур.

Спосіб здійснюється наступним чином. Зразки для проведення різних видів випробувань, передбачених запропонованим способом, виготовляють одночасно у відповідності з діючими стандартами з контрольних представників промислових виробів, продюгованих з матеріалу схильність якого до окрихчування визначається. Випробування на ударний вигиб при різних температурах та на статичне розтягування проводять у відповідності з існуючими стандартами одночасно для забезпечення тотального стану матеріалу (мікроструктури; концентрації та розподілу домішок: водню, азоту та ін.) в умовах дії різних видів навантажень. Розрахунки відповідних показників: σ_{02} , ψ , а також ударної в'язкості у повністю в'язкому (KCV(T)), та крижкому (KCV(T)) станах матеріалу, проводяться згідно з існуючими стандартами на вказані випробування. Кількість зразків для проведення випробувань кожного виду повинна забезпечувати можливість розрахунків статистичних характеристик (середніх значень та стандартних відхилень) кожного показника у відповідності з формулами (2)...(5). За результатами серіальних випробувань ударної в'язкості будують серіальну криву матеріалу, за допомогою якої визначають значення температур-

них параметрів необхідних для проведення розрахунків за формулою (6). При цьому використовують номінальне або мінімально можливе значення температури експлуатації виробів з матеріалу який випробовується. Значення параметрів що розраховують за формулами (2)...(5), а також величину температурного коефіцієнту спротиву окрихчуванню, що знаходять за формулою (6), підставляють у формулу (1) для визначення загального спротиву матеріалу основним різновидам окрихчування які супроводжуються: підвищенням критичної температури крижкості, розширенням температурного інтервалу в'язко-крижкого переходу, зменшенням рівнів роботи удару у в'язкому та крижкому станах, зниженням межі течії та відносного звуження матеріалів.

Конкретний приклад використання запропонованого способу наведений нижче для випадку визначення схильності до окрихчування товстостістового прокату відповідального призначення з високоміцної сталі гину 18Х2Н4МФА після різних варіантів його термічного зміцнення.

Зразки для проведення випробувань, передбачених запропонованим способом, були вирізані у напрямку поперек прокатування із заготовок, які попередньо пройшли термічну обробку за різними технологічними варіантами у напівпромислових умовах. Випробування на ударний вигиб при різних температурах проводилися на зразках з гострим надрізом (тип 11) згідно з ГОСТ 9454-78. Одночасно виконували статичне розтягування у відповідності з ГОСТ 1497-84 на 5-кратних зразках з діаметром робочої частини 5мм (тип III, №7). Результати випробувань на статичне розтягування та значення ударної в'язкості сталі у повністю в'язкому (+20°C) та крижкому (-60°C) станах, зведені до табл.1. Вихідні дані для проведення розрахунків за формулою (6) та значення температурного коефіцієнту спротиву окрихчуванню, K_T , наведені в табл.2. Як показує табл.2, найбільш високі значення K_T сталь отримує після термічного зміцнення за варіантом 5, який забезпечує найбільш низький поріг холодноламкості сталі та вузький температурний інтервал в'язко-крижкого переходу. Результати визначення загального спротиву товстостістового прокату окрихчуванню після різних досліджених варіантів термічного зміцнення наведені в табл.3. Як видно з цієї таблиці, найбільш високий рівень $R_E=1,68$ забезпечує термічне зміцнення за варіантом 1. Після обробки прокату за цим варіантом сталь отримує достатньо високі середні значення показників механічних властивостей що контролюються (\bar{X}_i), а також вузькі інтервали їх коливань, ($\bar{X}_i \pm 3 \cdot S_{X_i}$), що у відповідності з загальноприйнятим правилом "6 σ - сипм" [5], також є важливим показником якості промислової продукції. Окрім того, досягаються досить низькі усі характерні температури в'язко-крижкого переходу, а також вузький інтервал цього переходу.

Таким чином, термічне зміцнення товстостістового прокату за варіантом 1 забезпечує досягнення значень всіх без виключення показників, що контролювалися, на достатньо високих рівнях. Інакше кажучи, за цим варіантом технології зміцнення сталь отримує оптимальний комплекс влас-

тливостей, що безумовно забезпечить, на відміну від інших досліджених варіантів зміцнення, найбільш ефективну роботу відповідної промислової продукції в умовах комплексної дії головних різновидів експлуатаційних факторів: статичних розтягуючих та динамічних згинаючих навантажень, а також низьких кліматичних температур.

Таблиця 1

Результати випробувань механічних властивостей прокату після термічного зміцнення за різними технологічними варіантами.

Варіант технології термічного зміцнення	σ_{02} , МПа	ψ , %	KCV, кДж/см ²	KCV ⁶⁰ , кДж/см ²
1	1015	71	1214,8	983
1	1030	69	1333	837
1	1050	72	1304	622
1	1043	68	1258,1	652
2	1038	69	1392	828,1
2	1042	69	1265,5	889
2	1024	69	1333	818
3	781	70	1488,9	1105,7
3	972	70	1840	1864,9
3	720	68	1570	844,4
3	876	66	1874	943,5
4	996	63	1333,3	622,2
4	1007	66	1481,5	760,7
4	1029	65	1333,3	603
4	1014	64	2013,8	931,7
4	1026	63	1600	660
4	1021	68	1490,7	619,2
4	969	61	1452,1	559
4	999	69	1602	703,7
5	940	67	1342,3	914
5	994	70	1599,5	1267,8
5	940	66	1039,3	733,5
5	1003	67	1562,7	1125,9
Вимоги стандарту	≥ 988	≥ 64	≥ 1120	≥ 260

Таблиця 2

Температури експлуатації та в'язко-крижого переходу товстолистового прокату і температурний коефіцієнт спротиву окрижчуванню сталі

Варіант технології термічного зміцнення	$T_{\text{екс}}$	$\bar{T}_{\text{крп}}$	$T_{\text{крпВ}}$	$T_{\text{крпН}}$	K_T
	°C				

1	0	40	-10	-60	1,60
2	0	-10	20	-40	0,33
3	0	45	-20	-70	1,80
4	0	-20	20	-60	0,50
5	0	-55	-35	-75	2,75

Таблиця 3

Вихідні донні та результати розрахунків спротиву окрижчуванню товстолистового прокату з високоміцної сталі типу 18Х2Н4МФА після різних варіантів термічного зміцнення.

Вар. тех-нол, терм. зміцн.	$(\bar{\sigma}_{02} - 3 \cdot S_{\sigma_{02}})$, МПа	$f(\sigma_{02})$	$(\bar{\psi} - 3 \cdot S_{\psi})$, %	$f(\psi)$	$(K\bar{C}V - 3 \cdot S_{KCV})$, кДж/см ²	$f(KCV)$	$(KCV^{\infty} - 3 \cdot S_{KCV^{\infty}})$, кДж/см ²	$f(KCV^{\infty})$	R_E
1	988,30	1,00	64,60	1,01	1122,00	1,00	269,20	1,04	1,68
2	1006,20	1,02	69,00	1,08	1140,00	1,02'	729,50	2,81	1,05
3	507,00	0,51	62,50	0,98	1114,00	0,99	0,00	0,00	0,00
4	947,00	0,96	57,90	0,90	885,80	0,79	326,60	1,26	0,43
5	867,00	0,88	62,30	0,97	613,50	0,55	305,60	1,18	1,52

Спосіб на відміну від існуючих, дозволяє більш повно та об'єктивно оцінювати якість промислових виробів, виготовлених із існуючих матеріалів за існуючими технологіями. Тобто, спосіб дає можливість врахувати та кількісно виміряти одночасний вплив багатьох факторів на поведінку промислової продукції в процесі її експлуатації.

Пропонований спосіб дозволяє науково-обґрунтовано вибирати та розробляти нові матеріали та технології за для підвищення або отримання попередньо наданої експлуатаційної ефективності або якості виробів.

Джерела відомості.

1. Охрупчивание конструкционных сталей и сплавов. Под ред. Брайента К., Бенержи С. - М.: Металлургия, 1988. 552с.

2. Мак-Махон С. Дж. Проблемы разработки сталей для сосудов давления. В кн. Проблемы разработки конструкционных сплавов. Пер. с англ. М., Металлургия, 1980, с. 155-176.

3. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. - М., Металлургия, 1982. 184с.

4. Шпен Х., Влияние водорода на вязкость и рост трещины. В кн. Статическая прочность и механика разрушения сталей. Пер. с нем. М., Металлургия, 1986, с.423 - 449.

5. Боровиков В. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер.2001, 656с.