

УДК 620.191.33

ВПЛИВ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩ НА ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ СТАЛЕЙ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Р. А. БАРНА¹, П. В. ПОПОВИЧ²

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

² Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Встановлено, що насичені розчини мінеральних добрив зменшують опір втомі сталей 20 та Ст. 3 за всіх рівнів навантажень. При цьому границя витривалості знижується порівняно з повітрям в 2,2 (сульфат амонію) та в 2,5 (нітрофоска) рази. На основі фрактографічних досліджень виявлено, що цей ефект пов'язаний із ослабленням міжзеренних та міжфазних меж під дією цих агресивних робочих середовищ.

Ключові слова: конструкційні вуглецеві сталі, агресивні робочі середовища, втомне руйнування, границя витривалості.

Під час роботи конструктивні елементи сільськогосподарських машин, зокрема шнеки розкидачів добрив, зазнають повторно-змінних навантажень, а також впливу агресивних робочих середовищ. Конструктивно вони складаються з осі, на якій закріплено лопаті бітерів, що контактують з різноманітними агресивними середовищами (наприклад, гній, компост, мінеральні добрива тощо), які активізують корозійні процеси. Крім того, вони можуть по-різному впливати на роботоздатність елементів машин, особливо в поєднанні з циклічними навантаженнями, які супроводжують експлуатацію будь-якого механізму. Тому дослідження впливу цих середовищ на втомну витривалість найпоширеніших у сільськогосподарському машинобудуванні сталей, безумовно, актуальні, оскільки дадуть можливість кількісно оцінити їх вплив на роботоздатність реальних елементів машин.

Матеріали та методика. Для втомних та корозійно-втомних випробувань [1] використовували циліндричні зразки діаметром 10 mm (згідно з ГОСТ 23026–78), виготовлені зі сталей 20 та Ст. 3 у стані постачання. Для усунення слідів механічного шліфування і забезпечення високої збіжності результатів робочу частину всіх зразків заздалегідь полірували.

За корозивні середовища [2–4] 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 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 експериментів.

Втомні випробування здійснювали на машині ІМА-5. Зразки навантажували за схемою обертового згину та симетричного синусоїдного циклу [5, 6]. Кількість циклів до руйнування зразків N фіксували швидкісним імпульсним лічильником.

За отриманими даними будували криві втоми в координатах максимальне напруження в циклі навантаження σ_{max} –кількість циклів N , з яких визначали гра-

ницю втоми. Випробування починали за напруження $2/3\sigma_B$, яке покроково знижували його аж до границі витривалості σ_{-1} у межах прийнятої бази експериментів (10^7 – за випробування у повітрі і $5 \cdot 10^7$ циклів – у середовищі).

Границю втоми визначали за результатами досліджень не менше п'яти зразків за напружень $(0,95 \dots 1,05) \cdot \sigma_{-1}$. При цьому два з них залишались незруйнованими після досягнення заданої бази випробування. Загалом криві втоми у повітрі та середовищі будували за результатами експериментів 10–15 зразків [1]. Для фрактографічних досліджень використовували сканівний електронний мікроскоп ZEISS EVO 40XVP зі системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Результати та їх обговорення. У всьому діапазоні прикладених навантажень опір сталі 20 корозійно-втомному руйнуванню в середовищах мінеральних добрив порівняно з повітрям та дистильованою водою суттєво послаблюється (див. рис. 1b і таблицю). У розчині сульфату амонію її умовна границя корозійної втоми знизилася в 2,2, а в розчині нітрофоски – в 2,5 рази порівняно з цією характеристикою у повітрі та відповідно – в 1,9 і 2,2 рази проти отриманої у дистильованій воді. Найменш негативно на опір сталі корозійній втомі впливає гній. Тут її умовна границя втоми підвищилася на 8% порівняно з отриманою в дистильованій воді, виявивши так властивості інгібітора корозійно-втомного руйнування [2, 3].

Подібні тенденції зміни опору корозійно-втомному руйнуванню за впливу різних середовищ отримали і для сталі Ст.3 (див. рис. 1a і таблицю). Однак тут він виявився дещо нижчим, ніж сталі 20.

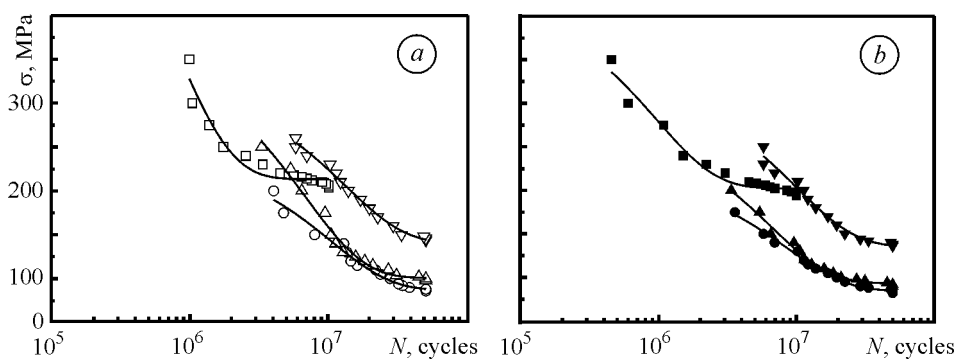


Рис. 1. Криві втоми сталей 20 (a) та Ст.3 (b) у повітрі (□, ■) та насичених розчинах нітрофоски (○, ●), сульфату амонію (△, ▲), а також гною (▽, ▼).

Fig. 1. Fatigue curves of steels 20 (a) and Ст.3 (b) in air (□, ■) and saturated solutions of nitrophoska (○, ●), ammonium sulphate (△, ▲) and also manure (▽, ▼).

Границя витривалості сталей за випробування у різних середовищах, МПа

Сталь	Повітря	Органічне добриво	Дистильована вода	Мінеральні добрива	
				сульфат амонію	нітрофоска
20	207	147	135	104	90
Ст. 3	197	139	121	93	85

Зауважили суттєво слабший вплив на границю витривалості обох сталей органічних добрив (гною), ніж мінеральних. Крім того, відсутній негативний вплив органічного добрива на умовну границю їх втоми порівняно з дистильованою водою.

Під час випроб зразків обертовим згином неможливо уникнути контактування спряжених поверхонь зламів, спричинених ростом втомної тріщини, яка зароджується від бічної поверхні зразків під дією знакозмінних у циклі навантажень. Тому злами порівнювали за різних, але якомога нижчих максимальних напружень, щоб мінімізувати наслідки такого контактування на завершальному етапі руйнування.

Фрактографічні дослідження виявили типову картину руйнування обох сталей у повітрі. Як правило, тріщини зароджувалися в одному (подекуди в двох) місцях по периметру зразка і серпоподібним фронтом поширювалися вглиб його перерізу. При цьому на зламі формувалися фестони, поперек яких розташовувалися втомні борозенки (рис. 2а). Межі між суміжними фестонами проявилися 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 з просуванням тріщини від зовнішньої поверхні зразка до остаточного його руйнування, яке зазвичай мало типовий в'язкий характер шляхом зародження порожнин, їх подальшого росту та злиття з утворенням на поверхні класичного ямкового рельєфу.

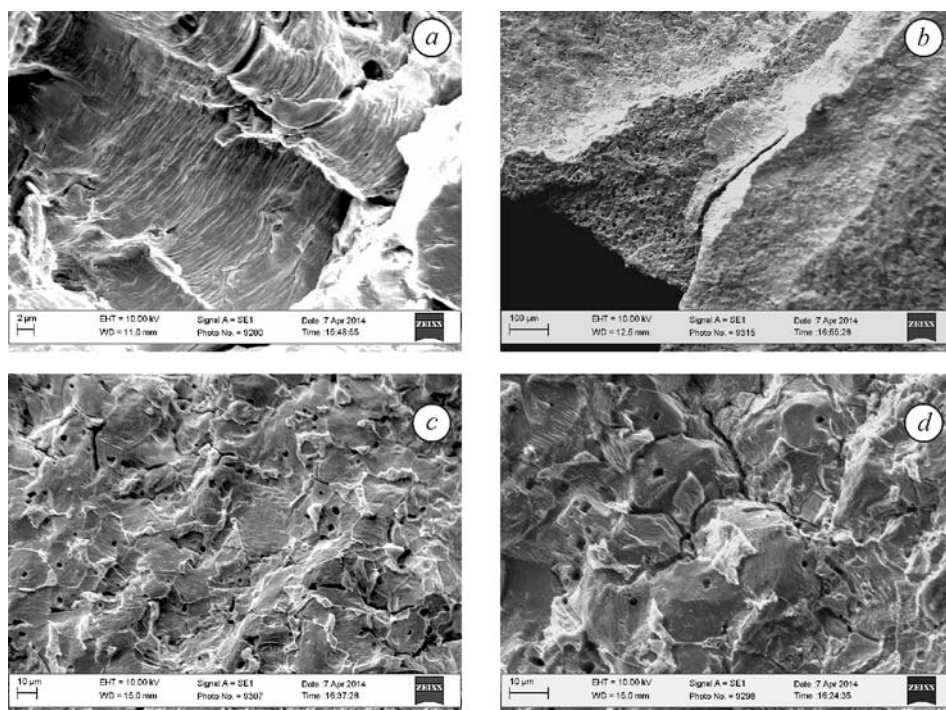


Рис. 2. Поверхні втомного руйнування сталі Ст.3 у повітрі (а) та у розчині нітрофоски (b–d).

Fig. 2. Fatigue fracture surfaces of steel St.3 in air (a) and in nitrofoska solution (b–d).

Істотну зміну механізму руйнування виявили за впливу робочих середовищ. Кількість зародків втомних тріщин від бокової поверхні зразків суттєво зростає і змінюється фронт їх поширення, як правило – вглиб перерізу зразків у вигляді клинів (рис. 2b). За вищої роздільної здатності на зламах чітко ідентифікували елементи між- і кризьзеренного руйнування, істотного вторинного розтріскування вздовж меж зерен (рис. 2c, d). Крім того, ділянки з утомними борозенками на зламах чітко виявляються лише в межах тих зерен, пластини перліту в яких орієнтовані перпендикулярно до магістрального напрямку поширення тріщини. Внаслідок руйнування вздовж їх меж з феритом вдається виявляти на зламі структуру

перліту. Імовірно, це стало можливим саме через вплив агресивних компонентів використаних середовищ. Адже у повітрі нічого подібного не фіксували.

За випроб в органічному добриві і дистильованій воді переважав все ж класичний втомний механізм руйнування з елементами міжзеренного розтріскування. Саме з цим і пов'язали істотно слабший їх вплив на умовну границю втоми обох сталей, ніж у розчинах мінеральних добрив.

ВИСНОВКИ

Розчини мінеральних добрив зменшують опір втомі сталей 20 та Ст. 3 за всіх рівнів навантажень. Границя витривалості при цьому знижується порівняно з повітрям у 2,2 (сульфат амонію) та в 2,5 (нітрофоска) рази. Однак вплив органічних добрив на 8% слабший, ніж дистильованої води. Розкрито особливості втомного руйнування в різних середовищах і виявлено, що розчини мінеральних добрив спричиняють між- і крізьзеренне втомне руйнування та розшарування вздовж меж пластин перліту (якщо вони орієнтовані перпендикулярно до напрямку поширення тріщини). Саме з ослабленням міжзеренних, а також міжфазних меж пов'язане суттєвіше зниження границі витривалості обох сталей у розчинах мінеральних добрив, ніж у розчині органічного добрива.

РЕЗЮМЕ. Установлено, что насыщенные растворы минеральных удобрений уменьшают сопротивление усталости сталей 20 и Ст.3 при всех уровнях нагрузок. При этом предел выносливости уменьшается по сравнению с воздухом в 2,2 (сульфат аммония) и в 2,5 (нитрофоска) раза. Фрактографическими исследованиями выявлено, что этот эффект связан с ослаблением границ зерен и межфазных границ под влиянием этих агрессивных рабочих сред.

SUMMARY. It has been found that saturated solutions of chemical fertilizers reduce the fatigue resistance of steels 20 and Ст.3 at all levels of loading. In this case, the endurance limit decreases in 2.2 times for ammonium sulphate and in 2.5 times for nitrophoska in comparison with air. Based on fractography study, it was shown that such effect is caused by weakening of grain boundaries and interfaces under action of these aggressive operating environments.

1. *Похмурський В. І., Хома М. С.* Корозійна втома металів та сплавів. – Львів: Сполом, 2008. – 304 с.
2. *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. – № 6. – С. 100–106.
3. *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. – Т. 2, спец. вип. № 12. – С. 833–838.
4. *Износ деталей сельскохозяйственных машин / М. М. Севернев, Г. П. Каплун, В. А. Короткевич, С. Н. Кот.* – Л.: Колос, 1972. – 146 с.
5. *Моделювання експлуатаційної навантаженості при стендових випробуваннях на втому вузлів рам сільськогосподарських машин / П. В. Попович, Т. І. Рибак, М. Я. Сташків та ін.* // Вісник Харк. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2009. – Вип. 80. – С. 28–33.
6. *Шурин К. В.* Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств: дис. ... докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 424 с.

Одержано 18.12.2013