

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

*В. В. ПАНАСЮК* (головний редактор), *В. М. ФЕДІРКО* (заст. головного редактора), *Р. Р. КОКОТ* (відповідальний секретар), *О. Є. АНДРЕЙКІВ*, *С. А. БИЧКОВ*, *І. М. ДМИТРАХ*, *І. М. ЗІНЬ*, *Г. С. КИТ*, *Р. М. КУШНІР*, *Л. М. ЛОБАНОВ*, *З. Т. НАЗАРЧУК*, *Г. М. НИКИФОРЧИН*, *І. В. ОРИНЯК*, *О. П. ОСТАШ*, *В. І. ПОХМУРСЬКИЙ*, *І. К. ПОХОДНЯ*, *М. П. САВРУК*, *З. А. СТОЦЬКО*, *Г. Т. СУЛИМ*, *В. В. ФЕДОРОВ*, *С. О. ФІРСТОВ*, *П. В. ЯСНІЙ*

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

*Р. АКІД* (Великобританія), *С. ВОДОНІЧАРОВ* (Болгарія), *І.-Р. ГАРРІС* (Великобританія), *Г. ГЛІНКА* (Канада), *В. ДІЦЕЛЬ* (Німеччина), *Ю. І. КУЗНЕСЦОВ* (Росія), *О. М. ЛОКОШЕНКО* (Росія), *Е. ЛУНАРСЬКА* (Польща), *С. Й. МАТИСЯК* (Польща), *М. А. МАХУТОВ* (Росія), *І. МІЛЬН* (Великобританія), *М. Ф. МОРОЗОВ* (Росія), *А. НЕЙМІЦ* (Польща), *Дж.-Ф. НОТТ* (Великобританія), *Г. ПЛЮВІНАЖ* (Франція), *Я. ПОКЛЮДА* (Чехія), *Р.-О. РІЧІ* (США), *Д.-М.-Р. ТЕПЛІН* (Великобританія), *Л. ТОТ* (Угорщина), *М. ШАПЕР* (Німеччина)

## EDITORIAL BOARD

*V. V. PANASYUK* (Editor-in-Chief), *V. M. FEDIRKO* (Deputy Editor-in-Chief), *R. R. KOKOT* (Secretary), *O. Ye. ANDREIKIV*, *S. A. BYCHKOV*, *I. M. DMYTRAKH*, *V. V. FEDOROV*, *S. O. FIRSTOV*, *H. S. KIT*, *R. M. KUSHNIR*, *L. M. LOBANOV*, *Z. T. NAZARCHUK*, *H. M. NYKYFORCHYN*, *L. V. ORYNIAK*, *O. P. OSTASH*, *V. I. POKHMURSKYI*, *I. K. POKHODNIA*, *M. P. SAVRUK*, *Z. A. STOTSKO*, *H. T. SULYM*, *P. V. YASNII*, *I. M. ZIN'*

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

*R. AKID* (Great Britain), *W. DIETZEL* (Germany), *I. R. HARRIS* (Great Britain), *H. HLINKA* (Canada), *J. F. KNOTT* (Great Britain), *Yu. I. KUZNETSOV* (Russia); *A. M. LOKOSHCHENKO* (Russia), *E. LUNARSKA* (Poland), *N. A. MAKHUTOV* (Russia), *S. Ya. MATYSIAK* (Poland), *I. MILNE* (Great Britain), *N. F. MOROZOV* (Russia), *A. NEIMITZ* (Poland), *G. PLUVINAGE* (France), *Ya. POKLUDA* (Czech Republic), *R. O. RITCHIE* (USA), *M. SCHAPER* (Germany), *D. M. R. TAPLIN* (Great Britain), *L. TOTH* (Hungary), *S. VODENICHAROV* (Bulgaria)

Відповідальний за випуск чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф. В. М. Федірко  
Responsible for issue corr.-member NASU, Dr. (Engn.), Prof. V. M. Fedirko

**Адреса редакції:** 79601, Львів МСП, Наукова, 5. Фізико-механічний інститут  
ім. Г. В. Карпенка НАН України. Тел.: (032) 263-73-74,  
(032) 229-62-30. Факс: (032) 264-94-27.  
E-mail: pcmm@ipm.lviv.ua

**WWW-address:** <http://www.ipm.lviv.ua/journal/Journal.htm>

**Editorial office address:** Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St.,  
Lviv 79601, Ukraine. Tel.: (380) 322 63 73 74,  
(380) 322 29 62 30. Fax: (380) 322 64 94 27.  
E-mail: pcmm@ipm.lviv.ua

Відповідальний секретар редакції **Р. Р. Кокот**  
Редактори *Д. С. Бриняк*, *О. Т. Досин*, *Л. Є. Єлейко*  
Технічний редактор *І. В. Калинюк*  
Зав. групою комп'ютерної підготовки видання *І. В. Калинюк*  
Комп'ютерний набір *Г. М. Кулик*, *Л. Г. Копчак*

---

Підписано до друку 26.06.2014. Формат 70×108/16. Папір офсетний №1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 300 прим. Замовлення 030714 від 03.07.2014. Ціна договірна.

Реєстраційне свідоцтво серія КВ №203 від 10.11.93

Друкарня ТзОВ «Простір-М», 79000, Львів, вул. Чайковського, 27

---

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,  
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2014

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

Міжнародний науково-технічний журнал  
Заснований у січні 1965 року  
Виходить 6 разів у рік

**ТОМ 50, № 3, 2014**

травень – червень

## ЗМІСТ

<i>Панасюк В. В., Іваницький Я. Л., Гембара О. В., Бойко В. М.</i> Вплив напружено-деформованого стану на розподіл концентрації водню у зоні передруйнування .....	7
<i>Сиротюк А. М., Дмитрах І. М.</i> Методи оцінювання руйнування та міцності трубопровідних сталей та конструкцій за дії робочих середовищ. Ч. 1. Вплив корозивного чинника .....	15
<i>Ленковський Т. М.</i> Визначення характеристик циклічної тріщиностійкості сталей за поперечного зсуву (Огляд) .....	29
<i>Осташ О. П., Андрейко І. М., Головатюк Ю. В., Семенець О. І., Ковальчук Л. Б.</i> Низькотемпературна і корозійна циклічна тріщиностійкість алюмінієвих сплавів Д16АТНВ і В95Т1 після тривалої експлуатації .....	38
<i>Андрейків О. С., Добровольська Л. Н., Яворська Н. В.</i> Поширення в металевих матеріалах тріщин високотемпературної повзучості за дії водню .....	45
<i>Ревенко В. П.</i> Визначення тривимірного напружено-деформованого стану товстостінного двошарового циліндра .....	53
<i>Барна Р. А., Попович П. В.</i> Вплив робочих середовищ на втомне руйнування сталей для елементів сільськогосподарських машин .....	59
<i>Ясній О. П., Собчак А. Р., Ясній В. П.</i> Оцінювання ймовірності руйнування колектора пароперегрівника ТЕС .....	63
<i>Марушак П. О., Коноваленко І. В., Панін С. В., Любутін П. С., Данилюк І. М., Журавков М. А.</i> Оцінювання кінетики утомного руйнування шляхом автоматизованого аналізу деформаційного рельєфу на поверхні зразків з центральним отвором .....	69
<i>Євтушенко О., Куцєй М., Ох Е.</i> Моделювання температурного режиму гальмівної системи з урахуванням термочутливості матеріалів .....	77
<i>Будз С. Ф., Дробенко Б. Д., Асташкін В. І.</i> Залишкові структурні напруження у скляних тілах .....	84
<i>Стадник М. М.</i> Напружений стан безмежного тіла з еліптичною тріщиною за дії теплового потоку на її поверхнях .....	89
<i>Федірко В. М., Лук'яненко О. Г., Труш В. С.</i> Вплив дифузійного насичення киснем на витривалість і тривалу статичну міцність титанових сплавів .....	91
<i>Аржавітін В. М., Борц Б. В., Ванжа О. Ф., Рибальченко Н. Д., Ситін В. І.</i> Вплив мікрولةгування ітрієм на релаксаційні властивості міді .....	97

<i>Демченко В. Л., Віленський В. О., Штомпель В. І.</i> Вплив сталого магнетного поля на структуру, термомеханічні та електрофізичні властивості систем на основі епоксидного полімеру, оксидів металів та поліаніліну.....	101
<i>Онищенко Д. В., Проценко А. Є., Петров В. В.</i> Модифікування епоксидного зв'язувального полімерного композита багат шаровими вуглецевими нанотрубками .....	107
<i>Сконечни В.</i> Вплив наноструктури поверхні керамічних покриттів на їх трибологічні властивості.....	111
<i>Джоган О. М., Костенко О. П., Краля В. О., Петропольський В. С.</i> Аналіз застосування аерозольних клеїв під час виготовлення деталей з полімерно-композиційних матеріалів.....	117
<i>Похмурський В. І., Карпенко О. В., Зінь І. М., Тимусь М. Б., Веселівська Г. Г.</i> Інгібувальна дія біогенних поверхнево-активних речовин у корозивних середовищах .....	122
<i>Герцик О. М., Ковбуз М. О., Переверзева Т. Г., Борисюк А. К., Бойчишин Л. М.</i> Вплив термообробки та змінного магнетного поля на хімічний опір аморфних сплавів на основі феруму .....	128
<i>Осадчук С. О., Ниркова Л. І., Рибаків А. О., Мельничук С. Л., Гапула Н. О., Остапюк С. М.</i> Вплив продуктів електрохімічної деструкції захисного покриття на властивості трубної сталі у слабколужному середовищі .....	135
<i>Ващишин Л. В., Нічога В. О.</i> Виявлення поперечної тріщини в головці рейки за допомогою вейвлет-перетворень та нейронних мереж .....	142

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Г. В. КАРПЕНКО

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Международный научно-технический журнал

Основан в январе 1965 года

Выходит 6 раз в год

**ТОМ 50, № 3, 2014**

май – июнь

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Панасюк В. В., Иваницкий Я. Л., Гембара О. В., Бойко В. Н.</i> Влияние напряженно-деформированного состояния на распределение концентрации водорода в зоне предразрушения .....	7
<i>Сыротюк А. М., Дмытрах И. Н.</i> Методы оценки разрушения и прочности трубопроводных сталей и конструкций под воздействием рабочих сред. Ч. 1. Влияние коррозионного фактора .....	15
<i>Ленковский Т. М.</i> Определение характеристик циклической трещиностойкости сталей при поперечном сдвиге (Обзор).....	29
<i>Осташ О. П., Андрейко И. М., Головатюк Ю. В., Семенец А. И., Ковальчук Л. Б.</i> Низкотемпературная и коррозионная циклическая трещиностойкость алюминиевых сплавов Д16АТНВ и В95Т1 после длительной эксплуатации .....	38
<i>Андрейкив А. Е., Добровольская Л. Н., Яворская Н. В.</i> Распространение в металлических материалах трещин высокотемпературной ползучести при воздействии водорода.....	45
<i>Ревенко В. П.</i> Определение трехмерного напряженно-деформированного состояния толстостенного двухслойного цилиндра .....	53
<i>Барна Р. А., Попович П. В.</i> Влияние рабочих сред на усталостное разрушение сталей для элементов сельскохозяйственных машин .....	59
<i>Ясний О. П., Собчак А. Р., Ясний В. П.</i> Оценивание вероятности разрушения коллектора пароперегревателя ТЭС.....	63
<i>Марущак П. О., Коноваленко И. В., Панин С. В., Любутин П. С., Данилюк И. М., Журавков М. А.</i> Оценка кинетики усталостного разрушения путем автоматизированного анализа деформационного рельефа на поверхности образцов с центральным отверстием .....	69
<i>Евтушенко А., Куцей М., Ох Э.</i> Моделирование температурного режима тормозной системы с учетом термочувствительности материалов .....	77
<i>Будз С. Ф., Дробенко Б. Д., Асташкин В. И.</i> Остаточные структурные напряжения в стеклянных телах .....	84
<i>Стадник М. М.</i> Напряженное состояние безграничного тела с эллиптической трещиной при действии теплового потока на ее поверхностях.....	89
<i>Федирко В. Н., Лукьяненко А. Г., Труш В. С.</i> Влияние диффузионного насыщения кислородом на выносливость и длительную статическую прочность титановых сплавов .....	91

<i>Аржавитин В. М., Борц Б. В., Ванжа А. Ф., Рыбальченко Н. Д., Сытин В. И.</i> Влияние микролегирования иттрием на релаксационные свойства меди .....	97
<i>Демченко В. Л., Виленский В. А., Штомпель В. И.</i> Влияние постоянного магнитного поля на структуру, термомеханические и электрофизические свойства систем на основе эпоксидного полимера, оксидов металлов и полианилина .....	101
<i>Онищенко Д. В., Проценко А. Е., Петров В. В.</i> Модифицирование эпоксидного связующего полимерного композита многослойными углеродными нанотрубками.....	107
<i>Сконецны В.</i> Влияние наноструктуры поверхности керамических покрытий на их трибологические свойства .....	111
<i>Джоган О. М., Костенко О. П., Краля В. А., Петропольский В. С.</i> Анализ использования аэрозольных клеев при изготовлении деталей из полимерно-композиционных материалов.....	117
<i>Похмурский В. И., Карпенко Е. В., Зинь И. Н., Тымусь М. Б., Веселивская Г. Г.</i> Ингибирующее действие биогенных поверхностно-активных веществ в коррозионных средах.....	122
<i>Герцик О. М., Ковбуз М. А., Переверзева Т. Г., Борысюк А. К., Бойчишин Л. М.</i> Влияние термообработки и переменного магнитного поля на химическое сопротивление аморфных сплавов на основе ферума .....	128
<i>Осадчук С. А., Ныркова Л. И., Рыбаков А. А., Мельничук С. Л., Гапула Н. А., Остапюк С. Н.</i> Влияние продуктов электрохимической деструкции защитного покрытия на свойства трубной стали в слабощелочной среде .....	135
<i>Ващишин Л. В., Ничога В. А.</i> Обнаружение поперечной трещины в головке рельса с помощью вейвлет-преобразований и нейронных сетей .....	142

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

H. V. KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

# PHYSICO-CHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

International Scientific-Technical Journal

Founded in January 1965

Published bimonthly

**VOLUME 50, № 3, 2014**

May – June

## CONTENTS

<i>Panasyuk V. V., Ivanytskyi Ya. L., Hembara O. V., and Boiko V. M.</i> The influence of the stress-strain state on distribution of hydrogen concentration in the prefracture region.....	7
<i>Syrotyuk A. M. and Dmytrakh I. M.</i> Methods for assessing fracture and strength of pipeline steels and structures under effect of operating environments. P. I. Effect of corrosion factor.....	15
<i>Lenkovskii T. M.</i> Fatigue crack growth resistance characteristics of steels under transverse shear (Review).....	29
<i>Ostash O. P., Andreiko I. M., Holovatiuk Yu. V., Semenets O. I., and Kovalchuk L. B.</i> Low-temperature and corrosion fatigue crack growth resistance of Д16ATHB and B95T1 aluminium alloys after long-term operation.....	38
<i>Andreikiv O. Ye., Dobrovolska L. N., and Yavorska N. V.</i> Growth of high temperature creep cracks in metallic materials under hydrogen effect.....	45
<i>Revenko V. P.</i> Determination of the three-dimensional stress-strain state of thick-walled two-layer cylinder.....	53
<i>Barna R. A. and Popovych P. V.</i> Influence of operating environments on fatigue failure of steels for elements of agricultural machines.....	59
<i>Yasniy O. P., Sobchak A. R., and Iasnii V. P.</i> Evaluation of probability of HPP overheater collector fracture.....	63
<i>Maruschak P. O., Konovalenko I. V., Panin S. V., Liubutin P. S., Danyliuk I. M., and Zhuravkov M. A.</i> Evaluation of the kinetics of fatigue fracture by automated analysis of the deformation relief on the surface of specimen with a central hole.....	69
<i>Yevtushenko O., Kuciej M., and Och E.</i> Modelling of the temperature mode of brake system with account of thermal sensitivity of materials.....	77
<i>Budz S. F., Drobenko B. D., and Astashkin V. I.</i> Residual structural stresses in glass bodies.....	84
<i>Stadnyk M. M.</i> The stressed state of an infinite body with an elliptic crack in a semi-space under effect of constant heat flow on its surfaces.....	89
<i>Fedirko V. M., Lukyanenko O. H., and Trush V. S.</i> Influence of oxygen diffusion saturation on the fatigue and long-term static strength of titanium alloys.....	91
<i>Arzhavitin V. M., Borts B. V., Vanzha O. F., Rybalchenko N. D., and Sytin V. I.</i> The influence of yttrium microalloying on relaxation properties of copper.....	97

<i>Demchenko V. L., Vilenskyi V. O., and Shtompel V. I.</i> The influence of constant magnetic field on the structure, thermomechanical and electrophysical properties of the systems based on epoxy polymer, metal oxides and polyaniline.....	101
<i>Onishchenko D. V., Protsenko A. Ye., and Petrov V. V.</i> Modification of epoxy binder polymer composite by multilayer carbon nanotubes.....	107
<i>Skoneczny W.</i> Influence of the nanostructure of surface ceramic coatings on their tribological properties.....	111
<i>Dzhogan O. M., Kostenko O. P., Kralia V. O., and Petropolskyi V. S.</i> Analysis of the aerosols glues application during manufacture of polymer-composite material elements.....	117
<i>Pokhmurskii V. I., Karpenko O. V., Zin I. M., Tymus M. B., and Veselivska H. H.</i> Inhibiting effect of biogenic surface-active substances in corrosive environments.....	122
<i>Hertsyk O. M., Kovbuz M.O., Pereverzieva T. H., Borysiuk A. K., and Boichyshyn L. M.</i> The influence of heat treatment and variable magnetic field on chemical resistance of the amorphous metallic alloys based on iron.....	128
<i>Osadchuk S. O., Nyrkova L. I., Rybakov A. O., Melnychuk S. L., Gapula N. O., and Ostapiuk S. M.</i> The influence of products of electrochemical destruction of the protective coating on the pipe steel in a low-alkaline environment.....	135
<i>Vashchyshyn L. V. and Nichoga V. O.</i> Detection of a transversal crack in the rail head by wavelet transformations and neuron networks.....	142

УДК 620.191.33

## ВПЛИВ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩ НА ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ СТАЛЕЙ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Р. А. БАРНА<sup>1</sup>, П. В. ПОПОВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

<sup>2</sup> 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  та  $\text{SiO}_2$ ; нітрофоски, яка є сумішшю  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  та  $\text{KNO}_3$  і містить 35...52 mass.% нітрогену,  $\text{P}_2\text{O}_5$  та  $\text{K}_2\text{O}$ ) та органічного добрива (рідкий гній великої рогатої худоби, що містить 86,7 mass.%  $\text{H}_2\text{O}$  зі слідами N (загальн.),  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  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  $\sigma_{\text{max}}$ –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  $\sigma_{-1}$  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.

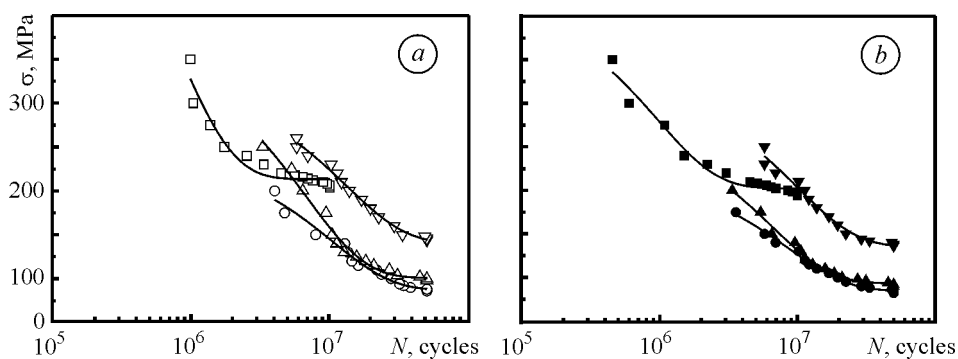


Рис. 1. Криві втоми сталей 20 (a) та Ст.3 (b) у повітрі (□, ■) та насичених розчинах нітрофоски (○, ●), сульфату амонію (△, ▲), а також гною (▽, ▼).

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.

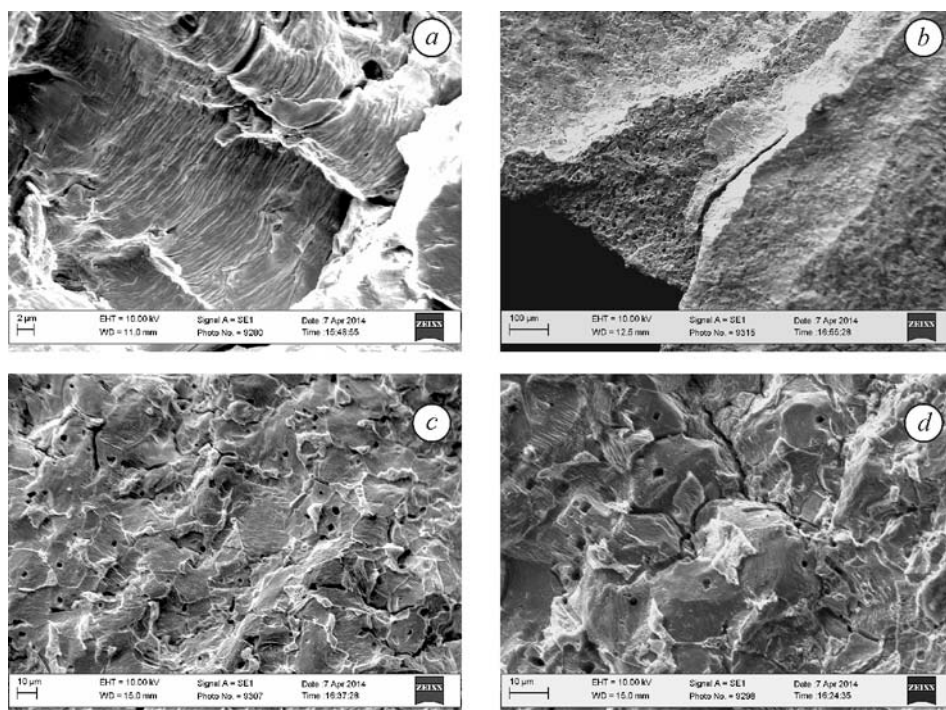


Рис. 2. Поверхні втомного руйнування сталі Ст.3 у повітрі (а) та у розчині нітрофоски (b–d).

Fig. 2. Fatigue fracture surfaces of steel St.3 in air (a) and in nitrophoska 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 випробів 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 кризьзеренне 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*