



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **71087** (13) **U**
(51) МПК
G01N 3/08 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2011 07136	(72) Винахідник(и): Осташ Орест Петрович (UA), Витвицький Віктор Іванович (UA), Чепіль Роман Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 06.06.2011	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2012	(73) Власник(и): ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В. КАРПЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Наукова, 5, м. Львів, 79601, Україна (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2012, Бюл.№ 13	

(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДНЕТРИВКОСТІ СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Спосіб прогнозування воднетривкості сталей, при якому вводять два показники сталі: фазовий A_{γ} , який відображає структурний тип основної фази в сталі, та механічний K , що характеризує здатність сталі до рівномірної пластичної деформації за статичного розтягання на повітрі, і розраховують відносне видовження δ_H , відносне звуження ψ_H та малоциклову довговічність N_H сталі у водні за окремими формулами для матеріалів з $A_{\gamma} < 1$ та $A_{\gamma} \geq 1$.

UA 71087 U

Спосіб стосується досліджень матеріалів за допомогою прикладання до них механічних зусиль, зокрема до визначення механічних властивостей сталей при розтягнанні, і може бути використаний для оцінки роботоздатності матеріалів у середовищі водню і розробки нових конструкційних матеріалів хімічного, нафтогазового та енергетичного машинобудування.

Відомі способи оцінки водневої крихкості конструкційних матеріалів включають безпосереднє визначення їх механічних властивостей у середовищі водню або розрахунок певних узагальнюючих характеристик [1-3]. У роботі [2] ступінь впливу водню визначали, порівнюючи величини повної енергії граничної деформації W_c вихідних та наводнених зразків за статичного розтягання. Значення W_c розраховували за формулою

$$W_c = 0,5(\sigma_{0,2} + S_k) \varepsilon_{np},$$

де $S_k = \sigma_B / (1 - \psi)$ - істинна границя міцності; $\sigma_{0,2}$ - границя текучості; σ_B - границя міцності; ψ - відносне поперечне звуження; $\varepsilon_{np} = \ln[1/(1 - \psi)]$.

Недоліком відомих способів є те, що вони потребують проведення вартісних, складних і вибухонебезпечних випробувань у водні для оцінки ступеня водневої деградації, а також те, що вони не дозволяють прогнозувати значення механічних властивостей нових матеріалів.

Найбільш близьким за технічною суттю до пропонованого є спосіб прогнозування статичної довговічності сталі при високих тисках водню і температурах за її хімічним складом [3]. Даний спосіб передбачає:

а) розрахунок індексу легованості сталі

$$U = a_0 Fe + a_1 Si + a_2 Mn + a_3 Cr + a_4 Mo + \dots a_i M_i;$$

б) розрахунок коефіцієнта впливу вуглецю Q, який залежить від його концентрації C, індексу легованості сталі U та парціального тиску водню p (МПа);

в) розрахунок показника роботоздатності за формулою $P = QMU$ (де коефіцієнт впливу структури $M \approx 1$ для оптимально оброблених сталей).

Таким чином, для прогнозування роботоздатності сталі потрібно знати лише її хімічний склад.

Цей спосіб має недоліки, а саме:

а) дозволяє отримати тільки якісну, а не кількісну оцінку, оскільки не враховується структурно-фазовий стан сталі, від якого суттєво залежить дія водню на метал;

б) придатний тільки для феритно-перлітних сталей після оптимальної термічної обробки ($M=1$);

в) концентрації легуючих елементів не повинні перевищувати: 0,25 % C; 2 % Si; 2 % Mn; 1 % Mo; 5 % Cr;

г) не встановлено внесок у довговічність таких важливих легуючих елементів, як W, V, Ti, Ni.

Таким чином, даний спосіб дозволяє оцінювати показники воднетривкості тільки феритно-перлітних сталей.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити спосіб прогнозування механічних характеристик сталей (відносного звуження, відносного видовження, малоциклової довговічності) у водні, де введенням двох показників сталі: фазового A_f , яким за хімічним складом сталі відображають структурний тип основної фази, та механічного K, який характеризує здатність сталі до рівномірної пластичної деформації за статичного розтягання на повітрі, одержують аналітичні залежності між відносним видовженням, відносним звуженням, малоцикловою довговічністю сталі у водні та її механічними властивостями при розтягу на повітрі, не проводячи випробувань у водні, за рахунок чого підвищується продуктивність праці, зменшується вартість досліджень уже існуючих сталей та розробки нових, стійких до дії водню, сталей.

Суть даного способу полягає в тому, щоб за механічними властивостями сталі, які визначають механічний показник K при розтяганні сталі на повітрі та за фазовим показником A_f , який залежить від хімічного складу сталі побудувати графічні залежності, апроксимуючи які можна одержати рівняння для визначення відносного видовження, відносного звуження і довговічності у водні.

Суттєвою відмінністю даного способу від прототипу є те, що введенням фазного показника A_f і механічного показника K можна кількісно (а не тільки якісно) та для широкого класу сталей (а не тільки для феритно-перлітних) прогнозувати характеристики пластичності та малоциклової довговічності сталей у водні. Запропонований спосіб, порівняно з відомими [2, 3], не потребує проведення складних вибухонебезпечних та вартісних випробувань сталі в середовищі водню.

Корисну модель пояснюють наступним чином.

Показник A_f визначають за діаграмами стану потрійних Fe-Cr-Ni сплавів та діаграмою Шефлера. Він є кількісною мірою надлишку або нестачі γ -активності елементів хімічного складу, який розраховують за формулою:

$$A_{\gamma} = E(\text{Ni})/E_{\text{B}}(\text{Ni}), \quad (1)$$

де

$$E(\text{Ni}) = [\text{Ni}] + [\text{Co}] + 0,5[\text{Mn}] + 0,3[\text{Cu}] + 25[\text{N}] + 30[\text{C}], \quad (2)$$

$$E_{\text{B}}(\text{Ni}) = 0,0512E^2(\text{Cr}) - 1,843E(\text{Cr}) + 28,6, \quad (3)$$

$$E(\text{Cr}) = [\text{Cr}] + 2[\text{Si}] + 1,5[\text{Mo}] + 5[\text{V}] + 5,5[\text{Al}] + 1,75[\text{Nb}] + 1,5[\text{Ti}] + 0,75[\text{W}]. \quad (4)$$

Тут $E(\text{Ni})$ і $E(\text{Cr})$ - нікелевий і хромовий еквіваленти; $[\text{Ni}]$, $[\text{Cr}]$, $[\text{N}]$ і т.д. - вміст хімічних елементів у масових процентах. Вміст $\text{C} \leq 0,15\%$; S , P , As , $\text{O} < 0,007\%$.

Показник механічної поведінки K вводять, враховуючи специфіку пошкодженості сталей у водні. Основним механізмом впливу водню на механічні властивості сталей є локалізація деформаційних процесів. Опірність локалізації пошкоджень контролюється здатністю матеріалу до рівномірної пластичної деформації. Чим вона більша, тим вища опірність дії водню. Для оцінки здатності матеріалів до рівномірної деформації застосовують показник K , який відображає відношення енергії роботи рівномірного деформування H_p до загального енергопоглинання при руйнуванні розтягом H . Кількісно показник K визначають за істинною діаграмою розтягу на повітрі як співвідношення:

$$K = H_p/H, \quad (5)$$

$$H_p = 0,5(\sigma_{0,2} + \sigma_B(1 + \delta_p)) \ln(1 + \delta_p), \quad (6)$$

$$H = 0,5 \left[\sigma_{0,2} + \sigma_B \left(1 + \ln \frac{1}{1 - \psi} \right) \right] \ln(1 + \delta), \quad (7)$$

де σ_B , $\sigma_{0,2}$ - границі міцності та текучості відповідно; δ , δ_p - відповідно загальне відносне видовження і рівномірне відносне видовження при $\sigma = \sigma_B$; ψ - відносне звуження.

Зв'язок між характеристиками пластичності (відносним звуженням ψ_H , відносним видовженням δ_H) і малоцикловою довговічністю N_H у водні та показниками A_{γ} і K встановлюють наступним чином:

1. За хіміскладом сталі згідно з формулами (1-4) розраховують показник A_{γ} .

2. За результатами визначення механічних характеристик при розтягу на повітрі розраховують показник K за формулами (5-7).

3. В координатах $A_{\gamma}^2 \sqrt{\delta_H/\delta} - A_{\gamma}^2 \sqrt{K}$; $A_{\gamma}^2 \sqrt{\psi_H/\psi} - A_{\gamma}^2 \sqrt{K}$; $A_{\gamma} \epsilon \sqrt{N_H} - A_{\gamma}^2 \sqrt{K}$ одержують залежності із коефіцієнтами кореляції $R > 0,95$, де ϵ - амплітуда циклічної деформації.

4. Звідси визначають:

при $A_{\gamma} \geq 1$

$$\delta_H = 1,422 \delta A_{\gamma}^{0,2064} K^{1,0516}, \quad (8)$$

$$\psi_H = 1,28 \psi A_{\gamma}^{0,3156} K^{1,0756}, \quad (9)$$

$$N_H = \left(-0,0384 \frac{A_{\gamma}^3 K}{\epsilon} + 0,6177 \frac{A_{\gamma} \sqrt{K}}{\epsilon} - \frac{0,0741}{A_{\gamma} \epsilon} \right)^2, \quad (10)$$

при $A_{\gamma} < 1$

$$\delta_H = 1,817\delta A_{\gamma}^{0,0196} K^{1,0049}, \quad (11)$$

$$\psi_H = 0,70\psi A_{\gamma}^{-0,3172} K^{0,9207}, \quad (12)$$

$$N_H = \left(0,8132 \frac{A_{\gamma}^3 K}{\varepsilon} + 0,608 \frac{A_{\gamma} \sqrt{K}}{\varepsilon} + \frac{0,021}{A_{\gamma} \varepsilon} \right)^2. \quad (13)$$

- Приклад. Для сталей феритного, перехідного та аустенітного класів за хімічним складом по формулах (1-4) визначили показник A_{γ} , а показник K визначили згідно з формулами (5-7) за діаграмами розтягу на повітрі п'ятикратних гладких зразків сталей на установці УМЕ-10ТМ (табл. 1). Далі за формулами (8-13) визначили прогнозовані значення відносного видовження і звуження та малоциклової довговічності у водні за тиску 35 МПа (табл. 2, знаменник). Для оцінки достовірності прогнозованих значень механічних характеристик проводили їх експериментальне визначення у таких самих умовах за методикою, викладеною у [1]. Кожне експериментальне значення є середнє арифметичне за випробуваннями 5-7 зразків (табл. 2, чисельник).

Таблица 1

Досліджувані матеріали та їх характеристики.

№ п.п.	Материал	σ _B ,	σ _{0,2} ,	δ, %	ψ, %	δ _p	A _γ	K	Структура
		МПа							
1	08X17HT	507	360	34	66	26	0,152	0,545	Φ
2	20X14H3M2B	1000	790	17	55	9	0,72	0,399	A+M+K
3	02X11H11TM	1000	930	20	75	9	0,79	0,288	A+M+I
4	03X12H9MT	1080	940	20	70	10	0,93	0,335	A+M
5	08X18H10T	610	310	61	61	48	1	0,668	A+M _д
6	03X11H8K4M2ФВД	1100	1070	18	65	9	1,07	0,355	A+M+I
7	06X12Г20АН5	800	420	54	62	43	1,64	0,650	A
8	06X26H16АГФ	890	470	52	40	66	1,74	0,594	A
9	03X19H23B2T	550	220	48	50	40	1,74	0,738	A
10	04X12H36T3ЮТ	1100	810	31	51	20	1,86	0,534	A+I
11	X11H21T2РЮ	1180	890	30	46	20	2,04	0,573	A+I
12	06X14Г20АН10М	810	570	62	73	48	2,44	0,589	A
13	03X11H43M2T	1250	820	29	49	18	2,52	0,512	A+I
14	08X11H43M2T	815	505	37	38	25	2,52	0,632	A+I

Примітка: Ф - ферит; М - мартенсит; А - аустеніт; К - карбіди; І - інтерметаліди; М_д - мартенсит деформації

Таблиця 2

Експериментальні (чисельник) та прогнозовані (знаменник) механічні характеристики досліджуваних матеріалів у водні за тиску 35 МПа

№ п.п.	Сталь	δ_H , %	ψ_H , %	N_N , цикли при ϵ , %		
				1,6	1,2	0,8
1	08X17HT	12/12	20/20	70/65	180/123	410/276
2	20X14H3M2B	12/12	15/18	42/64	150/104	322/235
3	02X11H11TM	13/10	20/18	70/50	120/94	258/211
4	03X12H9TM	10/12	20/18	170/171	420/303	600/683
5	08X18H10T	48/57	42/51	600/755	1200/1140	2100/2565
6	03X10H8K4MФД	10/9	32/28	380/350	820/659	1680/1482
7	06X12Г20АН5	54/58	54/54	1350/1530	3507/3037	7211/6833
8	06X26H16АГФ	48/52	57/66	2600/1930	4800/3078	12000/6926
9	03X19H23B2T	48/56	50/55	1850/1994	4000/3716	9200/8360
10	04X12H36T3ЮВ	27/26	41/40	1370/1411	2550/3095	6050/6965
11	03X11H11T2РЮ	30/28	46/40	2300/1788	3500/3708	7830/8342
12	06X14Г20АН10М	62/61	70/69	2310/2433	3920/4420	9634/9944
13	03X11H43M2T	25/25	37/41	1700/2108	3800/4117	12100/9262
14	03X11H43M2T	37/39	37/39	2690/2813	5400/4665	12600/10496

Аналіз таблиці показує, що розбіжність між фактом та розрахунком для характеристик пластичності в середньому становить 9 %, а для малоциклової довговічності - 17 %, що дозволяє здійснювати ефективний прогноз роботоздатності матеріалів у водні.

Застосування запропонованого способу виключає проведення вартісних та технологічно складних випробувань у водні. Це дає економію у затратах енергоресурсу, зменшення матеріалоємності, підвищення продуктивності праці. Даний спосіб дозволяє не тільки прогнозувати механічні характеристики сталей у водневому середовищі, а й розробляти нові стійкі до дії водню матеріали за показниками A_γ і K .

Список використаних джерел.

1. Ткачев В.И., Холодный В.И., Левина И.Н. Работоспособность сталей и сплавов в среде водорода. - Львов: Вертикаль, 1999.-255 с.

2. Чертов В.М., Родников С.И. О деградации прочности при водородной обработке // Альтернативная энергетика и экология.-2005. - № 4 (24). - С. 30-33.

3. Асвиян М.Б. К вопросу о прогнозировании длительной прочности стали по ее химическому составу при высоких температурах и давлениях водорода // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 1982. - № 1. - С. 82-86.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб прогнозування воднетривкості сталей, зокрема характеристик пластичності та малоциклової довговічності сталі у водні, що включає експериментальне визначення вмісту кожного хімічного елемента та розрахунок значень характеристик пластичності δ і ψ та довговічності N при заданому розмаху циклічної деформації ϵ за хімічним складом сталі, який відрізняється тим, що вводять два показники сталі: фазовий A_γ , який відображає структурний тип основної фази в сталі, та механічний K , що характеризує здатність сталі до рівномірної пластичної деформації за статичного розтягання на повітрі, і розраховують відносне видовження δ_H , відносне звуження ψ_H та малоциклову довговічність N_H сталі у водні за окремими формулами для матеріалів з $A_\gamma < 1$ та $A_\gamma \geq 1$:

для матеріалів з $A_\gamma < 1$:

$$\delta_H = 1,817\delta A_\gamma^{0,0196} K^{1,0049},$$

$$\psi_H = 0,70\psi A_\gamma^{-0,3172} K^{0,9207},$$

$$N_H = \left(0,8132 \frac{A_\gamma^3 K}{\varepsilon} + 0,608 \frac{A_\gamma \sqrt{K}}{\varepsilon} + \frac{0,021}{A_\gamma \varepsilon} \right)^2 ;$$

для матеріалів з $A_\gamma \geq 1$:

$$\delta_H = 1,422 \delta A_\gamma^{0,2064} K^{1,0516}, \quad (8)$$

$$\psi_H = 1,28 \psi A_\gamma^{0,3156} K^{1,0756}, \quad (9)$$

$$5 \quad N_H = \left(-0,0384 \frac{A_\gamma^3 K}{\varepsilon} + 0,6177 \frac{A_\gamma \sqrt{K}}{\varepsilon} - \frac{0,0741}{A_\gamma \varepsilon} \right)^2 .$$

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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