

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р. АКІД (Великобританія), *С. ВОДЕНІЧАРОВ* (Болгарія), *І.-Р. ГАРРІС* (Великобританія), *Г. ГЛІНКА* (Канада), *В. ДІЦЕЛЬ* (Німеччина), *О. М. ЛОКОЩЕНКО* (Росія), *Е. ЛУНАРСЬКА* (Польща), *М. А. МАХУТОВ* (Росія), *М. Ф. МОРОЗОВ* (Росія), *А. НЕЙМІЦ* (Польща), *Дж.-Ф. НОТТ* (Великобританія), *Г. ПЛЮВІНАЖ* (Франція), *Я. ПОКЛЮДА* (Чехія), *Р.-О. РІЧІ* (США), *Д.-М.-Р. ТЕПЛИН* (Великобританія), *Л. ТОТ* (Угорщина), *Є. ТОРІБІО* (Іспанія)

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*, *R. Ye. GLADYSHEVSKII*, *M. S. KHOMA*, *H. S. KIT*, *R. M. KUSHNIR*, *L. M. LOBANOV*, *Z. T. NAZARCHUK*, *H. M. NYKYFORCHYN*, *I. V. ORYNIAC*, *O. P. OSTASH*, *V. I. POKHMURSKII*, *O. V. RESHETNYAK*, *M. P. SAVRUK*, *Z. A. STOTSKO*, *O. V. SUBERLYAK*, *H. T. SULYM*, *L. O. VASYLECHKO*, *P. V. YASNII*, *I. Yu. ZAVALIY*, *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), *A. M. LOKOSHCHENKO* (Russia), *E. LUNARSKA* (Poland), *N. A. MAKHUTOV* (Russia), *N. F. MOROZOV* (Russia), *A. NEIMITZ* (Poland), *G. PLUVINAGE* (France), *Ya. POKLUDA* (Czech Republic), *R. O. RITCHIE* (USA), *D. M. R. TAPLIN* (Great Britain), *J. TORIBIO* (Spain), *L. TÓTH* (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.: (38) 032 263-73-74,
(38) 032 229-62-30. Fax: (38) 032 264-94-27.
E-mail: pcmm@ipm.lviv.ua

Відповідальний секретар редакції **Р. Р. Кокот**

Редактори *Д. С. Бриняк*, *О. Т. Досин*, *Л. Є. Слейко*

Технічний редактор *І. В. Калинюк*

Зав. групою комп'ютерної підготовки видання *І. В. Калинюк*

Комп'ютерний набір *Л. Г. Копчак*, *Г. М. Кулик*

Підписано до друку 14.09.2017. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 180917 від 18.09.2017. Ціна договірна.
Реєстраційне свідоцтво серія КВ №203 від 10.11.93

Друкарня ТзОВ "Простір-М", 79000, Львів, вул. Чайковського, 8

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2017

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ



ТОМ 53, № 4, 2017

липень - серпень

ЗМІСТ

Скальський В. Р., Назарчук З. Т., Долінська І. Я., Ярема Р. Я., Селівончик Т. В.

Акустико-емісійне діагностування корозійних пошкоджень матеріалів
(Огляд). Ч. 2. Корозійне розтріскування металів.

Прикладні аспекти застосування методу 7

РЕЗЮМЕ. Проаналізовано результати досліджень акустико-емісійного (АЕ) діагностування корозійних пошкоджень матеріалів. Встановлено взаємозв'язок між сумарним рахунком, енергією, амплітудою акустичного випромінювання і корозійним розтріскуванням сталей та металевих сплавів. Наведено приклади застосування методу АЕ для виявлення корозійних пошкоджень низки промислових об'єктів.

РЕЗЮМЕ. Проанализированы результаты исследований акустико-эмиссионного (АЭ) диагностирования коррозионных повреждений материалов. Установлена взаимосвязь между суммарным счетом, энергией, амплитудой акустического излучения и коррозионным растрескиванием сталей и металлических сплавов. Приведены примеры применения метода АЭ для выявления коррозионных повреждений ряда промышленных объектов.

SUMMARY. The results of acoustic-emission (AE) diagnostics of corrosion damage of materials have been analyzed. The relationship between the total count, energy, amplitude of acoustic radiation and corrosion cracking of steels and metal alloys was established. Examples of applying the AE method to detect corrosion damage of a number of specific industrial facilities have been considered.

Демченко В. Л. Особливості структурної організації та термомеханічні

властивості нанокompозитів пектин- Ag^0 -П4ВП, сформованих

під дією постійного магнетного поля 20

РЕЗЮМЕ. За допомогою комплексу структурних методів і термомеханічного аналізу досліджено вплив постійного магнетного поля на особливості структури та термомеханічні властивості нанокompозитів пектин- Ag^0 -П4ВП. Методами рентгено-структурного аналізу встановлено, що під час хімічного відновлення катіонів Ag^+ у поліелектроліт-металічних комплексах під дією постійного магнетного поля утворюється нанокompозит на основі поліелектролітного комплексу пектин-П4ВП і наночастинок Ag^0 , але з більшим вмістом металічного срібла, ніж за відсутності поля. Виявлено, що під дією поля виникають срібловмісні нанокompозити зі значно вищими значеннями температури склування та нижчими температури переходу у в'язкотекучий стан, а також схильніші до відносної деформації.

РЕЗЮМЕ. С помощью комплекса структурных методов и термомеханического анализа исследовано влияние постоянного магнитного поля на особенности структурной организации и термомеханические свойства нанокомпозитов пектин–Ag⁰–П4ВП. Методами рентгеноструктурного анализа установлено, что во время химического восстановления катионов Ag⁺ в полиэлектролит-металлических комплексах под действием постоянного магнитного поля образуется нанокомпозит на основе полиэлектролитного комплекса пектин–П4ВП и наночастиц Ag⁰, но с большим содержанием металлического серебра, чем при формировании в отсутствие поля. Выявлено, что под его воздействием возникают серебросодержащие нанокомпозиты с существенно более высокими значениями температуры стеклования и более низкими температуры перехода в вязкотекучее состояние, а также более склонны к относительной деформации.

SUMMARY. Using methods of WAXS and SAXS as well as thermomechanical analysis the effect of constant magnetic field on the structure and thermomechanical properties of nanocomposites pectin–Ag⁰–P4VP have been investigated. The X-ray analysis methods showed that the chemical reduction of Ag⁺ cations in the polyelectrolyte-metal complexes under constant magnetic field form a nanocomposite based on polyelectrolyte complex pectin–P4VP and metallic silver nanoparticles Ag⁰, but with higher content of metallic silver comparing to the formation without the magnetic field effect. The method of thermomechanical analysis shows that under the effect of a constant magnetic field silver filled nanocomposites are formed with significantly higher value of the glass-transition temperature and lower value of viscous state transition temperature, and also with higher ability to the relative deformation.

Лабур Т. М., Остап О. П., Головатюк Ю. В., Коваль В. А., Шинкаренко В. С.

Вплив легування і термообробки на міцність і циклічну тріщиностійкість зварних з'єднань сплаву системи Al–Cu–Mg. Ч. 2..... 28

РЕЗЮМЕ. Досліджено зварні з'єднання відпалених листів завтовшки 6 mm з алюмінієвого сплаву Д16М (Al–Cu–Mg), аналога закордонного сплаву 2024, який сьогодні відносять до важкозварюваних. З'єднання отримано плавким електродом імпульсно-дуговим методом з використанням присадкового дроту Зв1201 (Al–6,3Cu–0,3Mn) і технологічних вставок зі сплавів 7056 (Al–9,5Zn–1,8Mg–1,6Cu), В96 (Al–8,5Zn–2,6Mg–2,3Cu) і В92 (Al–3,5Zn–4,2Mg–0,5Cu). Вивчено закономірності зміни мікроструктури, твердості, міцності і циклічної тріщиностійкості з'єднань після зварювання, а також за подальшого штучного старіння або гартування і старіння після зварювання. Встановлено, що міцність термооброблених зварних з'єднань складає не більше 68% міцності основного металу і сумірна з нею в стані після зварювання.

РЕЗЮМЕ. Исследованы сварные соединения отожженных листов толщиной 6 mm из алюминиевого сплава Д16М (Al–Cu–Mg) – аналога зарубежного сплава 2024, который в настоящее время относят к трудносвариваемым. Соединения получены плавящимся электродом импульсно-дуговым методом с применением присадочной проволоки Зв1201 (Al–6,3Cu–0,3Mn) и технологических вставок из сплавов 7056 (Al–9,5Zn–1,8Mg–1,6Cu), В96 (Al–8,5Zn–2,6Mg–2,3Cu) и В92 (Al–3,5Zn–4,2Mg–0,5Cu). Изучены закономерности изменения микроструктуры, твердости, прочности и циклической трещиностойкости соединений после сварки, а также последующего искусственного старения или закалки и старения после сварки. Установлено, что их прочность после термообработки составляет не более 68% прочности основного металла и соизмерима с ней в состоянии после сварки.

SUMMARY. Welded joints of 6 mm thick annealed sheets of Д16М aluminium alloy (Al–Cu–Mg), analogue of 2024 alloy, which is currently known as the alloy with low weldability, are investigated. The joints are obtained by pulsed-arc method using filler wire Зв1201 (Al–6.3Cu–0.3Mn) and technological inserts from 7056 (Al–9.5Zn–1.8Mg–1.6Cu), В96 (Al–8.5Zn–2.6Mg–2.3Cu) and В92 (Al–3.5Zn–4.2Mg–0.5Cu) alloys. Changes in microstructure, hardness, strength and fatigue crack growth resistance of the joints after

welding, artificial aging or quenching and artificial aging after welding are investigated. It is established that the strength of the welded joints after heat treatment is not more than 68% of the base metal strength and is equal to it in the as-welded state.

Студент О. З., Кречковська Г. В., Палаирук Т. Є., Гладкий Я. М. Вплив тривалої експлуатації сталі 12Х1МФ гинів головних парогонів ТЕС на її механічні властивості 34

РЕЗЮМЕ. Досліджено сталь 12Х1МФ з двох гинів головних парогонів ТЕС. Встановлено, що їх пошкодження відбувалося за механізмом міжзеренного руйнування внаслідок повзучості. В одному з них, незважаючи на відповідність металу усіх зон гину вимогам до хімічного складу, твердості та характеристик міцності за розтягу, в розтягненій зоні виявлено наскрізні осьові тріщини. Водночас, попри нижчу за регламентовану міцність металу практично всіх зон іншого гину, у його розтягненій зоні зафіксували лише неглибоку (до 8 mm) осьову тріщину. Проте ударна в'язкість металу розтягнутої зони обох гинів нижча за регламентоване значення (одного гину – майже втричі, а іншого – вдвічі). Наднизький для такого класу сталей опір крихкому руйнуванню вважали за ознаку досягнення металом обох гинів критичного технічного стану.

РЕЗЮМЕ. Исследована сталь 12Х1МФ двух изгибов главных паропроводов ТЭС. Установлено, что они повреждены вследствие ползучести металла с реализацией межзеренного разрушения. Несмотря на соответствие металла всех зон (растянутой, нейтральной и сжатой) одного из изгибов требованиям к химическому составу, твердости и прочностным характеристикам при растяжении, в его растянутой зоне обнаружили сквозные осевые трещины. При этом в растянутой зоне другого изгиба обнаружили лишь неглубокую (до 8 mm) осевую трещину (причем, несмотря на то, что прочность металла практически всех его зон ниже регламентированного значения). Однако ударная вязкость металла растянутой зоны обоих изгибов ниже регламентированной (первого изгиба – почти втрое, а второго – вдвое). Сверхнизкое для такого класса сталей сопротивление хрупкому разрушению считали признаком критического технического состояния металла обоих изгибов.

SUMMARY. The 12Х1МФ steel of two bends of the main steam pipelines of TPP was investigated. It is established that they are damaged due to metal creep with intergranular fracture. In one of them, despite of the correspondence of the metal of all the bending zones to the requirements for the chemical composition, hardness and tensile strength characteristics, through axial cracks were found in its tension zone. In this case, despite the fact that the strength of the metal of almost all zones of the other bend is below the regulated value, only a shallow (up to 8 mm) axial crack was detected in its tension zone. However, the impact toughness of the metal of the tension zone of both bends was lower than the regulated value (for the first bend these values were almost three times and for the second one – twice lower). The resistance to brittle fracture, which was extremely low for such class of steels, was considered as a sign of achievement by the both bends metal of the critical technical state.

Каплун П. В., Диха О. В., Гончар В. А. Контактна витривалість сталі 40Х у різних середовищах після іонного азотування та нітрогартування 42

РЕЗЮМЕ. Наведено результати порівняльних експериментальних досліджень контактної витривалості сталі 40Х під час тертя кочення з точковим та лінійним контактами в різних середовищах після зміцнення поверхні іонним азотуванням та нітрогартуванням у безводневому насичувальному середовищі.

РЕЗЮМЕ. Приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований контактной выносливости стали 40Х при трении качения с точечным и линейным контактами в различных средах после упрочнения поверхности ионным азотированием и нитрозакалкой в безводородной насыщающей среде.

SUMMARY. The results of comparative experimental researches on contact endurance of grade 40X steel under rolling friction with pinpoint and linear contacts in multiple media after surface strengthening with ion nitriding and nitroquenching in hydrogen-free saturated media were presented.

Малишев В. В., Шахнін Д. Б., Габ А. І. Властивості гальванічних танталових покривів, одержаних з хлоридно-фторидних розплавів 48

РЕЗЮМЕ. Досліджено нанесення танталових покривів на мідь і сталь. Вивчено вплив різних параметрів і умов електролізу (складу фторидного електроліту, температури, густини струму, кількості пропущеного струму) на характер електрокристалізації покриву та якість його поверхні: шорсткість, ступінь дендритоутворення, вихід за струмом, а також на можливість осадження багатосарових покривів і виготовлення деяких танталових виробів методом гальванопластики. Для порівняння характеристик танталових покривів паралельно виконано дослідження в зіставлених умовах у відомій хлоридно-фторидній сольовій системі, що містить K_2TaF_7 .

РЕЗЮМЕ. Исследовано нанесение танталовых покрытий на медь и сталь. Изучено влияние различных параметров и условий электролиза (состав фторидного электролита, температуры, плотности тока, количества пропущенного тока) на характер электрокристаллизации покрытия и качество его поверхности: шероховатость, степень дендритообразования, выход по току, а также на возможность осаждения многослойных покрытий и изготовление некоторых танталовых изделий методом гальванопластики. Для сравнения характеристик танталовых покрытий параллельно выполнено исследование в сопоставляемых условиях в известной хлоридно-фторидной солевой системе, содержащей K_2TaF_7 .

SUMMARY. The electrodeposition of tantalum coatings on copper and steel are investigated. Influence of fluoride electrolyte composition and electrolysis conditions (temperatures, current density, amount of the passed current) on the character of coating electrocrystallization and its quality: roughness of the surface, degree of dendrite formation, output by a current is studied. Also their influence on the possibility of multilayer coating deposition and manufacturing of tantalum items by galvanoplastics is studied. To compare the tantalum coatings characteristics parallel investigations in comparing conditions of known chloride-fluoride salt system containing K_2TaF_7 are made.

Ghazvinloo H. R., Honarbakhsh-Raouf A., Kiani-Rashid A. R. Механічні властивості сталей з високим вмістом Si та Mn, термооброблених двоступінчастим гартуванням та фрагментуванням 54

РЕЗЮМЕ. Високоміцні сталі з підвищеною в'язкістю можна виготовляти гартуванням та фрагментуванням (Q&P). Їх можна вважати третім поколінням матеріалів для використання в автомобільній промисловості. Акцентовано увагу на оцінці механічних властивостей низьколегованої сталі з високим вмістом Si та Mn під час двоступінчастого процесу Q&P. Для цього використано цикли з різним часом фрагментування (від 10 до 1000 s), а також вивчено та проаналізовано міцність та відносне видовження. Виявлено, що високі значення границі міцності, відносного видовження та добутку міцності і видовження, які становлять відповідно 850 МПа, 15,46% і 11,45 GPa%, можна отримати на зразках, оброблених Q&P.

РЕЗЮМЕ. Высокопрочные стали с повышенной вязкостью можно изготавливать закалкой и фрагментированием (Q&P). Их можно считать третьим поколением материалов для использования в автомобильной промышленности. Акцентируется внимание на оценке механических свойств низколегированной стали с высоким содержанием Si и Mn при двухступенчатом Q&P. Для этого использованы циклы с разным временем фрагментирования (от 10 до 1000 s), а также определены и проанализированы прочность и относительное удлинение. Выявлено, что высокие значения предела прочности, относительного удлинения и произведения прочности и удли-

нення, которые составляют соответственно 850 МПа, 15,46% и 11,45 GPa%, можно получить на образцах, обработанных Q&P.

SUMMARY. Steels with high strength and good ductility can be produced using the quenching and partitioning (Q&P) process. These materials can be used as the third generation of advanced high-strength steels in automotive industry due to their high toughness and energy absorption capacity. Due to its high importance, the present study was focused on the evaluation of mechanical properties of a high Si and Mn low-alloy steel during the application of two-step Q&P process. For this aim, the cycles with different partitioning times from 10 to 1000 s were applied and the mechanical properties in terms of strength and elongation were measured and discussed. The final results of this work showed that the considerable UTS, elongation and products of strength and elongation such as 850 МПа, 15.46% and 11.45 GPa% can be provided in samples treated via the Q&P process.

Кунтий О. І., Зозуля Г. І., Добровецька О. Я., Корній С. А., Решетняк О. В.

Осадження міді, срібла та нікелю на алюміній гальванічним заміщенням 60

РЕЗЮМЕ. Наведено результати дослідження гальванічного заміщення міді, срібла та нікелю на поверхні алюмінію в розчинах комплексів: міді з пірофосфатного $[\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]^{6-}$; нікелю з аміакатного $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$; срібла з аміакатного $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ та тиокарбамідного $[\text{Ag}(\text{SC}(\text{NH}_2)_2)_2]^+$. Показано, що основними чинниками впливу на морфологію осадів і геометрію частинок металу є концентрація комплексних іонів, їх тривкість і тривалість гальванічного заміщення. Встановлено, що зі зниженням концентрації комплексів у розчині, підвищенням їх тривкості та зменшенням тривалості процесу зменшується розмір частинок відновлювального металу від $\approx 1 \mu\text{m}$ до $\sim 300\text{...}70 \text{ nm}$.

РЕЗЮМЕ. Наведены результаты исследования гальванического замещения меди, серебра и никеля на поверхности алюминия в растворах комплексов: меди из пирофосфатного $[\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]^{6-}$; никеля из аммиакатного $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$; серебра из аммиакатного $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ и тиокарбамидного $[\text{Ag}(\text{SC}(\text{NH}_2)_2)_2]^+$. Показано, что основными факторами влияния на морфологию осадков и геометрию частиц металла являются концентрация комплексных ионов, их стойкость и длительность гальванического замещения. Установлено, что с понижением концентрации комплексов в растворе, повышением их стойкости и понижением длительности процесса уменьшается размер частиц восстанавливаемого металла от $\approx 1 \mu\text{m}$ до $\sim 300\text{...}70 \text{ nm}$.

SUMMARY. The results of the research of the galvanic replacement of copper, silver and nickel on the aluminum surface in solutions of complexes: copper from pyrophosphate $[\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]^{6-}$; nickel from ammonia $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$; silver from ammonia $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ and thiocarbamide $[\text{Ag}(\text{SC}(\text{NH}_2)_2)_2]^+$ are presented. The main factors of the influence on the morphology of sediment and the geometry of metal particles are the concentration of complex ions, stability of complexes and duration of galvanic replacement was shown. With decreasing concentration of the complexes in the solution, increasing the stability of the complexes and reducing the duration of the process, the tendency to reduction of the size of the particles of the reducing metal from $\approx 1 \mu\text{m}$ to $\sim 300\text{...}70 \text{ nm}$ has been established.

Широков В. В., Широков О. В. Вплив тривалого старіння під навантаженням

на фізико-механічні властивості ванадію 66

РЕЗЮМЕ. Наведено результати комплексних високотемпературних випроб ванадію технічної чистоти. Встановлено, що йому притаманна висока стабільність фізико-механічних властивостей і структури після експозицій у безолівному вакуумі при 1073 К упродовж 1000 h і напругах статичного навантаження до 75% від границі тривалої міцності.

РЕЗЮМЕ. Приведены результаты комплексных высокотемпературных испыта-

ний ванадия технической чистоты. Установлено, что ему присуща высокая стабильность физико-механических свойств и структуры после выдержек в безмасляном вакууме при 1073 К в течение 1000 h и напряжениях статической нагрузки до 75% от границы длительной прочности.

SUMMARY. The results of complex high-temperature tests of vanadium (technical cleanliness) are presented. High stability of physicomachanical properties and structures after holding in vacuum at 1073 K during 1000 h at a pressure up to 75% depending on long-term durability has been established.

Скобло Т. С., Сідашенко О. І., Сатановський Є. А., Олійник О. К., Мальцев Т. В.

Особливості зношування оливознімних поршневих кілець
з покритвом олова під час стендових випроб на тертя і знос..... 71

РЕЗЮМЕ. Оцінено зношування серійних оливознімних поршневих кілець тепловозного дизель-генератора Д100 на зворотно-поступальній машині тертя, що моделює умови експлуатації. Визначено ступінь їх зносу як за вагою, так і збільшенням робочої поверхні кільця за різних швидкостей ковзання. Оцінено зміну їх мікротвердості до і після випробувань. Локальним мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено характер зміни структури поверхні тертя за різних параметрів випроб. Виявлено, що припрацювальний покритв оловом відсутній на робочих кромках кілець, де формуються характерні смуги тертя з проявом сітки графіту основи. Проаналізовано особливості структуризації похилої поверхні в місці її примикання до робочої кромки. Для підвищення тривкості таких кілець під час експлуатації рекомендовано наносити іонно-плазмові нанопокритви з додатковим контролем якості та забезпечити зняття залишкових напружень.

РЕЗЮМЕ. Оценен износ серийных маслоъемных поршневых колец тепловозного дизель-генератора Д100 на возвратно-поступательной машине трения, моделирующей условия эксплуатации. Определена степень их изнашивания по весу и увеличению рабочего пояса кольца при различных скоростях скольжения. Проанализировано изменение их микротвердости до и после испытаний. Локальным микрорентгеноспектральным анализом установлен характер изменения структуры поверхности трения при различных параметрах испытаний. Выявлено, что приработочное покрытие оловом отсутствует на рабочих кромках колец, где формируются характерные полосы трения с проявлением сетки графита основы. Установлена особенность структуризации наклонной поверхности в области ее примыкания к рабочему пояску. Для повышения стойкости таких колец при эксплуатации рекомендовано нанести ионно-плазменные нанопокртытия с дополнительным контролем качества и обеспечить снятие остаточных напряжений.

SUMMARY. Wear evaluation of batch oil scrapper piston rings of locomotive diesel engine Д100 by using machine of friction with reciprocating motion, simulating the operating conditions is evaluated. Degree of their wear by measuring the weight loss and friction surface length increase of the rings under different friction velocity is determined. Their microhardness changes before and after the wear test is evaluated. Character of the structure change under different test parameters of the friction surface is done by local X-ray spectral microanalysis. Absence the tin coating on the working surfaces of the rings, on which typical friction strips are formed with the appearance of the typical graphite grid of the base is shown. Peculiarities of the inclined surface structuring in the area of its joining the friction surface of the rings is shown. Applying ion-plasma nanocoatings with the additional steps of quality control and providing residual stresses relaxation, to improve the resistance in use of such rings, is recommended.

<i>Кирилів В. І., Чайковський Б. П., Максимів О. В., Шалько А. В.</i> Контактна втома сталей 20ХН3А та 55СМФА з поверхневим наноструктурним шаром у корозивно-абразивних середовищах.....	78
---	----

РЕЗЮМЕ. Вивчено контактну втому долотних сталей 20ХН3А та 55СМФА після хіміко-термічної та термічної обробки, шліфування, а також з поверхневою нанокристалічною структурою, сформованою механоімпульсною обробкою, у корозивних і корозивно-абразивних середовищах за робочих навантажень на деталі долота. Виявлено, що наноструктурування підвищує контактну довговічність порівняно зі шліфуванням у різних робочих середовищах. На сталях із поверхневим шаром з нанокристалічною структурою вплив інгібіторів менш ефективний, ніж термообробка, через підповерхневе зародження втомних тріщин.

РЕЗЮМЕ. Исследована контактная выносливость долотных сталей 20ХН3А и 55СМФА после термической обработки, шлифования, а также с поверхностной наноструктурой, сформированной механоимпульсной обработкой, в коррозионно-абразивных средах при рабочих контактных нагрузках на детали долота. Выявлено, что поверхностный слой с нанокристаллической структурой больше повышает контактную выносливость, нежели шлифование в различных рабочих средах. На сталях с поверхностной наноструктурой действие ингибиторов менее эффективно, чем термообработка, вследствие подповерхностного зарождения усталостных трещин.

SUMMARY. Contact fatigue of 20ХН3А and 55СМФА chisel steels after thermal treatment, grinding and with surface nanocrystalline structure induced by mechanical-pulse treatment was studied in corrosion and corrosion-abrasive media at the working loads on a chisel. It was shown that surface nanocrystalline structure increases contact fatigue compared with grinded surface in the different working media. The effect of inhibitors is less effective on the steels with surface nanocrystalline layer due to subsurface fatigue crack nucleation.

<i>Андрейків О. Є., Лусик А. Р., Штаюра Н. С., Бабій А. В.</i> Оцінювання залишкового ресурсу тонкостінних елементів конструкцій з короткими корозійно-втомними тріщинами.....	84
--	----

РЕЗЮМЕ. На основі енергетичного підходу розроблена розрахункова модель для визначення через питомі енергетичні складові періоду докритичного росту коротких корозійно-втомних тріщин у пружно-пластичних пластинах під дією довготривалих циклічних навантажень і корозивних середовищ. Результати порівняні з відомими літературними даними.

РЕЗЮМЕ. На основе энергетического подхода разработана расчетная модель для определения через удельные энергетические составляющие периода докритического роста коротких коррозионно-усталостных трещин в упруго-пластических пластинах под действием длительных циклических нагрузок и коррозионных сред. Результаты сопоставимы с известными литературными данными.

SUMMARY. Applying the energy approach the computational model to determine through a specific energy component period of subcritical corrosion-fatigue short cracks growth in elastic-plastic plates under long-term cyclic loads and corrosive environments was developed. The results were compared with the known data in literature.

<i>Lagoda T., Kulesa A., Kurek A., Koziarska J.</i> Співвідношення одноісного циклічного закруту та розтягу-стиску за низькоциклічної втоми	91
---	----

РЕЗЮМЕ. Порівняно характеристики втоми, зокрема коефіцієнти розтягу-стиску та циклічного кручення на основі досліджень за малоциклової втоми для різних матеріалів. Співвідношення коефіцієнтів втомної міцності за умов кручення та розтягу-стиску не залежить від відносного нахилу кривих пластичної деформації. На основі виконаних аналізів зроблено висновок, що відношення коефіцієнтів втомної

міцності за умов кручення та розтягу–стиску у більшості матеріалів ϵ в межах від 0,5 до $\frac{1}{1+\nu}$. Водночас співвідношення коефіцієнтів втомної міцності за умов кручення та розтягу–стиску суттєво залежить від умовного нахилу кривих втомної довговічності.

РЕЗЮМЕ. Сравнены характеристики усталости, в частности коэффициенты растяжения–сжатия и циклического кручения на основе исследований при малоцикло-вой усталости для различных материалов. Соотношение коэффициентов усталостной прочности в условиях кручения и растяжения–сжатия не зависит от относительного наклона кривых пластической деформации. На основе проведенных анализов сделан вывод, что отношение коэффициентов усталостной прочности в условиях кручения и растяжения–сжатия в большинстве материалов находится в пределах от 0,5 до $\frac{1}{1+\nu}$. В то же время соотношение коэффициентов усталостной прочности в условиях кру-чения и растяжения–сжатия существенно зависит от условного наклона кривых усталостной долговечности.

SUMMARY. Comparison of fatigue characteristics, in particular the coefficients of tension-compression and cyclic torsion based on available tests under low-cycle fatigue in various materials, were analyzed. The correlation of torsion and tension-compression fatigue strength coefficient does not depend on the relative slope of fatigue diagrams describing plastic strain. On the basis of performed analyses it was concluded that the ratio of the fatigue strength coefficients under tension-compression in most materials varies within the range from 0.5 to $\frac{1}{1+\nu}$. Whereas, the correlation of the strain-based fatigue coefficients in torsion and in tension-compression is strongly dependent on the relative slope of the plastic strain-based fatigue life curves.

Qin Fabing, Гембара О. В., Ченіль О. Я. Моделювання впливу водню на несучу здатність елементів енергетичного обладнання в умовах температурної повзучості 99

РЕЗЮМЕ. Виконано порівняльний аналіз результатів розрахунку довготривалої міцності за класичними рівняннями Качанова–Работнова та енергетичним підходом. Ці результати дають задовільну збіжність з експериментальними даними. Проте час до руйнування, отриманий за енергетичним підходом, має втричі меншу похибку.

РЕЗЮМЕ. Проведен сравнительный анализ результатов расчета длительной прочности по классическим уравнениям Качанова–Работнова и энергетическим подходом. Эти результаты дают удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными. Однако время до разрушения, рассчитанное энергетическим под-ходом, имеет меньшую в 3 раза погрешность.

SUMMARY. A comparative analysis of the results of calculating the long-term strength according to the classical Kachanov–Rabotnov equations and the energy approach is carried out. These results give satisfactory convergence with experimental data. However, the time to fracture, calculated by the energy approach gives 3 times less error.

Онисько О. Є. Моделювання фізико-механічної поведінки тіл, виготовлених зі сплавів з пам'яттю форми, за наявності електричного поля 107

РЕЗЮМЕ. Побудовано модель кількісного опису термомеханічної поведінки твердих тіл, виготовлених з матеріалів з пам'яттю форми, в області мартенситного перетворення (як прямого, так і оберненого) за силового і температурного наванта-жень з урахуванням дії електричного поля з допомогою методів механіки суцільного середовища та термодинаміки нерівноважних процесів. Записано систему рівнянь

стану. Одержано ключову систему рівнянь моделі. Сформульовано відповідні початкові та граничні умови.

РЕЗЮМЕ. Построена модель количественного описания термомеханического поведения твердых тел, изготовленных из материалов с памятью формы, в области мартенситного превращения при силовом и температурном нагружении с учетом воздействия электрического поля, с использованием методов механики сплошной среды и термодинамики неравновесных процессов. Записана система уравнений состояния. Получена ключевая система уравнений модели. Сформулированы соответствующие начальные и граничные условия.

SUMMARY. The model for quantitative description of the thermomechanical behavior of shape memory solids in the martensitic conversion area under power and thermal loading with account of the electric field influence, built using methods of the continuum mechanics and thermodynamics of nonequilibrium processes, is proposed. The state equations system is written. The key system of the model equations is received. The corresponding initial and boundary conditions are formulated.

Коноваленко І. В., Марущак П. О. Використання властивостей нечітких множин для комп'ютерного аналізу форми та розмірів ямок відриву 112

РЕЗЮМЕ. Запропоновано автоматизований метод аналізу форми та розмірів ямок в'язкого відриву, утворених під час руйнування титанового сплаву ВТ23. Метод можна використовувати у системах технічної діагностики. Розроблено підходи до аналізу зображень поверхонь руйнування, одержаних на сканівному мікроскопі. Запропонований метод дає змогу виділяти складові частини досліджуваних об'єктів, здійснювати їх морфологічний аналіз, а також оцінювати їхній взаємозв'язок.

РЕЗЮМЕ. Предложен автоматизированный метод анализа формы и размеров ямок вязкого отрыва, образованных при разрушении титанового сплава ВТ23. Метод можно использовать в системах технической диагностики. Разработаны подходы к анализу изображений поверхностей разрушения, полученных на сканирующем микроскопе. Предложенный метод позволяет выделять составные части исследуемых объектов, осуществлять их морфологический анализ, а также оценивать их взаимосвязь.

SUMMARY. The automated method for analyzing the shape and dimensions of the viscous tear pits formed during fracture of ВТ23 titanium alloy is proposed. The method can be used in technical diagnostics systems. The approaches to analyzing images of fracture surfaces obtained with a scanning microscope have been developed. The proposed method makes it possible to distinguish the components of the investigated objects, their morphological analysis, and to evaluate the relationship between them.

González Sánchez J. A., Bilyy O. L., Yukhym R. Ya. Визначення міцності вапняку після довготривалої експлуатації в природних умовах 122

РЕЗЮМЕ. Вивчено сорбційні властивості пористості та густини вапнякових каменів із штату Юкатан в Мексиці. Дослідження необхідні для збереження історичної спадщини, а саме оптимізації технології ін'єктування полімерних матеріалів з метою відновлення міцності та цілісності колоніальних та доіспанських будівель з вапняку.

РЕЗЮМЕ. Изучены сорбционные свойства пористости и плотности известняковых камней из штата Юкатан в Мексике. Исследования необходимы для сохранения исторического наследия, а именно оптимизации технологии инъектирования полимерных материалов с целью восстановления прочности и целостности колониальных и доиспанских зданий из известняка.

SUMMARY. The sorption properties, porosity and density of the limestone rocks of the state of Yucatan in Mexico (Campeche) are studied. Studies are needed for saving

historical heritage, namely the optimization technology of polymer materials injection in order to restore strength and integrity of the colonial and pre-Spanish buildings made from limestone.

*Похмурський В. І., Зінь І. М., Студент М. М., Тимусь М. Б.,
Веселівська Г. Г., Ступницький Т. Р.* Поліпшення протикорозійних властивостей робочої емульсії шахтних гідросистем 129

РЕЗЮМЕ. Здійснювали пошук ефективних інгібіторів корозії для захисту сталевих штоків шахтних гідроциліндрів з електродуговими покриттями від корозії в робочій емульсії ФМІ-РЖ, забрудненій хлорид-іонами. Встановлено значне сповільнення корозійного руйнування сталі 45 за додавання в емульсію натрію силікату та бензилбензоату. Інгібувальний ефект бензилбензоату можна пояснити адсорбцією його полярної молекули на поверхні сталі та утворенням бензоату натрію внаслідок реакції з гідроксил-іонами поблизу катодних ділянок. Обидва інгібітори ефективно захищають від корозії систему “вуглецева сталь 45–електродуговий покрив з порошкового дроту” в середовищі 3%-го хлориду натрію за умови просочування пористого напилевого шару інгібованою емульсією.

РЕЗЮМЕ. Осуществляли поиск эффективных ингибиторов коррозии для защиты стальных штоков гидроцилиндров с электродуговыми покрытиями от коррозии в рабочей эмульсии ФМИ-РЖ, загрязненной хлорид-ионами. Установлено значительное замедление коррозионного разрушения стали 45 при добавлении в эмульсию натрия силиката и бензилбензоата. Ингибирующий эффект бензилбензоата можно объяснить адсорбцией его полярной молекулы на поверхности стали и образованием бензоата натрия вследствие реакции с гидроксил-ионами вблизи катодных участков. Оба ингибитора эффективно защищают от коррозии систему “углеродистая сталь 45–электродуговое покрытие из порошковой проволоки” в среде 3%-го хлорида при просачивании пористого напыленного слоя ингибированной эмульсией.

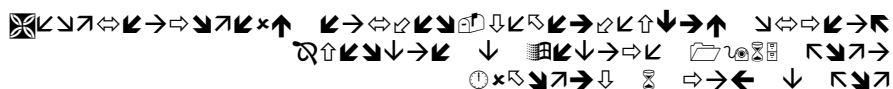
SUMMARY. The effective corrosion inhibitors for protection of arc sprayed steel rods of mine hydraulic cylinders in working emulsion ФМІ-РЖ contaminated with chloride ions were searched. Significant corrosion inhibition of steel 45 was established by adding sodium silicate emulsion and benzyl benzoate to the emulsion. Inhibiting effect of benzyl benzoate can be explained by its polar molecule adsorption on the steel surface and formation of sodium benzoate as a result of reaction with hydroxyl ions near cathode areas. Both inhibitors provide effective corrosion protection for the system “carbon steel 45–powder wire arc sprayed coating” in 3% sodium chloride solution after impregnation of porous coating with inhibited emulsion.

У НАУКОВИХ КОЛАХ

Дмитрах І. М. Загальні збори Українського товариства з механіки руйнування матеріалів 136

Кушнір Р. М., Звірко О. І. Чотирнадцята міжнародна конференція з руйнування (ICF 14) 139

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ



ТОМ 53, № 4, 2017

июль – август

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Скальский В. Р., Назарчук З. Т., Долинская И. Я., Ярема Р. Я., Селивончик Т. В.</i> Акустико-эмиссионное диагностирование коррозионных повреждений материалов (Обзор). Ч. 2. Коррозионное растрескивание металлов. Прикладные аспекты применения метода.....	7
<i>Демченко В. Л.</i> Особенности структурной организации и термомеха- нические свойства нанокompозитов пектин–AG ⁰ –П4ВП, сформированных под воздействием постоянного магнитного поля	20
<i>Лабур Т. М., Остап О. П., Головатюк Ю. В., Коваль В. А., Шинкаренко В. С.</i> Влияние легирования и термообработки на прочность и циклическую трещиностойкость сварных соединений сплава системы Al–Cu–Mg. Ч. 2	28
<i>Студент А. З., Кречковская Г. В., Палащук Т. Е., Гладкий Я. Н.</i> Влияние длительной эксплуатации стали 12Х1МФ изгибов главных паропроводов ТЭС на ее механические свойства	34
<i>Каплун П. В., Дыха А. В., Гончар В. А.</i> Контактная выносливость стали 40Х в разных средах после ионного азотирования и нитрозакалки.....	42
<i>Мальшев В. В., Шахнин Д. Б., Габ А. И.</i> Свойства гальванических танталовых покрытий, полученных из хлоридно-фторидных расплавов	48
<i>Ghazvinloo H. R., Honarbakhsh-Raouf A., Kiani-Rashid A. R.</i> Механические свойства сталей с высоким содержанием Si и Mn, термообработанных двухступенчатой закалкой и фрагментированием	54
<i>Кунтый О. И., Зозуля Г. И., Добровецкая О. Я., Корний С. А., Решетняк А. В.</i> Осаждение меди, серебра и никеля на алюминий гальваническим замещением.....	60
<i>Широков В. В., Широков А. В.</i> Влияние длительного старения при нагрузке на физико-механические свойства ванадия.....	66
<i>Скобло Т. С., Сидашенко А. И., Сатановский Е. А., Олейник А. К., Мальцев Т. В.</i> Особенности изнашивания маслосъемных поршневых колец с покрытием олова при стендовых испытаниях на трение и износ.....	71
<i>Кырылив В. И., Чайковский Б. П., Максмыив О. В., Шалько А. В.</i> Контактная усталость сталей 20ХН3А и 55СМФА с поверхностным наноструктурным слоем в коррозионно-абразивных средах.....	78
<i>Андрейкив А. Е., Лысык А. Р., Штаюра Н. С., Бабий А. В.</i> Оценивание остаточного ресурса тонкостенных элементов конструкций с короткими коррозионно-усталостными трещинами	84

<i>Lagoda T., Kulesa A., Kurek A., Koziarska J.</i> Соотношение одноосного циклического кручения и растяжения-сжатия при низкоциклической усталости	91
<i>Qin Fabing, Гембара О. В., Чепиль О. Я.</i> Моделирование влияния водорода на несущую способность элементов энергетического оборудования в условиях температурной ползучести.....	99
<i>Онышко А. Е.</i> Моделирование физико-механического поведения тел, изготовленных из сплавов с памятью формы, при наличии электрического поля.....	107
<i>Коноваленко И. В., Марущак П. О.</i> Использование свойств нечетких множеств для компьютерного анализа формы и размеров ямок отрыва	112
<i>González Sánchez J. A., Bilyu O. L., Yukhym R. Ya.</i> Определение прочности известняка после длительной эксплуатации в природных условиях.....	122
<i>Похмурский В. И., Зинь И. Н., Студент М. М., Тымусь М. Б., Веселивская Г. Г., Ступницкий Т. Р.</i> Улучшение противокоррозионных свойств рабочей эмульсии шахтных гидросистем	129
В НАУЧНЫХ КРУГАХ	
<i>Дмытрах И. Н.</i> Общее собрание Украинского общества по механике разрушения материалов.....	136
<i>Кушнир Р. М., Звирко О. И.</i> Четырнадцатая международная конференция по разрушению (ICF 14)	139

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
H. V. KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

PHYSICO-CHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS



VOLUME 53, № 4, 2017

July - August

CONTENTS

<i>Skalskyi V. R., Nazarchuk Z. T., Dolinska I. Ya., Yarema R. Ya., and Selivonchik T. V.</i> Acoustic-emission diagnostics of corrosion damages of materials (A review). P. 2. Corrosion cracking of metals. Applied aspects of the method application.....	7
<i>Demchenko V. L.</i> Peculiarities of structural organization and thermomechanical properties of nanocomposites pectin-AG-P4VP formed under constant effect of magnetic field.....	20
<i>Labur T. M., Ostash O. P., Holovatyuk Yu. V., Koval V. A., and Shynkarenko V. S.</i> Influence of alloying and thermal treatment on strength and cyclic crack resistance of Al-Cu-Mg alloy welded joints. P. 2.....	28
<i>Student O. Z., Krechkovska H. V., Palashchuk T. Ye., and Hladkyi Ya. M.</i> The influence of long-term operation of 12 X1MΦA steel bends of the main HPP pipelines on its mechanical properties	34
<i>Kaplun P. V., Dykha A. V., and Gonchar V. A.</i> Contact endurance of 40X steel in different media after ion nitriding and nitroquenching	42
<i>Malyshev V. V., Shakhnin D. B., and Gab A. I.</i> Properties of galvanic tantalum coatings obtained from chloride-fluoride melts.....	48
<i>Ghazvinloo H. R., Honarbakhsh-Raouf A., and Kiani-Rashid A. R.</i> Mechanical properties of a high Si and Mn steel heat treated by two-step quenching and partitioning	54
<i>Kuntyi O. I., Zozulya G. I., Dobrovetska O. Ya., Korniy S. A., and Reshetnyak O. V.</i> Copper, silver and nickel deposition on aluminium by the galvanic replacement	60
<i>Shyrovkov V. V. and Shyrovkov O. V.</i> The influence of durable aging under loading on physicochemical properties of vanadium	66
<i>Skoblo T. S., Sidashenko O. I., Satanovskii Ye. A., Oliinyk O. K., and Maltsev T. V.</i> Wearing features of oil scrapper piston rings with tin coating under bench tests for friction and wear	71
<i>Kyryliv V. I., Chaikovskii B. P., Maksymiv O. V., and Shalko A. V.</i> Contact fatigue of 20XH3Φ and 55CMΦA steels with surface nanostructure in corrosive-abrasive environments	78
<i>Andreikiv O. Ye., Lysyk A. R., Shtayura N. S., and Babii A. V.</i> Estimation of residual life-time of thin-walled structural elements with short corrosion-fatigue cracks.....	84

<i>Lagoda T., Kulesa A., Kurek A., and Koziarska J.</i> Correlation of uniaxial cyclic torsion and tension-compression for low-cycle fatigue.....	91
<i>Qin Fabing, Hembara O. V., and Chepil O. Ya.</i> Modeling of hydrogen effect on bearing capacity of structures of power equipment under temperature creep.....	99
<i>Onyshko O. Ye.</i> Modeling of physical and mechanical behavior of solids with shape memory under electric field action.....	107
<i>Konovalenko I. V. and Marushchak P. O.</i> Use of fuzzy sets properties for computer analysis of tear pits shape and sizes	112
<i>González Sánchez J. A., Bilyy O. L., and Yukhym R. Ya.</i> Evaluation of limestone strength after long-term weathering in natural conditions.....	122
<i>Pokhmurskii V. I., Zin I. M., Student M. M., Tymus M. B., Veselivska H. H., and Stupnytskyi T. R.</i> Improvement of corrosion-resistant properties of working emulsion for mine hydraulic systems	129

IN SCIENTIFIC CIRCLES

<i>Dmytrakh I. M.</i> General meeting of the Ukrainian Society on Fracture Mechanics of Materials	136
<i>Kushnir R. M., Zvirko O. I.</i> The Fourteenth International Conference on Fracture (ICF 14).....	139