

УДК 620.191.33

© Р.А. Барна, к.т.н.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

© Ж.М. Гушак, к.п.н.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

## **ВПЛИВ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩ НА ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ СТАЛІ 20**

*Встановлено особливості впливу робочих середовищ на втомне руйнування елементів сільськогосподарських машин зі сталі 20. Базуючись на результатах електронно-мікроскопічної фрактографії розкрито особливості цього процесу у повітрі та агресивних робочих середовищах.*

### **АГРЕСИВНІ РОБОЧІ СЕРЕДОВИЩА, КОНСТРУКЦІЙНА ВУГЛЕЦЕВА СТАЛЬ 20, ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ, ГРАНИЦЯ ВИТРИВАЛОСТІ.**

**Постановка проблеми.** Підвищення вимог до продуктивності і довговічності машин для внесення добрив пов'язане з забезпеченням надійності їх систем, вузлів і агрегатів. Внаслідок сумісного впливу агресивних середовищ та механічних навантажень, з ладу виходять до 70% механізмів, з яких 20...25% становлять поломки, зумовлені робочими перевантаженнями внаслідок втрати міцності від корозійних пошкоджень. Незважаючи на існуючі дослідження впливу робочих агресивних середовищ на зниження міцності та надійності с/г технічних засобів [2, 7, 8], проблематика дослідження процесів втомної та корозійно-втомної пошкодженості несучих систем в середовищах мінеральних і органічних добрив вивчена недостатньо. Тому, дослідження впливу агресивних робочих середовищ на втомну витривалість найпоширеніших в сільськогосподарському машинобудуванні сталей, безумовно, актуальні, оскільки дадуть можливість кількісно оцінити їх вплив на роботоздатність реальних елементів машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вплив агресивних середовищ значно зменшує ресурс конструктивних елементів сільськогосподарських машин [2, 8, 9]. У місцях пошкоджень поверхонь несучих вузлів металевих конструкцій виникають корозійні пітинги, виразки, зароджуються корозійно-втомні поверхневі тріщини, які розвиваються до критичних розмірів [2, 7–9, 12]. Внаслідок чого виникає небезпека виходу машини з ладу. Агресивне робоче середовище

суттєво прискорює розвиток тріщин [7, 12], що зумовлює значне зменшення ресурсу конструктивних елементів сільськогосподарських машин. Це слід враховувати під час моделювання і обчислень довговічності [3, 8, 9, 12]. Власне тому важливо знати тенденції впливу агресивних робочих середовищ (мінеральні і органічні добрива, корозійно-активні ґрунти і ін.) на корозійно-втомне руйнування сталей елементів сільськогосподарських машин із урахуванням параметрів процесів динамічної навантаженості на обґрунтованих типових режимах роботи.

**Метою дослідження** є встановлення впливу робочих середовищ на втомне руйнування елементів сільськогосподарських машин зі сталі 20.

*Об'єкт дослідження:* втомне руйнування деталей, вузлів та агрегатів сільськогосподарської техніки за дії експлуатаційних чинників.

*Предмет дослідження:* вплив робочого середовища на втомне руйнування елементів сільськогосподарських машин за навантажень, що імітують обґрунтовані типові режими експлуатації обладнання.

Матеріали та методика досліджень. Випробовували конструкційну вуглецеву сталь 20 у стані постачання, що застосовують для виготовлення деталей, вузлів та агрегатів у сільськогосподарському машинобудуванні. Її хімічний склад та механічні властивості наведено відповідно в табл. 1 та 2. Механічні характеристики сталей визначали за стандартною процедурою [11] випробувань циліндричних зразків на розтяг.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі 20

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	не > 0,040	не > 0,040	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25

Таблиця 2 – Механічні властивості сталі 20

Термообробка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
нормалізація 900...920°C; відпуск 600...650°C	430	280	34	67

За корозивні середовища [1] використали дистильовану воду (модель конденсату води або дощівки), насичені розчини двох мінеральних добрив (сульфату амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , що містить 20,5

нітрогену та 24 мас. % сульфуру зі слідами  $H_2SO_4$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  та  $SiO_2$ ; нітрофоски, яка є сумішшю  $NH_4H_2PO_4$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$  та  $KNO_3$  і містить 35...52 мас. % нітрогену,  $P_2O_5$  та  $K_2O$ ) та органічного добрива (рідкий гній великої рогатої худоби, що містить 86,7 мас. %  $H_2O$  зі слідами N (загальн.),  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  та CaO (див. табл. 3). Рівень pH розчинів заміряли pH-метром Й-160М перед та після корозійних експериментів.

Перед початком випробувань рідкий гній та гній змішаний фільтрували через паперовий фільтр для усунення диспергованих компонентів.

Таким чином, під час досліджень сталей, що застосовуються для виготовлення деталей, вузлів та агрегатів у сільськогосподарському машинобудуванні, було розглянуто найбільш характерні випадки системи «матеріал–середовище»: корозійно-активна система та корозійно пасивна система.

Таблиця 3 – Вміст основних біогенних речовин в органічних добривах

Елемент	% мас								
	O	N загальн.	N білков.	N аміачн.	$P_2O_5$	$K_2O$	CaO	MgO	$SO_3$
Середовище									
Рідкий гній великої рогатої худоби	86,7	0,38	–	–	0,12	0,22	0,25	–	–
Гній змішаний	75,0	0,50	0,31	0,15	0,25	0,60	0,35	0,15	0,10

Методологічною основою визначення впливу робочих середовищ на втомне руйнування є одночасне врахування фізико-механічних та фізико-хімічних процесів, що спричиняють корозійно-механічну пошкоджуваність та тріщиноутворення у вуглецевих конструкційних сталях. Такий підхід показав свою ефективність та фізичну обґрунтованість під час визначення стандартних характеристик втомної та корозійно-втомної пошкоджуваності конструкційних сталей [7, 10].

**Результати дослідження.** Опір сталі 20 корозійно-втомному руйнуванню в середовищах мінеральних добрив порівняно з повітрям та дистильованою водою суттєво знижується у всьому діапазоні досліджених навантажень (рис. 1, 2). У розчині сульфату амонію її умовна границя корозійної втоми знизилася в 2,2, а в розчині нітрофоски – у 2,5 рази порівняно з границею втоми на повітрі та відповідно в 1,9 і 2,2 рази

порівняно з отриманою у дистильованій воді. Найменш негативний вплив на опір сталі 20 корозійній втомі виявив гній змішаний. У цьому середовищі її умовна границя втоми підвищилася на 8% порівняно з отриманою в дистильованій воді, виявивши таким чином властивості інгібітора корозійно-втомного руйнування [4–6].

Як особливість відзначили значно менший вплив на границю витривалості середовища на основі органічних добрив (гною) порівняно з середовищами на основі мінеральних добрив. Крім того, відзначили відсутність негативного впливу органічного добрива на умовну границю втоми порівняно з дистильованою водою.

Специфіка руйнування зразків за випроб обертовим згином пов'язана з неможливістю уникнути контактування спряжених поверхонь зламів, що формуються внаслідок росту втомної тріщини, яка зароджується від бічної поверхні зразків під дією знакозмінних у циклі навантажень. Тому злами порівнювали за різного, але якомога нижчого рівня максимальних напружень, щоб мінімізувати наслідки такого контактування на завершальному етапі руйнування.

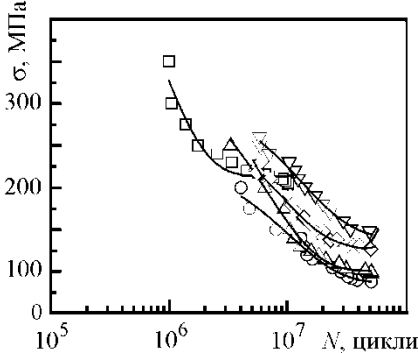


Рис. 1 – Криві втоми сталі 20 на повітрі – □ та у середовищі насичених розчинів нітрофоски (○) та сульфату амонію (△), а також гною (▽) і дистильованої води (◇)

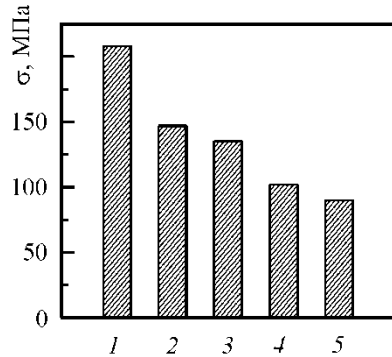


Рис. 2 – Залежність границі витривалості сталі 20 від складу розчину: 1 – повітря ( $N_\sigma = 10^7$  циклів); 2 – гній ( $N_\sigma = 5 \times 10^7$  циклів); 3 – дистильована вода ( $N_\sigma = 5 \times 10^7$  циклів); 4 – сульфат амонію ( $N_\sigma = 5 \times 10^7$  циклів); 5 – нітрофоска ( $N_\sigma = 5 \times 10^7$  циклів)

Як правило тріщини на повітрі зароджувалися в одному (подекуди в двох) місцях по периметру зразка і серпоподібним фронтом поширювалися в глиб його перерізу (рис. 3). При цьому на зламі формувалися фестони, поперек яких розташовувалися втомні борозенки (рис. 4). Межі між суміжними фестонами позначалися на зламі гребенями в'язкого відриву, які часто мали сліди наклепу через невідповідність впадин і виступів під час контактування берегів тріщини в циклі навантаження. Крок цих борозенок зростав в міру просування тріщини від зовнішньої поверхні зразка до остаточного його руйнування, яке звичло мало типовий в'язкий характер шляхом зародження порожнин, їх подальшого росту та злиття з утворенням на поверхні класичного ямкового рельєфу.

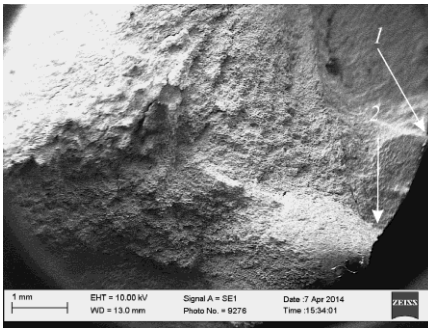


Рис. 3. – Місце зародження тріщин від поверхні зразка та серпоподібний фронт її поширення в глиб його перерізу ( $\times 15$ )

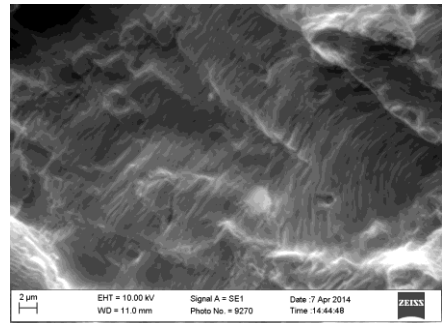


Рис. 4 – Поверхня втомного руйнування сталі 20 на повітрі ( $\times 2000$ )

Істотну зміну механізму руйнування виявили за впливу робочих середовищ. Кількість зародків втомних тріщин від бокової поверхні зразків істотно зростає і змінюється фронт їх поширення. Як правило ці тріщини поширювалися вглиб перерізу зразків у вигляді клинів (рис. 5, а). За вищої роздільної здатності на зламах чітко ідентифікували елементи між- і крізьзеренного руйнування, істотного вторинного розтріскування вздовж меж зерен (рис. 5, б та в). Крім того, ділянки з утомними борозенками на зламах чітко виявляються лише в межах тих перлітних зерен, пластини перліту в яких орієнтовані перпендикулярно до магістрального напрямку поширення тріщини. Завдяки руйнування вздовж їх меж з феритом можна спостерігати на зламі структуру перліту. Можна також припустити, що виявлення меж

перлітних пластин стало можливим саме внаслідок впливу агресивних компонентів використаних середовищ. Адже за випроб на повітрі нічого подібного не спостерігали.

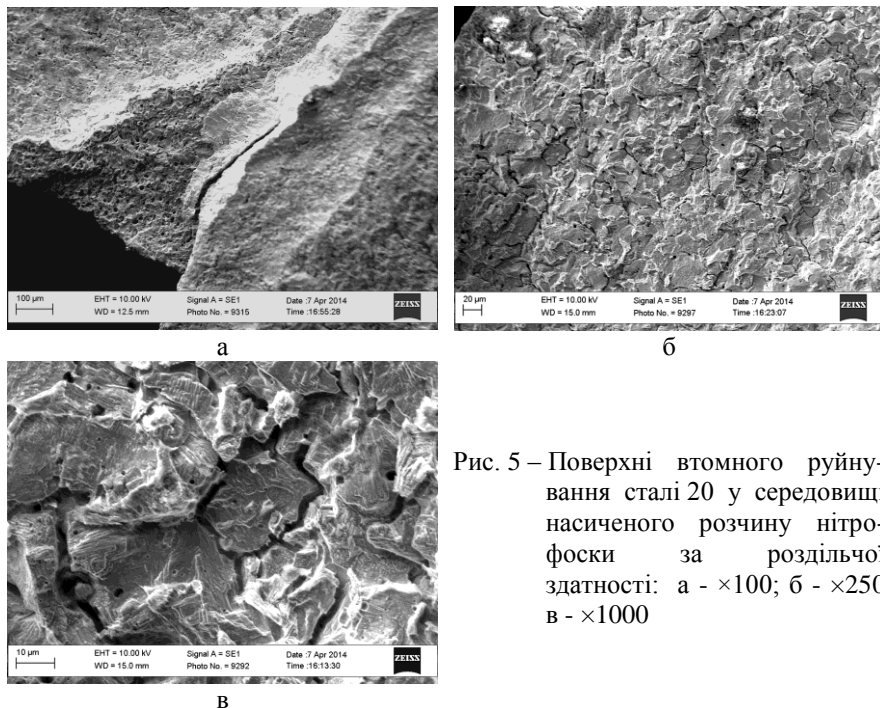


Рис. 5 – Поверхні втомного руйнування сталі 20 у середовищі насиченого розчину нітрофоски за роздільної здатності: а -  $\times 100$ ; б -  $\times 250$  в -  $\times 1000$

За випробування в органічному добриві і у дистильованій воді переважав все ж класичний втомний механізм руйнування з елементами міжзеренного розтріскування. Саме з цим і пов'язали істотно нижчий їх вплив на умовну границю втоми сталі 20 порівняно з отриманими у розчинах мінеральних добрив.

**Висновки.** Агресивні робочі середовища суттєво зменшують опір втоми сталі 20 порівняно з випробуваннями у повітрі. Зокрема, у розчині сульфату амонію умовна границя корозійної втоми знизилася в 2,2, а в розчині нітрофоски – у 2,5 рази порівняно з границею втоми на повітрі та відповідно у 1,9 і 2,2 рази порівняно з отриманою у дистильованій воді.

Розкрито особливості втомного руйнування в різних середовищах і показано, що використання розчинів мінеральних

добрив спричиняє між- і трансзеренне втомне руйнування та розшарування вздовж меж пластин перліту (якщо вони орієнтовані перпендикулярно до напрямку поширення тріщини). Саме з ослабленням границь зерен і міжфазних границь пов'язане істотне зниження границі витривалості обох сталей у розчинах мінеральних добрив, порівняно з отриманими у розчині органічного добрива.

Наведені результати свідчать про необхідність враховувати чинник реального складу робочого середовища при прогнозуванні корозійно-втомних процесів та визначенні залишкового ресурсу елементів сільськогосподарських машин.

### Література

1. Барна Р.А. Вплив робочих середовищ на циклічну тріщиностійкість сталей для елементів сільськогосподарських машин / Р.А. Барна, П.В. Попович, Р.І. Вовк // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Т. 50, № 4. – С. 125–128.

2. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе и др.; под ред. М.М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 332 с.

3. Моделювання експлуатаційної навантаженості при стендових випробуваннях на втому вузлів рам с.-г. машин / П.В. Попович, Т.І. Рибак, М.Я. Шашків та ін. // Вісник Харк. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2009. – Вип. 80. – С. 28–33.

4. Попович П. Особливості корозійної та корозійно-втомної поведінки сталі 20 у водних середовищах мінеральних та органічних добрив / Павло Попович // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (Корозія–2014): у 2-х т. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Спец. вип. № 10. – Т. 2. – С. 80–83.

5. Попович П.В. Корозійна і електрохімічна поведінка сталей 20 та Ст. 3 у середовищах сульфату амонію і нітрофоски / П.В. Попович, З.В. Слободян // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013. – Т. 49. - № 6. – С. 100–106.

6. Попович П.В. Корозійна та електрохімічна поведінка сталей 20 та Ст. 3 / П.В. Попович, Л.А. Маглатюк, Р.Б. Купович // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Т. 50. - № 2. – С. 110–115.

7. Похмурський В.І. Корозійна втома металів та сплавів / В.І. Похмурський, М.С. Хома. – Львів: СПОЛОМ, 2008. – 304 с.

8. Северный А.Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники [Текст] / А.Э. Северный. – М.: ГОСНИТИ, 1993. – 234 с.

9. Северный А.Э. Справочник по хранению сельскохозяйственной техники / А.Э. Северный, А.Ф. Поцкалев, А.А. Новиков. – М.: Колос, 1984. – 224 с.

10. Фокин М.Н. Методы коррозионных испытаний металлов / М.Н. Фокин, К.А. Жигалова // Под ред. Колотыркина. – М.: 1986. – 80 с.

11. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Механические испытания. Конструкционная прочность: в 2-х т. / Я.Б. Фридман. – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 368 с.

12. Щурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств / Диссерт. докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 423 с.

*Рецензент д.т.н., проф. О.З. Студент*