

## 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), *І. 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), *І. 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: pccmm@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: pccmm@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*

---

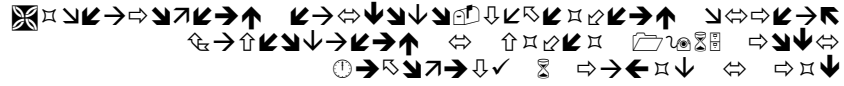
Підписано до друку 09.11.2017. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 141117 від 14.11.2017. Ціна договірна.  
Реєстраційне свідоцтво серія КВ №203 від 10.11.93

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, № 6, 2017

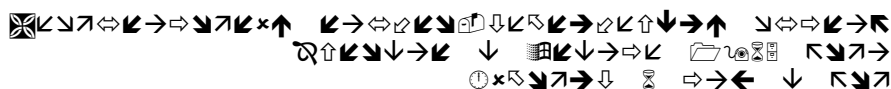
листопад - грудень

## ЗМІСТ

<i>Корній С. А., Похмурський В. І., Червінська Н. Р.</i> Квантово-хімічний аналіз механізму деградації бінарних нанокластерів платини сірковмісними сполуками.....	7
<i>Хома М. С., Головей С. А., Івашків В. Р., Василів Х. Б.</i> Вплив сульфідів на водневу перенапругу та наводнювання сталі У8 у хлоридно-сірководневих середовищах.....	16
<i>Чаусов М. Г., Марущак П. О., Пилипенко А. П., Хабурський Я. М.</i> Вплив динамічних незрівноважених процесів на механічні властивості та корозійну тривкість титанового сплаву .....	23
<b>Ожигов Л. С.,</b> <i>Митрофанов А. С., Добровольська І. Ю., Шрамченко С. В., Василенко Р. Л., Рибальченко Н. Д., Крайнюк Є. О.</i> Корозійні пошкодження трубопроводів АЕС і проблеми їх контролю.....	30
<i>Левченко С. В., Ледовських В. М.</i> Синергічні ефекти у сумішах поверхнево-активних речовин під час механічної обробки металів .....	36
<i>Студент М. М., Посувайло В. М., Веселівська Г. Г., Сірак Я. Я., Яцок Р. А.</i> Корозійна тривкість плазмо-електролітних шарів на сплавах та покриттях системи Al–Cu–Mg за різної термообробки.....	42
<i>Погрелюк І. М., Федірко В. М., Ткачук О. В., Проскурняк Р. В., Корольова Т. В.</i> Корозійна поведінка у фізіологічному розчині титанового сплаву VT6c після хіміко-термічної обробки.....	48
<i>Знак З. О., Мерцало І. П., Буклів Р. Л.</i> Електрохімічні характеристики кислих розчинів відпрацьованих сольових хімічних джерел струму.....	57
<i>Сиротюк А. М., Лецак Р. Л., Дорош М. І.</i> Експериментальне та аналітичне оцінювання наводнювання трубних сталей .....	62
<i>Каплун П. В.</i> Вплив водню на іонне азотування сталей.....	68
<i>Стацюк М. Г.</i> Вплив концентрації водню на напруження у суцільному металевому циліндрі .....	73
<i>Хиль С. В., Рудавський Д. В., Канюк Ю. І., Сас Н. Б.</i> Визначення періоду докритичного росту внутрішньої тріщини в головці рейки під експлуатаційними навантаженнями .....	80

<i>Андрейків О. Є., Штойко І. П., Райтер О. К.</i> Визначення періоду докритичного росту внутрішньої поверхневої корозійно-механічної тріщини в трубі нафтопроводу за турбулентного потоку нафти і гідроударів.....	88
<i>Іваницький Я. Л., Кунь П. С., Ленковський Т. М., Мольков Ю. В., Штаюра С. Т.</i> Вибір бази вимірювання переміщень для визначення деформацій методом оптико-цифрової кореляції зображень.....	94
<i>Коваленко В. І., Мартиненко Л. І., Маринін В. Г.</i> Тривкість вакуумно-дугових нітридоніобієвих покривів за дії абразиву та кавітації.....	99
<i>Conrath E., Berthod P.</i> Властивості суперміцного сплаву на основі нікелю, зміцненого гафнієм, за повзучості та окиснення при 1100°C.....	104
<i>Похмурська Г. В., Головчук М. Я., Дзьоба Ю. В., Гвоздецький В. М., Дзюбик Л. В.</i> Вплив складу шихти порошкових дротів на структуру та властивості електродугових покривів.....	110
<i>Немчук О. О.</i> Особливості діагностування технічного стану сталей портового перевантажувального обладнання.....	116
<b>Перелік статей, опублікованих у журналі “ФХММ” за 2017 р.</b> .....	119
<b>Авторський покажчик</b> .....	125

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ



ТОМ 53, № 6, 2017

ноябрь – декабрь

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Корний С. А., Похмурский В. И., Червинская Н. Р.</i> Квантово-химический анализ механизма деградации бинарных нанокластеров платины серосодержащими соединениями.....	7
<i>Хома М. С., Головей С. А., Ивашиков В. Р., Васылиев Х. Б.</i> Влияние сульфидов на водородное перенапряжение и наводороживание стали У8 в хлоридно-сероводородных средах .....	16
<i>Чаусов Н. Г., Маруцак П. О., Пилипенко А. П., Хабурский Я. М.</i> Влияние динамических неравновесных процессов на механические свойства и коррозионную стойкость титанового сплава .....	23
<b>Ожигов Л. С., Митрофанов А. С., Добровольская И. Ю., Шрамченко С. В., Василенко Р. Л., Рыбальченко Н. Д., Крайнюк Е. А.</b> Коррозионные повреждения трубопроводов АЭС и проблемы их контроля .....	30
<i>Левченко С. В., Ледовских В. М.</i> Синергические эффекты в смесях поверхностно-активных веществ при механической обработке металлов.....	36
<i>Студент М. М., Посувайло В. Н., Веселивская Г. Г., Сирак Я. Я., Яцюк Р. А.</i> Коррозионная стойкость плазмoeлектролитических слоев на сплавах и покрытиях системы Al–Cu–Mg при разной термообработке.....	42
<i>Погрелюк И. Н., Федирко В. Н., Ткачук О. В., Проскурняк Р. В., Королева Т. В.</i> Коррозионное поведение в физиологическом растворе титанового сплава VT6c после химико-термической обработки.....	48
<i>Знак З. О., Мерцало И. П., Буклив Р. Л.</i> Электрохимические характеристики кислых растворов отработанных солевых химических источников тока .....	57
<i>Сыротюк А. М., Лецак Р. Л., Дорош М. И.</i> Экспериментальное и аналитическое оценивание наводороживания трубных сталей .....	62
<i>Каплун П. В.</i> Влияние водорода на ионное азотирование сталей .....	68
<i>Стащук Н. Г.</i> Влияние концентрации водорода на напряжения в сплошном металлическом цилиндре .....	73
<i>Хиль С. В., Рудаковский Д. В., Канюк Ю. И., Сас Н. Б.</i> Определение периода докритического роста внутренней трещины в головке рельсы при эксплуатационных нагрузениях .....	80

<i>Андрейкив А. Е., Штойко И. П., Райтер О. К.</i> Определение периода докритического роста внутренней поверхностной коррозионно-механической трещины в трубе нефтепровода при турбулентном потоке нефти и гидроударах.....	88
<i>Иваницкий Я. Л., Кунь П. С., Ленковский Т. М., Мольков Ю. В., Штаюра С. Т.</i> Выбор базы измерения перемещений для определения деформаций методом оптико-цифровой корреляции изображений .....	94
<i>Коваленко В. И., Мартыненко Л. И., Маринин В. Г.</i> Стойкость вакуумно-дуговых нитридоникобиевых покрытий при воздействии абразива и кавитации.....	99
<i>Conrath E., Berthod P.</i> Свойства суперпрочного сплава на основе никеля, укрепленного гафнием, во время ползучести и окисления при 1100°С .....	104
<i>Похмурская Г. В., Головчук М. Я., Дзьоба Ю. В., Гвоздецкий В. Н., Дзюбык Л. В.</i> Влияние состава шихты порошковых проволок на структуру и свойства электродуговых покрытий.....	110
<i>Немчук А. О.</i> Особенности диагностирования технического состояния сталей портового перегрузочного оборудования.....	116
<b>Перечень статей, опубликованных в журнале “ФХММ” за 2017 г.</b> .....	
<b>Авторский указатель</b> .....	

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

# PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS



VOLUME 53, № 6, 2017

November - December

## CONTENTS

*Korniy S. A., Pokhmurskii V. I., and Chervinska N. R.* Quantum-chemical analysis of the mechanism of binary platinum nanoclusters degradation by sulphur-containing compounds..... 7

*РЕЗЮМЕ.* Запропоновано квантово-хімічну модель отруювання бінарних нанокластерів платини  $Pt_4Me_{13}$  (де Me – перехідні метали Fe, Co, Ni) оболонкової структури сірководнем і діоксидом сірки у середовищі низькотемпературних паливних комірок, яка ґрунтується на розрахунку адсорбційних характеристик взаємодії молекул  $H_2S$  і  $SO_2$  із поверхнями нанокластерів. Встановлено їх схильність до утворення міцного хемосорбційного зв'язку з молекулами  $H_2S$  і  $SO_2$  залежно від типу ядра нанокластера та положень адсорбції на їх поверхнях. З допомогою квантово-хімічного методу функціонала густини встановлено закономірності впливу ядра бінарних нанокластерів із перехідних металів Fe, Co, Ni на геометричні та енергетичні характеристики адсорбції молекул. Запропоновано механізм взаємодії молекул  $H_2S$  і  $SO_2$  із бінарними нанокластерами платини, заснований на зміні електронних властивостей поверхневих атомів платини або розподілу активних адсорбційних центрів на поверхні нанокластерів залежно від типу ядра. Підтверджено перспективність методу функціонала густини для теоретичної оцінки впливу хімічного складу і структури бінарних наночастинок на їх властивості в реакціях низькотемпературних паливних комірок.

*РЕЗЮМЕ.* Предложена квантово-химическая модель отравления бинарных нанокластеров платины  $Pt_4Me_{13}$  (где Me – переходные металлы Fe, Co, Ni) оболочечной структуры сероводородом и диоксидом серы в среде низкотемпературных топливных ячеек, основанная на расчете адсорбционных характеристик взаимодействия молекул  $H_2S$  и  $SO_2$  с поверхностями нанокластеров. Установлена их склонность к образованию прочной хемосорбционной связи с молекулами  $H_2S$  и  $SO_2$  в зависимости от типа ядра нанокластера и положений адсорбции на их поверхностях. С помощью квантово-химического метода функционала плотности выявлены закономерности влияния ядра бинарных нанокластеров из переходных металлов Fe, Co, Ni на геометрические и энергетические характеристики адсорбции молекулы. Предложен механизм взаимодействия молекул  $H_2S$  и  $SO_2$  с бинарными нанокластерами платины, основанный на изменении электронных свойств поверхностных атомов платины или распределения активных адсорбционных центров на поверхности нанокластеров в зависимости от типа ядра. Подтверждена перспективность метода функционала плот-

ности для теоретической оценки влияния химического состава и структуры бинарных наночастиц на их свойства в реакциях низкотемпературных топливных ячеек.

*SUMMARY.* The quantum-chemical model of poisoning of binary nanoclusters of platinum  $Pt_{42}Me_{13}$  (where Me is transition metal Fe, Co, Ni) of the core-shell structure with hydrogen sulfide and dioxin of sulfur in a medium of low temperature fuel cells is proposed, which is based on the calculation of the adsorption characteristics of the interaction of  $H_2S$  and  $SO_2$  molecules with nanoclusters surfaces, which allowed to establish their propensity to form a strong chemisorption bond with  $H_2S$  and  $SO_2$  molecules, depending on the type of nucleus of the nanocluster and the positions of adsorption on their surfaces. Applying the quantum-chemical method of density functional, the laws of the influence of the nucleus of binary nanoclusters from transition metals Fe, Co, Ni on the geometric and energy characteristics of the adsorption of the molecule were established. On the basis of the obtained calculation data, the mechanism of interaction of  $H_2S$  and  $SO_2$  molecules with platinum binary platinum nanoclusters is proposed, which is based on the change in the electronic properties of surface platinum atoms or the distribution of active adsorption centers on the nanoclusters surface, depending on the type of core. The obtained results confirmed the prospect of using the functional density method for the theoretical evaluation of the influence of the chemical composition and structure of binary nanoparticles on their properties in the reactions of low temperature fuel cells.

*Khoma M. S., Holovei S. A., Ivashkiv V. R., and Vasylyv Kh. B.* The effect of sulphides on hydrogen overvoltage and hydrogenation of U8 steel in chloride-hydrogen-sulphide environments ..... 16

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив сульфідних плівок  $FeS$ ,  $FeS_2$  і  $Fe_9S_8$  на швидкість корозії та наводнювання сталі У8 різної структури у хлоридно-ацетатному розчині. Виявлено, що зі зміною нерівноважності структури вони зростають. Сульфідні плівки на сталі сповільнюють анодні процеси і пришвидшують катодні. Формування плівок канзиту на поверхні сталі супроводжується суттєвим зниженням перенапруги водневої деполяризації та інтенсифікацією наводнювання до 5 разів. Вплив сульфідних плівок на електродні процеси і наводнювання у хлоридно-ацетатному розчині залежить від структури металу, на поверхні якого вони сформовані.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние сульфидных пленок  $FeS$ ,  $FeS_2$  и  $Fe_9S_8$  на скорость коррозии и наводороживания стали У8 различной структуры в хлоридно-ацетатном растворе. Выведено, что с изменением неравновесности структуры они повышаются. Сульфидные пленки на стали замедляют анодные процессы и ускоряют катодные. Формирование пленок канзита на поверхности стали сопровождается существенным снижением перенапряжения водородной деполяризации и интенсификацией наводороживания до 5 раз. Влияние сульфидных пленок на электродные процессы и наводороживание в хлоридно-ацетатном растворе зависит от структуры металла, на поверхности которого они сформированы.

*SUMMARY.* The influence of  $FeS$ ,  $FeS_2$ , and  $Fe_9S_8$  sulfide films on corrosion rate and hydrogenation of U8 steel of different structures in the chloride-acetate solution was investigated. It was shown that these parameters increase with the change of the nonequilibrium steel structure. Sulphide films on steel slow down the anode processes and accelerate cathode processes. The formation of the kansite films on the steel surface is accompanied by a significant decrease of hydrogen depolarization overvoltage and intensification of hydrogenation up to 5 times. The influence of sulfide films on electrode processes and hydrogenation in a chloride-acetate solution depends on the structure of the metal on the surface of which they are formed.

*Chausov M. G., Maruschak P. O., Pylypenko A. P., and Khaburskyi Ya. M.*

Influence of dynamic non-equilibrium processes on mechanical properties and corrosive durability of titanium alloy ..... 23

*РЕЗЮМЕ.* Порівняно механічні властивості та корозійну тривкість зразків із листового двофазного високоміцного титанового сплаву BT22 у вихідному стані, після статичного розтягу та реалізації динамічних незрівноважених процесів і подальшого статичного розтягу. Показано, що одиничні динамічні незрівноважені процеси під час ударно-коливального навантаження суттєво підвищують вихідну пластичну деформацію сплаву і практично не впливають на його корозійну тривкість.

*РЕЗЮМЕ.* Проведено сравнение механических свойств и коррозионной стойкости образцов из листового двухфазного высокопрочного титанового сплава BT22 в исходном состоянии, после статического растяжения и реализации динамических неравновесных процессов и последующего статического растяжения. Показано, что единичные динамические неравновесные процессы при ударно-колебательном нагружении значительно повышают исходную пластическую деформацию сплава и практически не влияют на его коррозионную стойкость.

*SUMMARY.* A comparative evaluation of the mechanical properties and corrosion resistance of samples made of sheet two-phase high-strength BT22 titanium alloy in the initial state, after static stretching and after realization of dynamic nonequilibrium processes and subsequent static stretching is done. It is shown that single dynamic nonequilibrium processes, under shock-vibrational loading, significantly increase the initial plastic deformation of the alloy and practically do not affect the change in its corrosion resistance.

*Ozhigov L. S., Mitrofanov A. S., Dobrovolska I. Yu., Shramchenko S. V.,*

*Vasylenko R. L., Rybalchenko N. D., and Krainiuk Ye. O.* Corrosion damages of pipelines at NNP and problems of their control ..... 30

*РЕЗЮМЕ.* Отримано результати з контролю трубопроводів зі сталі 20 для АЕС за допомогою неруйнівного методу магнітної пам'яті металу. Вивчено структуру і дефекти металу трубопроводів після тривалої експлуатації. Виявлено, що результати структурних досліджень досить добре корелюють з даними неруйнівного методу магнітної пам'яті металу. Встановлено причину і оцінено утворення пошкоджень металу трубопроводу АЕС.

*РЕЗЮМЕ.* Получены результаты контроля трубопроводов из стали 20 для АЭС при помощи неразрушающего метода магнитной памяти металла. Изучены структура и дефекты металла трубопроводов после длительной эксплуатации. Выявлено, что результаты структурных исследований достаточно хорошо коррелируют с данными неразрушающего метода магнитной памяти металла. Установлены причина и характер образования повреждений в металле трубопровода АЭС.

*SUMMARY.* The results of 20 steel pipelines for NPS inspection by non-destructive method of magnetic memory of the metal are obtained. Studies of structure and defects of pipeline metal after long-term operation are carried out. It is shown that the results of structure researches correlate well with the results of non-destructive control – magnetic memory of the metal. The cause and the character of metal damaging are determined.

*Levchenko S. V. and Ledovskykh V. M.* Synergistic effects in the mixtures

of surfactants in mechanical processing of metals ..... 36

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив окремих поверхнево-активних речовин (ПАР) та їх сумішей на поверхневий натяг нейтральних водно-солевих розчинів і мікротвердість сталі. Для визначення залежності зазначених чинників від співвідношення молярних концентрацій компонентів сумішей застосовано метод ізомолярних серій. Показано, що для композицій ПАР з різною полярністю функціональних груп характерним є явище синергізму з вираженим екстремумом за певного співвідношення



концентрацій складників. Його розташування на межі поділу рідина–повітря і рідина–метал має симбатний характер, що можна пояснити взаємним притяганням функціональних груп на різних межах поділу фаз.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние отдельных поверхностно-активных веществ (ПАВ) и их смесей на поверхностное натяжение нейтральных водно-солевых растворов и микротвёрдость стали. Для определения зависимости указанных факторов от соотношения молярных концентраций компонентов смесей использован метод изомолярных серий. Показано, что для композиций ПАВ с разной полярностью функциональных групп характерно явление синергизма с выраженным экстремумом при определенном соотношении концентраций составляющих. Его положение на границах раздела фаз жидкость–воздух и жидкость–металл имеет симбатный характер, что можно объяснить взаимным притяжением функциональных групп на разных границах раздела фаз.

*SUMMARY.* The influence of certain surface-active substances (SAS) and their mixtures on the surface tension of neutral aqueous salt solutions and steel microhardness was studied. To determine these factors as a function of mixtures molar concentrations of components ratio isomolar series method was used. It was shown that the SAS compositions with different polarity functional groups are characterized by a phenomenon of synergy with a strong extremum at a certain ratio of the components concentrations. Its position at the interfaces of liquid-air and liquid-metal has a symbatic character that is explained by the mutual attraction of functional groups at the different interfaces.

*Student M. M., Posuvailo V. M., Veselivska H. H., Sirak Ya. Ya., and Yatsyuk R. A.*

Corrosion resistance of plasma-electrolytic layers on Al–Cu–Mg alloys and coatings under different heat treatment ..... 42

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив мікроструктури сплаву Al–Cu–Mg, розпиленого електродуговим методом, у початковому стані і з оксидокерамічними покриттями, на його корозійну тривкість у синтетичному слабокислому середовищі. Показано, що підвищення температури відпалу електродугового покриття призводить до зростання розмірів інтерметалічних включень  $Al_2Cu$ , які діють як катодні включення і збільшують розміри пор в оксидокерамічному покритті. Результатом таких змін є суттєве підвищення корозійних струмів як електродугового покриття, так і оксидокерамічного шару на ньому. Виявлено, що електродуговий покриття без оксидокерамічного шару має на порядок вищі корозійні струми.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние микроструктуры сплава Al–Cu–Mg, распыленного методом электрической дуги в начальном состоянии и с оксидно-керамическими покрытиями, на его коррозионную стойкость в синтетической слабокислой среде. Показано, что увеличение температур отжига электродугового покрытия приводит к увеличению размеров интерметаллических включений  $Al_2Cu$ , действующих как катодные включения и приводящих к увеличению размеров пор в оксидно-керамическом покрытии. Результатом таких изменений является значительное увеличение коррозионных токов как электродугового покрытия, так и оксидно-керамического слоя на нем. Выведено, что электродуговое покрытие без оксидно-керамического слоя имеет на порядок более высокие коррозионные токи.

*SUMMARY.* The influence of microstructure of the Al–Cu–Mg alloy sprayed by an electric-arc method in the initial state and with oxide-ceramic coatings on its corrosion resistance in a synthetic weakly acid rain environment had been investigated. It was shown that the increase of annealing temperature of electric-arc coating leads to the increase of the intermetallic  $Al_2Cu$  inclusions dimensions, which act as cathode inclusions and lead to the increase of pore sizes in the oxide-ceramic coating. The result of such changes is a significant increase in the corrosion currents both of the electric-arc coating and the oxide-ceramic layer on it. Note that electric arc coating without oxide-ceramic layer has an order of magnitude higher corrosion current.

*Pohrelyuk I. M., Fedirko V. M., Tkachuk O. V., Proskurniak R. V., and Koroliova T. V.* Corrosion behaviour of BT6c titanium alloy in physiological solution after chemical heat treatment ..... 48

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено корозійну тривкість титанового сплаву BT6c з оксинітридними покриттями в ізотонічному 0,9%-му розчині NaCl при 36 та 40°C, який моделює середовище людського організму в нормальному та запальному станах відповідно. Виявлено, що з підвищенням температури розчину опір корозії модифікованого киснем нітридного покриття на базі Ti<sub>2</sub>N фази знижується, а на базі TiN фази – суттєво зростає. Встановлено, що корозійна тривкість оксинітридного покриття, сформованого на базі Ti<sub>2</sub>N фази, незалежно від температури розчину, вища за більшого вмісту кисню в оксинітриді, а на базі TiN фази – за меншого.

*РЕЗЮМЕ.* Исследована коррозионная стойкость титанового сплава BT6c с оксинитридными покрытиями в изотоническом 0,9% растворе NaCl при 36 и 40°C, который моделирует среду человеческого организма в нормальном и воспалительном состояниях соответственно. Вывявлено, что с повышением температуры раствора сопротивление коррозии модифицированного кислородом нитридного покрытия на базе Ti<sub>2</sub>N фазы снижается, а на базе TiN фазы – существенно возрастет. Установлено, что коррозионная стойкость оксинитридного покрытия, сформированного на базе Ti<sub>2</sub>N фазы, независимо от температуры раствора, выше при большем содержании кислорода в оксинитриде, когда на базе TiN фазы – при меньшем.

*SUMMARY.* The corrosion behaviour of BT6c titanium alloy with oxynitride coatings was studied in isotonic 0.9% NaCl solution at temperatures of 36 and 40°C, simulating the environment of a body fluid in normal and inflammatory conditions, respectively. It was shown that increase of the solution temperature from 36 to 40°C leads to the decrease of corrosion resistance of oxynitride coating formed on the basis of Ti<sub>2</sub>N phase, while for the oxynitride coating on the basis of the TiN phase the corrosion protection is significantly improved. It was determined that corrosion resistance of the oxynitride coating formed on the basis of Ti<sub>2</sub>N phase regardless of the solution temperature is higher the higher is the oxygen content in the titanium oxynitride, whereas on the basis of TiN phase it is better at less oxygen content.

*Znak Z. O., Mertsalo I. P., and Bukliv R. L.* Electrochemical characteristics of acid solutions of used saline chemical current sources ..... 57

*РЕЗЮМЕ.* Методом циклічної вольтамперометрії досліджено кислий розчин сольових хімічних джерел струму, проаналізовано його якісний та кількісний склад, зроблено теоретичні розрахунки можливості відновлення дорогоцінних металів із визначеного складу розчину. Показано можливість і доцільність утилізації металів з використанням хімічного та електрохімічного методів.

*РЕЗЮМЕ.* Методом циклической вольтамперометрии исследовано кислый раствор солевых химических источников тока, проанализировано его качественный и количественный составы, выполнены теоретические расчеты возможности восстановления металлов с раствора определенного состава. Показана возможность утилизации металлов, используя химический и электрохимический методы.

*SUMMARY.* The acid solution of saline chemical current sources was investigated by the method of cyclic voltammetry, its qualitative and quantitative metallic compositions were analyzed, and theoretical calculations of the possibility of metals recovery from specified solution composition were made. The possibility of their utilization using chemical and electrochemical methods was shown.

Syrotiuk A. M., Leshchak R. L., and Dorosh M. I. Experimental and analytical evaluation of pipe steels hydrogenation ..... 62

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено емпіричні залежності, які описують зростання середньої об'ємної концентрації водню у трубних сталях 20 та 16ГС залежно від часу їх експозиції в умовах електрохімічного наводнювання. Запропоновано та апробовано розрахункову формулу для прогнозування наводнювання трубних сталей, яку одержано на підставі математичного моделювання цього процесу.

*РЕЗЮМЕ.* Установлены эмпирические зависимости, описывающие рост средней объемной концентрации водорода в трубных сталях 20 и 16ГС в зависимости от времени их экспозиции в условиях электрохимического наводороживания. Предложена и апробирована расчетная формула для прогнозирования наводороживания трубных сталей, полученная на основании математического моделирования этого процесса.

*SUMMARY.* The empirical relations describing the growth of the average volume hydrogen concentration in 20 steel and 16ГC steel pipelines, depending on time of their exposure during electrochemical hydrogenation are established. The calculation formula for forecasting the hydrogenation processes of pipeline steels, derived basing on mathematical modelling of metal hydrogenation process, was proposed and verified.

Kaplun P. V. Impact of hydrogen on ion nitriding of steels ..... 68

*РЕЗЮМЕ.* Наведено результати експериментальних досліджень контактної витривалості зразків з різних сталей після іонного азотування у водневих і безводневих середовищах за випробувань у мастилі І-20. Показано шкідливий вплив водню на контактну витривалість сталей за тертя качення.

*РЕЗЮМЕ.* Приведены результаты экспериментальных исследований контактной выносливости образцов различных сталей после ионного азотирования в водородных и безводородных средах при испытаниях в масле И-20. Показано вредное влияние водорода на контактную выносливость сталей при трении качения.

*SUMMARY.* The results of experimental researches on contact endurance of various steel samples after ion nitriding in hydrogen and hydrogen-free media during tests in I-20 industrial oil were presented. Harmful influence of hydrogen on contact endurance of steels under rolling friction was demonstrated.

Stashchuk M. H. The influence of hydrogen concentration on stresses in a solid metal cylinder ..... 73

*РЕЗЮМЕ.* На основі моделювання напружено-деформованого стану системи метал–водень запропоновано базові рівняння, які дають змогу оцінювати додаткові напруження в матеріалі, обумовлені воднем. На цій основі розраховані компоненти напружень, спричинені воднем у суцільному металевому циліндричному зразку.

*РЕЗЮМЕ.* На основе моделирования напряженно-деформированного состояния системы металл–водород предложено базовые уравнения, позволяющие оценивать дополнительные напряжения в материале, обусловленные водородом. На этой основе рассчитаны компоненты напряжений, обусловленные водородом в сплошном металлическом цилиндрическом образце.

*SUMMARY.* The basic equations on the basis of the modeling of the metal–hydrogen system stress-strain state are proposed. They allow estimating the additional stresses in the material conditioned by hydrogen. On this basis the stress components caused by hydrogen in solid metallic cylindrical sample are estimated.

<i>Khyl S. V., Rudavskiy D. V., Kaniuk Yu. I., and Sas N. B.</i> Determination of the period of subcritical internal crack growth in the rail head under service loading.....	80
---	----

*РЕЗЮМЕ.* Подано розрахункову модель навантаження залізничної рейки під час її роботи в експлуатаційному режимі. Проаналізовано основні типи тріщиноподібних дефектів, що виникають у головках залізничних рейок. За енергетичним підходом механіки руйнування побудовано математичну модель для визначення періоду докритичного росту нормальної тріщини в головці рейки. Отримані результати теоретичних обчислень добре узгоджуються зі середньостатистичними напівнатурних досліджень.

*РЕЗЮМЕ.* Рассмотрена расчетная модель нагружения железнодорожной рельсы во время работы в эксплуатационном режиме. Проанализированы основные типы трещиноподобных дефектов, возникающих в головках железнодорожных рельсов при их эксплуатации. С помощью энергетического подхода механики разрушения построена математическая модель для определения периода докритического роста нормальной трещины в головке рельса. Полученные результаты теоретических расчетов хорошо согласуются со среднестатистическими полунатурных исследований.

*SUMMARY.* The calculation model of rail loading in operation condition has been considered. Basic types of crack-like defects that appear in the rail head during exploitation have been analyzed. The mathematical model for subcritical period determination of normal crack growth in the rail head has been built basing on energetic approach of fracture mechanics. The obtained calculations showed good agreement in comparison with average data of scaled-down rail investigation.

<i>Andreikiv O. Ye., Shtoiko I. P., and Raiter O. K.</i> Determination of the period of subcritical growth of internal surface corrosive-mechanical crack in the oil pipeline pipe under turbulent flow of oil and hydro blows .....	88
--	----

*РЕЗЮМЕ.* Сформульована розрахункова модель для визначення періоду докритичного росту внутрішньої поверхневої корозійно-механічної тріщини в стінці труби нафтопроводу за турбулентного потоку нафти і багаторазових гідроударів. В основі моделі – раніше розроблений енергетичний підхід для дослідження сповільненого поширення тріщин, моделі прикладання імпульсних навантажень і основні механізми поширення тріщин. З її допомогою вивчена залежність залишкового ресурсу труби нафтопроводу зі сталі Х60 від кількості в ній гідроударів за турбулентного потоку нафти.

*РЕЗЮМЕ.* Предложена расчетная модель для определения остаточного ресурса трубы нефтепровода с внешней поверхностной коррозионно-механической трещиной при турбулентном потоке нефти и многократных гидроударах. В основе модели – ранее разработанный энергетический подход для исследования замедленного распространения трещин, модели приложения импульсных нагрузок и основные механизмы распространения коррозионно-механической трещины. С ее помощью исследована зависимость остаточного ресурса трубы нефтепровода из стали Х60 от количества в ней гидроударов.

*SUMMARY.* The calculation model to determine the residual lifetime of the pipeline the oil pipe with external surface corrosion-mechanical crack under the turbulent stream of oil and multiple hydraulic shocks is proposed. The model is based on previously developed energy approach to investigate the slow propagation, model of pulse load applications and basic mechanisms of the corrosion-mechanical cracks growth. The dependence of the residual resource of X60 steel oil pipes of on the amount of hydraulic shocks in it is investigated on this basis.

*Ivanytskyi Ya. L., Kun P. S., Lenkovskiy T. M., Molkov Yu. V., and Shtayura S. T.*

Choice of the measuring base of displacements for determining deformations by the optical-digital image correlation method ..... 94

*РЕЗЮМЕ.* Проаналізовано вплив розміру бази вимірювання переміщень точок поверхні на відповідні макродеформації. Встановлено алгоритм пошуку її розміру в неоднорідному полі деформацій. Для зразка зі сталі 20, розтягнутого заданим зусиллям, визначено оптимальний розмір бази, його співвідношення з розміром структурного елемента та зв'язок з відомими характеристиками матеріалу.

*РЕЗЮМЕ.* Проанализировано влияние размера базы измерения поверхностных перемещений на значение соответствующих макродеформаций. Определен алгоритм поиска размера базы измерения в неоднородном поле деформаций. Для образца из стали 20, растянутого заданным усилием, найдены оптимальный размер базы измерения, его соотношение с размером структурного элемента, а также связь с известными характеристиками материала.

*SUMMARY.* Influence of measuring spacing size of surface displacements on the values of the corresponding macroscale strain is analysed. The algorithm of measuring spacing size in the nonuniform strain field is determined. On the example of mild steel disk specimen tensioned by the certain force the optimum size of measuring spacing is determined and its correlation with microstructure parameters of the material and connection with the known characteristics of the material is shown.

*Kovalenko V. I., Martynenko L. I., and Marynin V. H.* Durability of vacuum-arc niobium nitride coatings under action of abrasive and cavitations ..... 99

*РЕЗЮМЕ.* Одержано покриття за тиску азоту у вакуумній камері  $p = 4 \cdot 10^{-3} \dots 8,65 \cdot 10^{-1}$  Па, негативного потенціалу на підкладці  $U = 40 \dots 200$  В, сили струму дуги 130 А. Визначено, що середні швидкості ерозії покриттів за кавітації ( $V_1$ ) та абразивного зносу ( $V_2$ ) мають мінімальні значення для покриттів, одержаних за фіксованих  $p = 6,65 \cdot 10^{-1}$  Па та  $U = 100$  В. Одержано результати з мікротвердості покриттів ( $H_\mu$ ). Встановлено взаємозв'язок між  $V_1$ ,  $V_2$  та  $H_\mu$ .

*РЕЗЮМЕ.* Получены покрытия при давлении азота в вакуумной камере  $p = 4 \cdot 10^{-3} \dots 8,65 \cdot 10^{-1}$  Па, отрицательном потенциале на подложке  $U = 40 \dots 200$  В, силе тока дуги 130 А. Определено, что средние скорости эрозии покрытий при кавитации ( $V_1$ ) и абразивном износе ( $V_2$ ) имеют минимальные значения для покрытий, полученных при  $p = 6,65 \cdot 10^{-1}$  Па и  $U = -100$  В. Получены результаты по микротвердости ( $H_\mu$ ) покрытий. Установлена взаимосвязь между  $H_\mu$ ,  $V_1$  и  $V_2$ .

*SUMMARY.* Coatings at nitrogen pressure in the vacuum chamber  $p = 4 \cdot 10^{-3} \dots 8,65 \cdot 10^{-1}$  Pa, negative potential on a substrate  $U = 40 \dots 200$  V, force of arc current 130 A are received. It is determined, that average rates of erosion at cavitation ( $V_1$ ) and abrasive deterioration ( $V_2$ ) have minimal values for coatings when  $p = 6,65 \cdot 10^{-1}$  Pa and  $U = -100$  V. The data on coatings microhardness ( $H_\mu$ ) are received. The interrelation between  $H_\mu$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  is established.

*Conrath E. and Berthod P.* Properties of a HFC-reinforced nickel-based superalloy in creep and oxidation at 1100°C ..... 104

*РЕЗЮМЕ.* Литий надміцний сплав на основі Ni, зміцнений карбідами гафнію, виливали та витримували при 1100°C в умовах повзучості та гарячого оксидування. Мікроструктура виливок містить дендритну матрицю, а між дендритами виявлено евтектичну суміш карбідів гафнію, що поліпшує механічні властивості за високих температур. Це підтверджено дослідженнями на триточковий згин в умовах повзучості (за максимальних напружень 20 МПа) та температури 1100°C. Повільна параболічна кінетика втрати маси свідчить про тривкість сплаву до окиснення при 1100°C у

повітрі. Карбіди HfC під час цих випробувань залишалися стабільними. Сплав придатний для використання при температурі, яку можуть витримати тільки монокристали  $\gamma/\gamma'$  на основі Ni чи суперсплави типу ODS.

*РЕЗЮМЕ.* Литий сверхпрочный сплав на основе Ni, упрочнен карбидами гафния, выливали и выдерживали при 1100°C в условиях ползучести и горячего оксидирования. Микроструктура отливок содержит дендритную матрицу, а меж дендритами обнаружено эвтектическую смесь карбидов гафния, что улучшает механические свойства при высоких температурах. Это подтверждено исследованиями на трехточечный изгиб в условиях ползучести (при максимальных напряжениях 20 МПа) и температуры 1100°C. Медленная параболическая кинетика потери массы свидетельствует об устойчивости сплава к окислению при 1100°C в воздухе. Карбиды HfC оставались стабильными во время этих испытаний. Сплав пригоден для использования при температуре, которую могут выдержать только монокристаллы  $\gamma/\gamma'$  на основе Ni или суперсплавы типа ODS.

*SUMMARY.* A cast Ni-based superalloy strengthened by hafnium carbides was cast and characterized at 1100°C in creep and in hot oxidation. The as-cast microstructure, composed of a dendritic matrix and of eutectic script-like hafnium carbides (HfC) imbricated with matrix in the interdendritic spaces, is very favorable for high mechanic properties at high temperature. This was confirmed by a three-point flexural creep test carried out at 1100°C under 20 MPa. The slow parabolic mass gain kinetic showed that this alloy is very resistant against oxidation at 1100°C in air. The HfC carbides remained stable during these tests. The oxidation behavior was chromia-forming. This alloy appeared ready to be used for structural applications at a temperature reachable by only  $\gamma/\gamma'$  Ni-based single-crystals or ODS superalloys.

*Pokhmurska H. V., Holovchuk M. Ya., Dzioba Yu. V., Hvozdetzkyi V. M., and Dzubyk L. V.* Influence of cored wire diameter on structure

and properties of arc sprayed coatings ..... 110

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив діаметра порошкового дроту (ПД) на структуру, механічні характеристики та абразивну зносотривкість електродугових покривів. Шихту електродних матеріалів сформовано із матеріалів у вигляді порошоків хрому, феррохрому або феррохромбору. Виявлено, що зі збільшенням діаметра ПД та сили струму мікротвердість покривів зростає незначно, а зі збільшенням дистанції напилення у них підвищується вміст оксидної фази. За діаметра ПД 1,8...2,4 mm абразивна тривкість покривів зменшується несуттєво. З додатком до них 3 mass% молибдену та бору збільшуються мікротвердість, зносотривкість, когезивна міцність, а також забезпечується сплавлення краплин. Зносотривкість покриття поліпшується за вмісту у ПД до 2 mass% вуглецю та до 3 mass% бору. За оптимального вмісту бору до 3 mass% мікротріщини не утворюються.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние диаметра порошковой проволоки (ПП) на структуру, механические характеристики и абразивную износостойкость электродуговых покрытий. Шихта электродных материалов изготовлена из материалов в виде порошков хрома, феррохрома или феррохромбора. Вывявлено, что с увеличением диаметра ПП и силы тока микротвердость покрытий возрастает незначительно, а с ростом дистанции напиления в них повышается содержание оксидной фазы. С увеличением диаметра ПП от 1,8 до 2,4 mm абразивная износостойкость покрытий уменьшается незначительно. С добавлением к ним 3 mass% молибдена и бора повышаются микротвердость, износостойкость и когезионная прочность, а также обеспечивается сплавление капель. Износостойкость покрытия улучшается при содержании в ПП до 2 mass% углерода и до 3 mass% бора. При оптимальном содержании бора до 3 mass% микротрещины не образуются.

*SUMMARY.* The influence of the diameter of the powder wire (PW) on structure, mechanical characteristics and abrasive durability of the electric arc coatings has been investigated. The charge of electrode materials is fabricated from chromium-containing materials in the form of chromium, ferrochromium or ferrochrombor powders. It was found that the increase of PW diameter and the current strength does not increase the coatings microhardness. The abrasive durability of electric arc furnaces decreases with the increase of PW diameter from 1.8 to 2.4 mm. The addition to 3 mass% of molybdenum and boron into the coating composition provides the fusion of droplets among themselves; the increases of microhardness, wear resistance and cohesive strength. The wear resistance of the coating increases when PW contains up to 2 mass% of carbon and up to 3 mass% of boron mass. For optimal boron content up to 3 mass% microcracks in the coatings do not form.

*Nemchuk O. O.* Peculiarities of diagnostics of the technical state of port transship equipment steels..... 116

*РЕЗЮМЕ.* Розглянуто два важливі чинники, які слід враховувати у розрахунках залишкової довговічності портових конструкцій, експлуатаційного перевантаження та корозійної тривкості зварних з'єднань. Виявлено, що напруження від перевантаження може скласти більше половини розрахункового значення. Важливо також брати до уваги електрохімічну гетерогенність різних зон зварних з'єднань.

*РЕЗЮМЕ.* Рассмотрены два важных фактора, которые следует учитывать при расчетах остаточной долговечности портовых конструкций, эксплуатационной перегрузки и коррозионной прочности сварных соединений. Выявлено, что напряжения от перегрузки могут превышать половину расчетного значения. Важно также учитывать электрохимическую гетерогенность разных зон сварных соединений.

*SUMMARY.* Two important factors, in-service overloading and corrosion of welds, which should be taken into account in estimation of residual lifetime are considered. It is shown that stresses caused by overloading can exceed a half of the calculated level. From the point of corrosion of welds it is important to consider the electrochemical heterogeneity of its different zones what causes selective corrosion in the heat affective zone. Correspondingly the conditions for fatigue crack initiation are easier.

*List of papers published in "Physicochemical Mechanics of Materials" in 2017..... 119*  
*Authors' index .....*