

УДК 620.191.33

ВПЛИВ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩ НА ЦИКЛІЧНУ ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Р. А. БАРНА¹, П. В. ПОПОВИЧ², Р. І. ВОВК¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Встановлено, що під впливом експлуатаційних середовищ швидкість розвитку тріщиноподібних дефектів у сталях Ст. 3 та 20 може зростати приблизно від 5 до 25 разів порівняно із випробуваннями у повітрі. При цьому негативна дія середовища на опір поширенню тріщин посилюється у такій послідовності: органічне добриво (гній) – сульфат амонію – нітрофоска.

Ключові слова: конструкційні вуглецеві сталі; агресивні робочі середовища; корозійно-втомні тріщини, швидкість росту тріщини, коефіцієнт інтенсивності напружень, діаграми циклічної тріщиностійкості.

Корозійно-втомне руйнування елементів сільськогосподарських машин залежить в основному від вихідного стану робочих поверхонь обладнання; динамічних навантажень; агресивності середовищ, що зумовлено впливом різноманітних добрив, а також різних атмосферних факторів [1, 2].

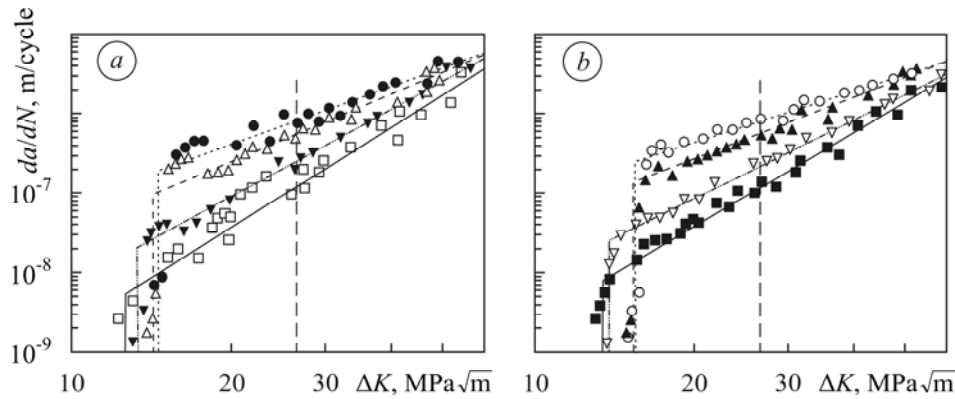
Тому актуально дослідити корозійно-втомне руйнування типових матеріалів елементів сільськогосподарських машин для внесення добрив під дією корозійно-активних мінеральних і органічних добрив з формуванням рекомендацій для вибору корозійнотривких матеріалів, а також розробкою нових технологій захисту від цих агресивних середовищ. Комплексно оцінювати корозійну довговічність розкидачів органічних і мінеральних добрив доцільно з урахуванням характеристик матеріалів, середовищ, параметрів динамічної навантаженості під час типових режимів роботи.

Матеріали та методика досліджень. Випробовували за методикою, описаною раніше [3]. Застосовували балкові зразки перерізом 10×20 mm за чистого згину й синусоїдальної форми циклу навантажування за коефіцієнта асиметрії $R = 0,32$ та частоти $f = 3,0$ Hz. Для порівняння впливу робочого середовища на швидкість поширення втомних тріщин досліджували також у повітрі за кімнатних температур.

За корозивні середовища [1, 4, 5] використали насичені розчини двох мінеральних добрив (сульфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, що містить 20,5 нітрогену та 24 mass.% сульфору зі слідами H_2SO_4 , Ca^{2+} , Mg^{2+} та SiO_2 ; нітрофоски, яка є сумішшю $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ та KNO_3 і містить 35...52 mass.% нітрогену, P_2O_5 та K_2O) та органічного добрива (рідкий гній великої рогатої худоби, що містить 86,7 mass.% H_2O зі слідами N (загальн.), P_2O_5 , K_2O та CaO. Рівень pH розчинів заміряли pH-метром И-160М перед та після випробувань.

Результати та їх обговорення. Оскільки досліджувані сталі близькі за хімічним складом, структурою та міцнісними характеристиками, то і загальна тен-

денція впливу корозивного середовища на ріст утомних тріщин порівняно з повітрям у них подібна. Очікувано сталь 20 сильніше опирається корозійно-втомному розтріскуванню, а діаграми циклічної корозійної тріщиностійкості сталі Ст.3 дещо стрімкіші і з незначними змінами значень коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) ΔK відчутніше збільшується швидкість росту тріщини da/dN (див. рисунок). Для порівняння впливу корозивного середовища і повітря на швидкість росту втомних тріщин вибрали певне характеристичне значення КІН $\Delta K = 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} = \text{const}$ (див. рисунок).



Вплив складу середовища на швидкість поширення втомної тріщини у сталях Ст.3 (a) та 20 (b) за $R = 0,32, f = 3,0 \text{ Hz}$: \square, \blacksquare – у повітрі; $\bullet, \circ, \triangle, \blacktriangle$ – насичених розчинах нітрофоски та сульфату амонію, а також $\blacktriangledown, \triangledown$ – органічного добрива (гною); лінії – опис за поданим рівнянням.

Influence of environment composition on the fatigue crack growth rate in steels Ст.3 (a) and 20 (b) at $R = 0,32, f = 3,0 \text{ Hz}$ in air – \square, \blacksquare and in saturated solutions of nitrofoska (\bullet, \circ), ammonium sulphate ($\triangle, \blacktriangle$) and organic fertilizer (manure) ($\blacktriangledown, \triangledown$); lines – description by the given equation.

Виявили (табл. 1 і 2), що досліджувані робочі середовища відчутно впливають на швидкість поширення втомних тріщин у сталях, яка може зростати приблизно від 5 до 25 разів порівняно з випробами у повітрі. При цьому негативна дія середовища на опір поширенню тріщин посилюється у такій послідовності: органічне добриво (гній) – сульфат амонію – нітрофоска.

Таблиця 1. Вплив корозивного середовища на швидкість росту втомних тріщин

Сталь	$da/dN, \text{ m/cycle}$				
	Середовище	повітря	органічне добриво (гній)	сульфат амонію	нітрофоска
Ст.3		$0,5 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$
20		$0,3 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$

Таблиця 2. Порівняння швидкостей росту тріщин у різних середовищах

Сталь	$(da/dN)_{\text{env}} / (da/dN)_{\text{air}}$				
	Середовище	повітря	органічне добриво (гній)	сульфат амонію	нітрофоска
Ст.3		1	5,6	11,0	18,0
20		1	7,0	20,0	26,7

За експериментальними результатами визначили порогові значення КІН ΔK_{th} , які відповідали значенням ΔK_I , за яких корозійно-втомна тріщина у сталях за цих умов випробувань не розвивається (табл. 3). Слід зауважити, що коефіцієнт ΔK_{th} є важливою характеристикою корозійно-втомного руйнування матеріалів [3, 6], за яким для заданої системи “матеріал–середовище” можна розраховувати безпечний рівень напружень в елементі конструкції з тріщиною. Для розглянутих випадків значення ΔK_{th} дещо збільшується зі зростанням агресивності робочого середовища (табл. 3). Це пояснюють тим, що в припорогових областях діаграм циклічної тріщиноустійкості сталей Ст.3 та 20 переважають корозійні процеси анодного типу (локальне електрохімічне розчинення металу), які змінюють геометрію вершини тріщини, а отже, зменшують ефективну концентрацію напружень в її околі [3].

Таблиця 3. Порогові значення ΔK_{th} за випроб у різних середовищах, МПа \sqrt{m}

Сталь / Середовище	Повітря	Органічне добриво (гній)	Сульфат амонію	Нітрофоска
Ст.3	12,1	12,6	13,1	13,3
20	12,7	13,0	14,1	14,1

Таблиця 4. Вплив складу середовища на константи поданої залежності для досліджуваних сталей

Хімічний склад середовища	Ст.3		Сталь 20	
	$C, \frac{m/cycle}{(MPa\sqrt{m})^n}$	n	$C, \frac{m/cycle}{(MPa\sqrt{m})^n}$	n
Повітря	$1,6 \cdot 10^{-11}$	4,08	$3,7 \cdot 10^{-11}$	3,87
Органічне добриво (гній)	$1,5 \cdot 10^{-10}$	3,66	$5,1 \cdot 10^{-10}$	3,20
Сульфат амонію	$7,2 \cdot 10^{-9}$	2,72	$4,5 \cdot 10^{-9}$	0,02
Нітрофоска	$3,1 \cdot 10^{-8}$	2,41	$6,5 \cdot 10^{-8}$	2,10

Щоб використати одержані результати в інженерних оцінках залишкової довговічності та ризику руйнування дефектних елементів конструкцій сільсько-господарських машин за умов дії робочих середовищ, діаграми циклічної тріщиноустійкості сталей описали аналітично за допомогою степеневої залежності типу Паріса [7, 8]:

$$da/dN = C \cdot (\Delta K)^n,$$

де C і n – константи системи “матеріал–середовище”, які залежать від хімічного складу і структури матеріалу, умов випробувань та хімічного складу середовища (табл. 4).

ВИСНОВКИ

Виявлено, що робочі середовища, в яких експлуатуються елементи сільсько-господарських машин для внесення добрив зі сталей Ст.3 та 20, відчутно впливають на швидкість поширення втомних тріщин. Зокрема, швидкість розвитку тріщиноподібних дефектів тут може зростати приблизно від 5 до 25 разів порівняно з випробуваннями у повітрі. При цьому негативний вплив середовища на

опір поширенню тріщин посилюється у такій послідовності: органічне добриво (гній) – сульфат амонію – нітрофоска.

РЕЗЮМЕ. Установлено, что под влиянием эксплуатационных сред скорость роста трещиноподобных дефектов в сталях Ст.3 та 20 может возрастать приблизительно от 5 до 25 раз. При этом негативное воздействие среды на сопротивление развитию трещин усиливается в такой последовательности: органическое удобрение (гной) – сульфат аммония – нитрофоска.

SUMMARY. The significant effect (approximately from 5 to 25 times) of operating environments on the crack-like defect growth rate in steels Ст.3 and 20 has been found. In this case the negative environmental effect on crack growth resistance of given steels increases in the following sequence: organic fertilizer (manure) – ammonium sulphate – nitrophoska.

1. *Износ и коррозия сельскохозяйственных машин /* М. М. Севернев, Н. Н. Подлекарев, В. Ш. Сохадзе и др. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 332 с.
2. *Северный А. Э., Поцкалев А. Ф., Новиков А. Л.* Справочник по хранению сельскохозяйственной техники. – Л.: Колос, 1984. – 222 с.
3. *Дмитрах І. М., Панасюк В. В.* Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 1999. – 342 с.
4. *Попович П. В., Слободян З. В.* Корозійна і електрохімічна поведінка сталей 20 та Ст.3 у середовищі сульфату амонію і нітрофоски // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – **49**, № 6. – С. 100–106.
(*Popovych P. V. and Slobodyan Z. B.* Corrosion and Electrochemical Behaviors of 20 Steel and St.3 Steel in Ammonium Sulfate and Nitrophoska // *Materials Science.* – 2014. – **49**, № 6. – P. 819–826.)
5. *Попович П.* Особливості корозійної та корозійно-втомної поведінки сталі 20 у водних середовищах мінеральних та органічних добрив // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (Корозія-2014): у 2-х т. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2014. – **2**, спец. вип. № 12. – С. 833–838.
6. *Ярема С. Я.* Методология определения характеристик сопротивления развитию трещин (трещиностойкости) материалов при циклическом нагружении // Физ.-хим. механика материалов. – 1981. – **17**, № 4. – С. 100–110.
(*Yarema S. Ya.* Methodology of determining the characteristics of the resistance to crack development (crack resistance) of materials in cyclic loading // *Materials Science.* – 1981. – **17**, № 4. – P. 371–380.)
7. *Paris P. C., Gomez M. P., and Anderson W. E.* A rational analytic theory of fatigue // *The Trend in Eng.* – 1961. – **13**, № 1. – P. 9–14.
8. *Paris P. and Erdogan F.* A critical analysis of crack propagation laws // *J. of Basic Eng.* – 1963. – **85**, № 4. – P. 528–533.

Одержано 07.04.2014