

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

З. Т. НАЗАРЧУК (головний редактор), Г. М. НИКИФОРЧИН (заст. головного редактора), Р. Р. КОКОТ (відповідальний секретар), О. Є. АНДРЕЙКІВ, Р. Є. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, І. М. ДМИТРАХ, З. А. ДУРЯГІНА, І. Ю. ЗАВАЛІЙ, О. І. ЗВІРКО, І. М. ЗІНЬ, Р. М. КУШНІР, Д. Б. КУРИЛЯК, Л. М. ЛОБАНОВ, П. О. МАРУЩАК, О. П. ОСТАШ, І. М. ПОГРЕЛЮК, М. С. ПОЛУТРЕНКО, Т. О. ПРИХНА, М. П. САВРУК, М. Д. САХНЕНКО, А. М. СИРОТЮК, О. З. СТУДЕНТ, Г. Т. СУЛИМ, М. С. ХОМА, О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ, В. М. ФЕДІРКО, С. О. ФІРСТОВ, О. Т. ЦИРУЛЬНИК

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р. АКІД (Великобританія), Г. БОЛЗОН (Італія), М. ЕЛЬБОВДЖАІНІ (США–Канада), Е. ГДУТУС (Греція), В. КЕЙН (Індія), Ж. КОРЕЙЯ (Португалія), Т. ЛАГОДА (Польща), Г. ЛЕСЮК (Польща), П. МОРЕЙРА (Португалія), А. ПІХ (Німеччина), Г. ПЛЮВІНАЖ (Франція), Я. ПОКЛЮДА (Чехія), Г. ШМІТТ (Німеччина), А. СЕДМАК (Сербія), Х. ТОРІБІО (Іспанія), Л. ТОТ (Угорщина), П. ТРАМПУШ (Угорщина), В. ЯРТІСЬ (Норвегія)

EDITORIAL BOARD

Z. T. NAZARCHUK (Editor-in-Chief), H. M. NYKYFORCHYN (Deputy Editor-in-Chief), R. R. KOKOT (Secretary), O. Ye. ANDREIKIV, R. Ye. GLADYSHEVSKII, I. M. DMYTRAKH, Z. A. DURAGINA, I. Yu. ZAVALIY, O. I. ZVIRKO, I. M. ZIN, R. M. KUSHNIR, D. B. KURYLIAK, L. M. LOBANOV, P. O. MARUSCHAK, O. P. OSTASH, I. M. POHRELYUK, M. S. POLUTRENKO, T. O. PRIKHNA, M. P. SAVRUK, M. D. SAKHNENKO, A. M. SYROTYUK, O. Z. STUDENT, H. T. SULYM, M. S. KHOMA, O. E. CHYHYRYNETS, V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRULNYK

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

R. AKID (Great Britain), G. BOLZON (Italy), M. ELBOUJDAINI (USA–Canada), E. GDOUTOS (Greece), V. KAIN (India), J. CORREIA (Portugal), T. LAGODA (Poland), G. LESIUK (Poland), P. MOREIRA (Portugal), A. PICH (Germany), G. PLUVINAGE (France), J. POKLUDA (Czech Republic), G. SCHMITT (Germany), A. SEDMAK (Serbia), J. TORIBIO (Spain), L. TÓHT (Hungary), P. TRAMPUSH (Hungary), V. YARTYS (Norway)

Ідентифікатор друкованого медіа в Реєстрі – R30-03732

Відповідальний за випуск д-р техн. наук, проф. Г. М. Никифорчин

Responsible for issue Dr. (Eng.), Prof. H. M. Nykyforchyn

Прийняття до друку статей та коротких викладів здійснюється
на підставі незалежного анонімного рецензування

Передплатний індекс 22574

Адреса редакції: 79060, Львів, 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: journal.pcm@gmail.com

WWW-address: <http://pcmm.ipm.lviv.ua>

Editorial office address: Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St.,
Lviv 79060, Ukraine. Tel.: (38) 032 263-73-74,
(38) 032 229-62-30. Fax: (38) 032 264-94-27.
E-mail: journal.pcm@gmail.com

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 Л. Г. Колчак, Г. М. Кулик

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,
“ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ”, 2024

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 60, № 4, 2024

липень – серпень

УДК 62:[544+539](051)

ЗМІСТ

- Станкевич О. М., Ребот Д. П.* Методи штучного інтелекту для акустико-емісійного діагностування стадій руйнування (Огляд).
Ч. 2: Штучні нейронні мережі та глибоке навчання.....5

На основі аналізу найновіших досліджень розглянуто можливості використання штучних нейронних мереж та методів глибокого навчання для автоматизації опрацювання сигналів акустичної емісії (АЕ), щоб ідентифікувати стадії руйнування. Порівняно точність результатів для різних підходів та виокремлено їх переваги та недоліки. Перспективним є впровадження у практику АЕ діагностування методів глибокого навчання.

Ключові слова: акустична емісія, штучна нейронна мережа, глибоке навчання, згорткова нейронна мережа, рекурентна нейронна мережа, ідентифікація дефектів.

- Андрейків О. С., Долінська І. Я., Любчак М. О.* Комплексне застосування методу акустичної емісії та енергетичного підходу для визначення залишкового ресурсу елемента конструкції за дії тривалого статичного навантаження, корозії і деградації матеріалу.....16

Побудовано комплексний метод застосування акустичної емісії (АЕ) та енергетичного підходу для визначення залишкового ресурсу тонкостінних елементів конструкцій за дії тривалого статичного навантаження, корозивного середовища і експлуатаційної деградації матеріалів. В основу покладено перший закон термодинаміки для балансу енергетичних складників і роботи зовнішніх сил, а також баланс швидкостей їх зміни для елементарного стрибка просування тріщини. Прийнято гіпотезу лінійної залежності розміру площі активної тріщини від кількості виділених при цьому імпульсів АЕ. Зміну в часі параметрів експлуатаційної деградації матеріалу математично змодельовано лінійними залежностями. Задачу про визначення залишкового ресурсу тонкостінного елемента конструкції розв'язано за допомогою енергетичного підходу і зведено до диференціального рівняння з початковою і кінцевою умовами. В отриманій математичній задачі невідомі два параметри – розмір початкової плоскої тріщини і навантаженість матеріалу біля неї, які визначено так. Приладом АЕ впродовж заданого часу (150 h) зафіксовано кількість імпульсів АЕ і швидкість їх рахунку, які підставлено у формули для визначення площі початкової тріщини і параметра

<i>Герцик О. М., Єзерська О. А., Носенко В. К., Гавриляк Н. М., Пандяк Н. Л.</i> Електрохімічні параметри кобальтових аморфних сплавів у агресивних середовищах різної природи.....	108
---	-----

Різними електрохімічними методами досліджено корозійну тривкість контактної та зовнішньої поверхонь стрічок аморфних металевих сплавів на основі кобальту $Co_{72,0}Fe_{5,0}Si_{11,0}B_{12,0}$, $Co_{73,2}Fe_{4,3}Mn_{0,5}Si_{5,3}B_{16,7}$, $Co_{73,3}(Fe, Ni, Mo, Mn)_{5,7}(Si_{0,2}B_{0,8})_{21}$ у водних розчинах HCl, NaCl та NaOH. Встановлено найнижчу корозійну тривкість сплаву $Co_{72,0}Fe_{5,0}Si_{11,0}B_{12,0}$ у всіх досліджуваних агресивних середовищах. Часткова заміна Co та Fe на Mn, а також Ni, Mo децю її підвищує внаслідок формування щільних оксидних шарів на поверхні.

Ключові слова: кобальтові аморфні сплави, корозійна тривкість, електрохімічні характеристики.

<i>Кирилів В. І., Максимів О. В., Звірко О. І., Ціж Б. Р., Кирилів Я. Б.</i> Корозійно-втомна витривалість сталі 45 після поверхневого наноструктурування механоімпульсною обробкою в різних середовищах.....	115
---	-----

Досліджено вплив технологічного середовища (ТС) під час формування нанокристалічної структури (НКС) на нормалізованій вуглецевій сталі 45 механоімпульсною обробкою (МІО) на параметри НКС та опір втомному та корозійно-втомному руйнуванню у 3%-му розчині NaCl. На зразках отримано поверхневий шар з феритно-аустенітною НКС та розміром зерна фериту 14 і 23 nm після МІО в мінеральній оливі та повітрі, відповідно. Встановлено, що втомна витривалість сталі з НКС суттєво вища, ніж без поверхнево обробленого шару, та практично не залежить від типу ТС під час МІО. Найвищим опором корозійній втомі володіє сталь з поверхневою НКС, сформованою МІО в оливі. Отримані результати проаналізовано з урахуванням характеристик НКС, мікротвердості зміцненого шару, розподілу в ньому залишкових напружень та хімічних елементів (H, N, C та O).

Ключові слова: нанокристалічна структура, середньовуглецева сталь, втома, корозійна втома, залишкові напруження.

<i>Кречковська Г. В., Федорович Я. Т., Копей Б. В., Михайлюк В. В.</i> Вплив позацентрового розтягу на корозійно-втомну витривалість насосних штанг.....	121
--	-----

Насосні штанги експлуатують у складних умовах, спричинених дією високих знако-змінних навантажень та корозивно-активних технологічних середовищ у свердловинах. Найжорсткіші умови навантаження насосних штанг пов'язують з позацентровим розтягом. Для прогнозування роботоздатності експлуатованих насосних штанг запропоновано імітаційно-розрахункове моделювання напружень, які виникатимуть у них за реальних експлуатаційних умов. Експериментально показано, що за позацентрового розтягу штанг їх втомна витривалість знижується, а втомні характеристики штанг зі сталей 20Н2М та 15Н3МА після 5 років експлуатації стають практично однакові.

Ключові слова: насосна штанга, напруження, напружено-деформований стан, втома, позацентровий розтяг.

<i>Тимусь М. Б., Зінь І. М., Корній С. А.</i> Інгібування корозії алюмінієвого сплаву в хлоридовмісному середовищі композицією на основі декстрину та натрію ізоаскорбату.....	129
--	-----

Методами електрохімічної імпедансної спектроскопії, електронної сканівної мікроскопії та енергодисперсійного рентгенівського аналізу досліджено інгі-

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 60, № 4, 2024

July – August

UDC 62:[544+539](051)

CONTENTS

- Stankevych O. M. and Rebot D. P.* Methods of artificial intelligence for acoustic emission diagnostics of fracture stages (A review).
P. 2: Artificial neural network and deep learning.....5

Based on the analysis of the latest studies, the possibilities of using artificial neural networks and deep learning algorithms for automating the processing of acoustic emission (AE) signals to identify fracture stages are considered. The accuracy of the results for different approaches is compared and their advantages and disadvantages are highlighted. Deep learning methods have broad prospects for implementation in practice of AE diagnostics.

Keywords: *acoustic emission, artificial neural network, deep learning, convolution neural network, recurrent neural network, identification of defects.*

- Andreikiv O. Ye., Dolinska I. Ya., and Liubchak M. O.* Complex application of the method of acoustic emission and energy approach to determine the residual life of a structure under effect of long-term static load, corrosion and material degradation.....16

A comprehensive method of applying acoustic emission (AE) and the previously developed energy approach to determine the residual lifetime of thin-walled structural elements under conditions of long-term static load, corrosive environment effect and operational degradation of materials is developed. The method is based on the first law of thermodynamics of the balance of energy components and the work of external forces, as well as their rates of change for an elementary jump of crack propagation. The hypothesis of a linear relationship between the size of the area of the active crack and the number of acoustic emission pulses released at the same time is assumed. The change in the characteristics of the oil and gas pipeline material during its operational degradation is mathematically modeled by a linear dependence on time. The above-formulated problem of determining the residual lifetime of a thin-walled structural element was solved using the energy approach and reduced to a differential equation with initial and final conditions. In the mathematical problem obtained in this way, two parameters are unknown: the size of the initial plane crack and the loading parameter of the material near it. These parameters were determined as follows. With the help of the AE device, during the given time (150 hours), the number of AE pulses and the rate of their counting were recorded. These values were introduced into the established formulas for determining, the area of the initial crack and the parameter of

Keywords: *cobalt amorphous alloys, corrosion resistance, electrochemical characteristics.*

- Kyryliv V. I., Maksymiv O. V., Zvirko O. I., Tsizh B. R., and Kyryliv Ya. B. Corrosion fatigue endurance of steel 45 after surface nanostructuring by mechanical pulse treatment in different environments..... 115

The influence of the technological environment (TE) during the formation of a nanocrystalline structure (NCS) on the normalized carbon steel 45 by mechanical pulse treatment (MPT) on the parameters of the NCS and resistance to multicycle fatigue and corrosion-fatigue failure in a 3% NaCl aqueous solution was investigated. On the specimens, a surface layer with a ferritic-austenitic NCS and a ferrite grain size of 14 and 23 nm was obtained after MPT in mineral oil and air, respectively. It was established that the fatigue endurance of steel with NCS is significantly higher than that without a surface treated layer, and practically does not depend on the type of applied TE during MPT. The highest resistance to corrosion fatigue is characterized by steel with a surface NCS formed by MPT in oil. The obtained results were analyzed taking into account the NCS characteristics, the microhardness of the strengthened layer, the distribution of residual stresses and chemical elements (H, N, C and O).

Keywords: *nanocrystalline structure, medium carbon steel, fatigue, corrosion fatigue, residual stresses.*

- Krechkovska H. V., Fedorovych Ya. T., Kopei B. V., and Mykhailiuk V. V. The effect of eccentric tension on the corrosion-fatigue resistance of pump rods..... 121

Complex operating conditions of sucker rods in wells are caused by the action of high alternate loads and corrosive-active technological environments. The most severe load conditions of sucker rods are associated with eccentric tension. In order to predict the performance of operated sucker rods, simulation and calculation modeling of the stresses which will occur in them under real operating conditions is proposed. It is experimentally demonstrate that under eccentric tension of rods, their fatigue life decreases, and the fatigue characteristics of rods made of 20H2M and 15H3MA steels become practically the same after their 5 years of operation.

Keywords: *sucker rod, stress, stress-strain state, fatigue, eccentric tension.*

- Tymus M. B., Zin I. M., and Korniy S. A. Corrosion inhibition of an aluminum alloy in a chloride-containing environment by a composition based on dextrin and sodium isoascorbate..... 129

Using the methods of electrochemical impedance spectroscopy, scanning electron microscopy, and energy dispersive X-ray analysis, the corrosion inhibition of aluminum alloy in a neutral chloride-containing environment with a composition containing equal weight amounts of dextrin and sodium isoascorbate was investigated. An approximately 20-time increase in the charge transfer resistance of the aluminum alloy due to the protective effect of the inhibitory composition at its optimal concentration was established. A dense adsorption organic film was found on the surface of the metal in the inhibited solution. The degree of metal corrosion protection by the dextrin-isoascorbate composition exceeds 90%. The practical effect of the research is the possibility of obtaining an environment friendly inhibitory composition based on renewable plant materials for corrosion protection of aluminum alloy constructions.

Keywords: *dextrin, sodium isoascorbate, corrosion inhibition, aluminium alloy, electrochemical impedance spectroscopy, energy dispersive X-ray analysis, degree of protection.*