

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

**ФІЗИКО-ХІМІЧНА
МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ
МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICOCHEMICAL
MECHANICS OF MATERIALS**

Міжнародний науково-технічний журнал
Заснований у січні 1965 року
Виходить 6 разів у рік
том 54, № 1, 2018
січень – лютий
ЛЬВІВ

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. ORYNIAK*, *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 03.03.2018. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 050318 від 05.03.2018. 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", 2018

ЗМІСТ

Національна академія наук України (до 100-річчя з часу заснування).....	7
<i>Панасюк В. В.</i> Львівська наукова школа з проблем механіки матеріалів і матеріалознавства: розвиток і досягнення	12
<i>Назарчук З. Т., Никифорчин Г. М.</i> Структурна та корозійна механіка руйнування як складові фізико-хімічної механіки матеріалів.....	17
<i>Студент М. М., Похмурська Г. В., Задорожна Х. Р.</i> Структура та зносотривкість покривів VC–FeCr та VC–FeCrCo, отриманих надзвуковим газополуменевим напиленням	31
<i>Лук'яненко О. Г., Погрелюк І. М., Поболь І. Л., Труш В. С., Лаврись С. М.</i> Поліпшення антифрикційних властивостей титанового сплаву VT6	38
<i>Гвоздецький В. М.</i> Абразивна зносотривкість легованих електродугових покривів із порошкових дротів.....	46
<i>Левіцький В. С., Масюк А. С., Vialopiotrowicz T., Білий Л. М., Гуменецький Т. В.</i> Морфологія та властивості термопластичних композитів з модифікованими силікатними наповнювачами.....	53
<i>Стечишин М. С., Стечишина Н. М., Мартинюк А. В., Лук'янюк М. М.</i> Міцність і пластичність азотованих у тліючому розряді поверхневих шарів металів	59
<i>Андрейків О. Є., Скальський В. Р., Долінська І. Я., Дзюбик А. Р.</i> Вплив корозивно-наводнювальних середовищ на залишковий ресурс елементів конструкцій за їх маневрового режиму експлуатації	64
<i>Кіндрачук М. В., Вольченко О. І., Вольченко Д. О., Журавльов Д. Ю., Чуфус В. М.</i> Електродинаміка контактної-термічної фрикційної взаємодії в металоолімерних парах тертя	71
<i>Вакулєнко І. О., Болотова Д. М., Грищенко М. А.</i> Вплив ударної хвилі електричного розряду на характеристики втоми термічно зміцненої сталі	79
<i>Маркашова Л. І., Пацін М. О., Бердникова О. М., Міходуй О. Л., Сидоренко Ю. М.</i> Вплив імпульсного електричного струму на тонку структуру алюмінієвого сплаву АМг6 під час електродинамічної обробки	83
<i>Грушко О. В., Гуцалюк О. В., Андрєєв І. В., Мельниченко В. В., Студенець С. Ф.</i> Механічні характеристики сплавів системи W–Ni–Fe	88
<i>Литвиненко Я. В., Маруцак П. О.</i> Застосування адитивної математичної моделі циклічного випадкового процесу і детермінованої функції тренду для аналізу руйнування газопроводу	95
<i>Chang Shu, Гембара О. В., Чепіль О. Я.</i> Розрахунок ресурсу теплоенергетичного обладнання за тривалого статичного навантаження, високої температури та дії водню	105
<i>Weijie Wu, Yanfei Wang, Limin Shen, Jianming Gong.</i> Моделювання уповільненого росту тріщини через присутність водню в металах.....	112
<i>Посувайло В. М.</i> Дослідження спектрів випромінювання електролітної плазми під час синтезу оксидокерамічних покривів на сплавах Д16 та АД33	120
<i>Михаськів В. В., Кунець Я. І., Матус В. В., Бурчак О. В., Балалаєв О. К.</i> Параметризація поширення пружних хвиль у середовищі з ансамблями дискових включень	126
У НАУКОВИХ КОЛАХ	
<i>Стацюк М. Г.</i> Проблеми механіки крихкого руйнування	133
<i>Куриляк Д. Б.</i> Проблеми технічної діагностики та дистанційного зондування	134
<i>Лук'яненко О. Г.</i> Проблеми матеріалознавства та інженерії поверхні металів	137
<i>Червінська Н. Р.</i> Корозія. Захист металів від корозії	140
<i>Франкевич Л. Ф.</i> Захист дисертацій	143

СОДЕРЖАНИЕ

Национальная академия наук Украины (к 100-летию основания).....	7
<i>Панасюк В. В.</i> Львовская научная школа с проблем механики материалов и материаловедения: развитие и достижения	12
<i>Назарчук З. Т., Никифорчин Г. Н.</i> Структурная и коррозионная механика разрушения как составляющие физико-химической механики материалов	17
<i>Студент М. М., Похмурская А. В., Задорожная Х. Р.</i> Структура и износостойкость покрытий VC–FeCr и VC–FeCrCo, полученных сверхзвуковым газопламенным напылением	31
<i>Лукьяненко А. Г., Погрелюк И. Н., Поболь И. Л., Труш В. С., Лаврысь С. М.</i> Улучшение антифрикционных свойств титанового сплава VT6.....	38
<i>Гвоздецкий В. Н.</i> Абразивная износостойкость легированных электродуговых покрытий из порошковых проволок.....	46
<i>Левецкий В. Е., Масюк А. С., Bialopiotrowicz T., Билый Л. М., Гуменецкий Т. В.</i> Морфология и свойства термопластичных композитов с модифицированными силикатными наполнителями	53
<i>Стечишин М. С., Стечишина Н. М., Мартынюк А. В., Лукьянюк Н. Н.</i> Прочность и пластичность азотированных в тлеющем разряде поверхностных слоев металлов	59
<i>Андрейкив А. Е., Скальский В. Р., Долинская И. Я., Дзюбык А. Р.</i> Влияние коррозионно-наводороживающих сред на остаточный ресурс элементов конструкций при их маневренном режиме эксплуатации.....	64
<i>Киндрачук М. В., Вольченко А. И., Вольченко Д. А., Журавлев Д. Ю., Чуфус В. М.</i> Электродинамика контактно-термического фрикционного взаимодействия в металлополимерных парах трения	71
<i>Вакуленко И. А., Болотова Д. М., Грищенко Н. А.</i> Влияние ударной волны электрического разряда на характеристики усталости термически упрочненной стали	79
<i>Маркашова Л. И., Пащин Н. А., Бердникова Е. Н., Миходуй О. Л., Сидоренко Ю. М.</i> Влияние импульсного электрического тока на тонкую структуру алюминиевого сплава АМг6 при электродинамической обработке.....	83
<i>Грушко А. В., Гуцалюк А. В., Андреев И. В., Мельниченко В. В., Студенец С. Ф.</i> Механические характеристики сплавов системы W–Ni–Fe	88
<i>Литвиненко Я. В., Маруцак П. О.</i> Применение аддитивной математической модели циклического случайного процесса и детерминированной функции тренда для анализа разрушения газопровода.....	95
<i>Chang Shu, Гембара О. В., Чепиль О. Я.</i> Расчет ресурса теплоэнергетического оборудования при длительной статической нагрузке, высокой температуре и воздействии водорода	105
<i>Weijie Wu, Yanfei Wang, Limin Shen, Jianming Gong.</i> Моделирование замедленного роста трещины, вызванного водородом в металлах	112
<i>Посувайло В. Н.</i> Исследование спектров излучения электролитной плазмы в процессе синтеза оксидокерамических покрытий на сплавах Д16 и АД33....	120
<i>Михаськив В. В., Кунец Я. И., Матус В. В., Бурчак А. В., Балалаев А. К.</i> Параметризация распространения упругих волн в среде с ансамблями дисковых включений	126
В НАУЧНЫХ КРУГАХ	
<i>Стащук Н. Г.</i> Проблемы механики хрупкого разрушения	133
<i>Курыляк Д. Б.</i> Проблемы технической диагностики и дистанционного зондирования	134
<i>Лукьяненко А. Г.</i> Проблемы материаловедения и инженерии поверхности металлов.....	137
<i>Червинская Н. Р.</i> Коррозия. Защита металлов от коррозии.....	140
<i>Франкевич Л. Ф.</i> Защита диссертаций.....	143

CONTENTS

National Academy of Sciences of Ukraine (to the 100 th anniversary of foundation).....	7
<i>Panasyuk V. V.</i> Lviv scientific school on mechanics of materials and materials science: development and achievements.....	12
<i>Nazarchuk Z. T. and Nykyforchyn H. M.</i> Structural and corrosion fracture mechanics as components of physicochemical mechanics of materials.....	17

РЕЗЮМЕ. На відзначення 100-річчя Національної академії наук України і 90 років від дня народження видатного українського вченого, активного організатора науки та громадського діяча О. М. Романіва проаналізовано його вклад у фізико-хімічну механіку матеріалів на основі результатів розвинутої ним структурної механіки та механіки корозійного руйнування металів.

РЕЗЮМЕ. В ознаменованіе 100-летия Национальной академии наук Украины и 90 лет со дня рождения выдающегося украинского ученого, активного организатора науки и общественного деятеля О. Н. Романива проанализирован его вклад в физико-химическую механику материалов на основе результатов развитых им структурной механики и механики коррозионного разрушения металлов.

SUMMARY. In commemoration of centenary of the National Academy of Science of Ukraine and 90 years from birth of the prominent Ukrainian scientist, active organizer of science and public figure O. M. Romaniv, his contribution to physicochemical mechanics of materials on the basis of his development of structural fracture mechanics and mechanics of corrosion fracture of metals has been analysed.

<i>Student M. M., Pokhmurs'ka H. V., and Zadorozhna Kh. R.</i> Structure and wear resistance of VC–FeCr and VC–FeCrCo coatings obtained by supersonic gas-flame spraying.....	31
---	----

РЕЗЮМЕ. Досліджено зносотривкість покриттів, напилених надзвуковим газополумєневим (HVOF) та плазмовим методами у динамічному вакуумі, з порошків, отриманих механічним легуванням VC–FeCr та VC–FeCrCo. Покриття напиляли з використанням установок Diamond Jet Hybrid gun (пропан–кисень) та JP5000 gun (газ–кисень). Встановлено, що зносотривкість таких покриттів більша у 75–100 разів, ніж основи Д16, в 3–5 разів, ніж сталі ШХ15 (HRC 60), у 1,3 рази, ніж наплавленого шару із порошкового дроту НП 80Х20Р3Т, у 2,5 рази, ніж електродугового покриття із порошкового дроту ПД Х6Ю6Р3 за тертя жорстко закріпленим абразивом.

РЕЗЮМЕ. Исследована износостойкость покрытий, напыленных сверхзвуковым газопламенным (HVOF) и плазменным методами в динамическом вакууме, из порошков полученных механическим легированием VC–FeCr и VC–FeCrCo. Покрытия напыляли с использованием установок Diamond Jet Hybrid gun (пропан–кислород) и JP5000 gun (керосин–кислород). Установлено, что износостойкость этих покрытий выше в 75–100 раз, чем основы Д16, в 3–5 раз, чем стали ШХ15, в 1,3 раза, чем наплавленного слоя из ПД НП 80Х20Р3Т, в 2,5 раза, чем электродугового покрытия из ПД Х6Ю6Р3 при трении жестко закрепленным абразивом.

SUMMARY. The wear resistance of coatings sprayed with supersonic gas-flame (HVOF) and plasma spray method of coatings from powders obtained by mechanical alloying of VC–FeCr and VC–FeCrCo in dynamic vacuum has been investigated. The coatings were sprayed using Diamond Jet Hybrid (propane–oxygen) gun and JP5000 gun (kerosene–oxygen fuel). It was established that the wear resistance of coatings sprayed by these methods is 75–100 times higher than D16 base, 3–5 times higher than ШХ15 steel, 1.3 times higher than the layer sprayed from 80Х20Р3Т powder wire, 2.5 times higher than electric arc coating from Х6Ю6Р3 powder wire under friction by rigidly fixed abrasive.

Luk'yanenko O. H., Pohrelyuk I. M., Pobol I. L., Trush V. S., and Lavrys S. M.

Improvement BT6 titanium alloy antifriction properties..... 38

РЕЗЮМЕ. Вивчено вплив модифікування поверхні титанового сплаву BT6 елементами втілення (азот, кисень) на коефіцієнт тертя в парі з пластиною нержавкої сталі X18H10T за тертя ковзання без мастильного матеріалу з питомим навантаженням 1,0 МПа упродовж 600 с. Виявлено, що значення коефіцієнта тертя нітридного та оксидного покриттів з напиленням вуглецем стабільні, а оксинітридного становить ~0,18.

РЕЗЮМЕ. Проанализировано влияние модифицирования поверхности титанового сплава BT6 элементами внедрения (азот, кислород) на коэффициент трения в паре с пластиной из нержавеющей стали X18H10T при скольжении без смазочного материала с удельной нагрузкой 1,0 МПа в течение 600 с. Вывявлено, что значения коэффициента трения нитридного и оксидного покрытий с ионным напылением углерода более стабильны, а оксинитрида с осажденным углеродом составляет ~0,18.

SUMMARY. The modification effect of the BT6 titanium alloy surface by the interstitial elements (nitrogen, oxygen) on the friction coefficient in the pair with the X18H10T stainless steel plate during sliding without lubricant at a specific load 1.0 МПа during 600 s has been analyzed. It was found that the values of friction coefficient of nitride and oxide coatings with ion sputtering by carbon are more stable, and for oxinitride with sputtered carbon is ~0.18.

Hvozdet'skyi V. M. Abrasive wear resistance of alloyed electric arc sprayed

coatings from powder wires 46

РЕЗЮМЕ. Досліджено структуру, абразивну та газоабразивну зносотривкість електродугових покриттів з порошкових дротів вітчизняних і провідних іноземних фірм TAFA, Praxair, EnDoTec DO, Castolin-EuTronic за кімнатних та підвищених температур. Встановлено, що зносотривкість покриття, напиленого з двох різнорідних дротів, у два рази більша, ніж сталі ШХ15 за випроб закріпленим абразивом внаслідок його підвищеної когезійної міцності, низького рівня залишкових напружень та високої твердості. Виявлено, що за випроб незакріпленим абразивом найвищу зносотривкість має покриття з порошкового дроту марки EnDoTec DO*390N через вміст у його шихті карбідів вольфраму, ванадію та ніобію. Встановлено, що за кімнатної температури газоабразивна зносотривкість покриттів є така ж, як у сталі 12Х1МФ, або суттєво нижча за неї. За підвищення температури понад 400°C вона зростає внаслідок формування оксидів різного складу.

РЕЗЮМЕ. Исследовано структуру, абразивную и газоабразивную износостойкость электродуговых покрытий при комнатных и повышенных температурах отечественных и ведущих иностранных фирм TAFA, Praxair, EnDoTec DO, Castolin-EuTronic. Установлено, что износостойкость покрытия из двух разнородных проволок в два раза выше, чем стали ШХ15 при испытаниях закрепленным абразивом из-за повышенной когезивной прочности, низкого уровня остаточных напряжений и высокой твердости. Установлено, что при испытаниях незакрепленным абразивом высокую износостойкость имеет высоколегированное покрытие из порошковой проволоки марки EnDoTec DO*390N, что обусловлено наличием в шихте карбидов вольфрама, ванадия и ниобия. Вывявлено, что при комнатной температуре газоабразивная износостойкость покрытий такая же, как и стали 12Х1МФ, или ниже. При увеличении температуры выше 400°C их износостойкость растет в результате формирования оксидов разного состава.

SUMMARY. The structure, abrasive and gasabrasive wear resistance of electric arc coatings from powder wires produced by domestic and leading foreign firms TAFA, Praxair, EnDoTec DO, Castolin-EuTronic at room temperature and elevated temperatures were studied. It has been established that the wear resistance of the coating sprayed from

two heterogeneous wires is twice as large as for 11X15 steel during test-fixed abrasive research. It is provided by the increased cohesive strength, low level of residual stresses and high hardness of coatings. It has been found that for researches with non-fixed abrasive the highest wear resistance has the high alloy coating from powdered wire EnDoTec DO*390N. It is provided by the presence of tungsten carbides, vanadium and niobium in the charge. It is established that at room temperature the gasabrasive wear resistance of coatings is the same as for 12X1MФ steel or lower. As temperatures rise above 400°C their wear resistance increases due to the formation of oxides of various composition.

Levytskyi V. Ye., Masiuk A. S., Bialopiotrowicz T., Bilyi L. M., and Humenetskyi T. V.

Thermoplastic composites with modified silicate fillers: morphology and properties 53

РЕЗЮМЕ. Встановлено, що композити на основі поліпропілену, полікапроаміду та модифікованого полівініловим спиртом силікатного наповнювача (СН) кристалічніші зі зменшеним усередненим розміром кристалітів. Виявлено, що наповнювач поліпшує їх пружно-деформаційні і фізико-механічні властивості, зокрема, твердість, міцність під час розривання та модуль пружності. Зафіксовано вплив модифікованого СН на коефіцієнти структури та лінійне теплове розширення композитів.

РЕЗЮМЕ. Установлено, что композиты на основе ПП и ПА-6 и модифицированного поливинилового спиртом силикатного наполнителя (СН) благодаря повышенной технологической совместимости компонентов обладают высокой степенью кристалличности, а также уменьшенным усредненным размером кристаллитов. Выведено, что наполнитель улучшает упругодеформационные и физико-механические свойства, в частности, поверхностную твердость и прочность при разрыве, а также модуль упругости. Обнаружено влияние модифицированного СН на коэффициенты структуры и линейного теплового расширения разработанных композитов.

SUMMARY. It was found that the composites based on polypropylene and polyamide-6 and silicate filler modified by polyvinyl alcohol due to increased technological compatibility between components possess an increased degree of crystallinity and reduced average size of crystallites. It has been established that the filler improves the elasto-deformed and physical-mechanical properties, in particular the surface hardness, breaking strength and modulus of elasticity. The influence of the modified silicate filler on the coefficients of structure and linear thermal expansion of developed composites has been established.

Stechyshyn M. S., Stechyshyna N. M., Martynyuk A. V., and Luk'yanyuk M. M.

Strength and plasticity of metal surface alloys nitrated in glow discharge..... 59

РЕЗЮМЕ. На основі моделей Орована і Мотто–Набарро отримано залежності зміцнення зони внутрішнього азотування від об'ємної частки нітридів і карбідів легувальних елементів, їх діаметра і відстані між ними. Сформовано дифузійні шари з максимальними міцнісними характеристиками легуванням, керуванням морфологією і геометрією виділення нітридів.

РЕЗЮМЕ. На основании моделей Орована и Мотто–Набарро получены зависимости упрочнения зоны внутреннего азотирования от объемной доли нитридов и карбидов легирующих элементов, их диаметра и расстояния между ними. Получены диффузионные слои с максимальными прочностными характеристиками легированием, управлением морфологией и геометрией выделения нитридов.

SUMMARY. On the basis of the Orován and Motto–Nabarro models the dependences of strengthening of the zone of the internal nitriding on the volume fraction of nitride and carbides particles of alloying elements, their diameter and distance between particles. The diffusion layers with maximal strength properties both due to alloying and control of morphology and geometry of nitrides are obtained.

Andreikiv O. Ye., Skalskyi V. R., Dolinska I. Ya., and Dzyubyk A. R. Corrosion and hydrogen environment influence on the residual resource of structural elements under maneuvering regime of their operation 64

РЕЗЮМЕ. Сформульовано енергетичний підхід для визначення кінетики росту тріщин за маневрового режиму експлуатації обладнання і впливу робочих середовищ. Побудовано розрахункові моделі для оцінювання впливу корозивного та водневмісного середовищ на період докритичного росту тріщини повзучості за маневрового режиму експлуатації.

РЕЗЮМЕ. Сформулирован энергетический подход для определения кинетики роста трещин при маневренном режиме эксплуатации оборудования и влияния рабочей среды. Разработаны расчетные модели для оценки воздействия коррозионной и водородосодержащих сред на период докритического роста трещины ползучести при маневренном режиме эксплуатации.

SUMMARY. The energy approach for determining the kinetics of cracks growth for maneuvering regime of equipment operation and influence of working environment is formulated. Calculation models for estimating the influence of corrosive and hydrogen-containing media on the period of creep cracks subcritical growth under maneuvering regime of operation are developed.

Kindrachuk M. V., Volchenko O. I., Volchenko D. O., Zhuravliov D. Yu., and Chufus V. M. Energodynamics of contact-friction interaction in metalpolimeric friction pairs 71

РЕЗЮМЕ. Проілюстровано новий підхід до створення модифікованих матеріалів для пар тертя стрічково-колодкових гальм бурових лебідок.

РЕЗЮМЕ. Проиллюстрирован новый подход к созданию модифицированных материалов для пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок.

SUMMARY. A new approach to the creation of modified materials for friction pairs of band-shoe brakes of draw-works is presented.

Vakulenko I. O., Bolotova D. M., and Gryshchenko M. A. Influence of electrical discharge shock wave on the fatigue characteristics of thermally strengthened steel 79

Виявлено, що обробка термічно зміцненої сталі імпульсами ударної хвилі від електричного розряду у воді призводить до підвищення твердості і обмеженої витривалості за втоми. В результаті виникнення імпульсу ударної хвилі зростає кількість дислокацій, що забезпечує розповсюдження деформації за цикл, а це сприяє збільшенню циклічної витривалості.

РЕЗЮМЕ. Выявлено, что обработка термически упрочненной стали импульсами ударной волны от электрического разряда в воде приводит к повышению твердости и ограниченной выносливости при усталости. В результате возникновения импульса ударной волны растет количество дислокаций для обеспечения распространения деформации за цикл, что способствует увеличению циклической выносливости.

SUMMARY. Treatment of thermally strengthened steel by shock wave pulses from electric discharge in water leads to the increase of hardness and limited endurance under fatigue. As a result of the shock wave pulse the number of dislocations increases what ensures the condition of deformation propagation in a cycle, which facilitates the increase of cyclic endurance.

Markashova L. I., Pashchyn M. O., Berdnykova O. M., Mikhodui O. L.,
and Sydorenko Yu. M. Influence of pulsed electric current on thin structure
of aluminum AMg6 alloy under electrodynamic treatment 83

РЕЗЮМЕ. Залишкові напруження негативно впливають на довговічність зварного з'єднання, спричиняючи крихке руйнування металу – корозійне розтріскування. Тому важливо розробити ефективні методи зниження напружень розтягу, що відрізняються незначними енергетичними затратами і простотою реалізації. Одним із них є електродинамічна обробка (ЕДО), заснована на проходженні імпульсів електричного струму (ІЕС) через оброблюваний метал у момент прикладання до нього динамічного навантаження. Встановлено, що після проходження ІЕС через зразки алюмінієвого сплаву АМг6 підвищується ефективність ЕДО: знижуються локальні внутрішні напруження через впорядкованість дислокаційної субструктури. Результати, одержані під час застосування ударного навантаження (без проходження ІЕС), а також взаємодії ударного навантаження і проходження ІЕС, підтверджують гіпотезу про вплив електрон-дислокаційної взаємодії на внутрішні напруження у сплаві АМг6.

РЕЗЮМЕ. Остаточные напряжения негативно влияют на долговечность сварного соединения, являясь основной причиной хрупкого разрушения металла – коррозионного растрескивания. Поэтому важно разрабатывать эффективные методы снижения напряжений растяжения, отличающиеся малыми энергетическими затратами и простотой реализации. Одним из них является электродинамическая обработка (ЭДО), основанная на прохождении импульсов электрического тока (ИЭТ) через металл в момент приложения к нему ударной нагрузки. Установлено, что вследствие прохождения ИЭТ через образцы алюминиевого сплава АМг6 повышается эффективность ЭДО: снижаются локальные внутренние напряжения из-за упорядоченности дислокационной субструктуры. Полученные результаты при использовании ударного (без прохождения ИЭТ), а также совместного ударного и электроимпульсного воздействий подтверждают гипотезу о влиянии электрон-дислокационного взаимодействия на снижение локальных внутренних напряжений в сплаве АМг6.

SUMMARY. Residual stresses negatively affect the service life of a welded joint, being at the same time the main cause of metal brittle fracture – corrosion cracking. Proceeding from that, the development of the effective methods for reducing tensile stresses, characterized by low power consumption and easy realization, is important. One of such methods is the electrodynamic treatment (EDT), based on passing of electric current pulses (ECP) through the metal being treated at the moment of applying dynamic load to it. It was found that ECP passing through of AMg6 aluminum alloy specimens increases the efficiency of EDT in reducing local internal stresses, due to ordering of the dislocation substructure. The results of evaluation of local internal stresses distributions, obtained after EDT, realizing the dynamic action (without ECP passing), as well as interaction of dynamic and electric pulsed effects, confirm the hypothesis about the influence of electron-dislocation interaction on reduction of local internal stresses in the AMg6 alloy.

Grushko O. V., Gutsalyuk O. V., Andreiev I. V., Melnichenko V. V., and Studenets S. F.
Some mechanical properties of W–Ni–Fe system high-density alloy 88

РЕЗЮМЕ. Досліджено механічні властивості сплаву типу ВНЗ (вольфрам–нікель–залізо) з вмістом вольфраму та зв'язки 89 і 11 mass% відповідно на основі нікелю та заліза зі співвідношенням 7:3. Для сплаву побудовано криву текучості, діаграму пластичності, градувальні графіки твердість–напруження–деформація. На основі отриманих результатів механічних випробувань в умовах стиску, розтягу та кручення проаналізовано можливість застосування холодного пластичного деформування до сплаву.

РЕЗЮМЕ. Представлены результаты исследований, направленных на исследование основных физико-механических свойств тяжелого сплава на основе вольфрама типа ВНЖ (системы W–Ni–Fe) с высоким содержанием связки (11 mass%). Построе-

на кривая течения, диаграмма пластичности и градуировочные графики твердость–напряжение–деформация. Показана возможность применения к сплавам типа ВНЖ метода холодного пластического деформирования.

SUMMARY. The results of research aimed at the study of the basic physical and mechanical properties of a heavy alloy based on tungsten (system W–Ni–Fe) with a high content of ligament (11 mass%) are presented. The curve of the yield, plasticity diagram and calibration curves hardness–stress–strain are constructed. The possibility of applying the method of cold plastic deformation for the W–Ni–Fe alloy is shown.

Lytvynenko Ia. V. and Maruschak P. O. Application of adaptive mathematical model of cyclic random process and deterministic trend function for the analysis of pipeline fracture 95

РЕЗЮМЕ. Запропоновано підхід до математичного аналізу тріщиностійкості сталі магістрального газопроводу, який дає змогу кількісно оцінити кінетику динамічного руйнування труби з урахуванням стохастичності та циклічності цього процесу. Він створює можливості для моделювання поширення тріщини в трубі магістрального газопроводу та аналізу окремих етапів її підростання. Особливу увагу приділено достовірності пропонованого підходу на основі порівняння з відомим натурним експериментом.

РЕЗЮМЕ. Предложен подход к математическому анализу трещиностойкости стали магистрального газопровода, который позволяет количественно оценить кинетику динамического разрушения трубы с учетом стохастичности и цикличности этого процесса. Он создает возможности моделирования распространения трещины в трубе магистрального газопровода и анализа отдельных этапов ее подрастания. Особое внимание уделено обоснованию достоверности предлагаемого подхода на основе сравнения с известным натурным экспериментом.

SUMMARY. An approach to the mathematical analysis of the fracture strength of the main gas pipe steel is proposed. It allows evaluating quantitatively the kinetics of the pipe dynamic fracture taking into account the stochastic and cyclic nature of the process. It gives the possibility of modelling the kinetics of crack propagation in the pipe of the main gas pipeline and analyzing the separate stages of its growth. Particular attention is paid to the reliability of the proposed approach based on the comparison with a known full-scale experiment.

Chang Shu, Hembara O. V., and Chepil O. Ya. Evaluation of heat-power equipment resource under long-term static loading, high temperature and action of hydrogen..... 105

РЕЗЮМЕ. Запропоновано енергетичний підхід для визначення показників довговічності елементів конструкцій теплоенергетичного обладнання. За допомогою цього підходу встановлено показники довговічності для барабана парового котла в умовах повзучості та наводнювання металу. Показано, що водень зменшує тривалість експлуатації металу за планової зупинки котла >15%, а за аварійної зупинки >20%. Встановлено, що аварійні зупинки зменшують час до руйнування для всіх досліджуваних рівнів наводнювання металу на 30...35% порівняно з плановим охолодженням.

РЕЗЮМЕ. Предложен энергетический подход для определения показателей долговечности элементов конструкций теплоэнергетического оборудования. С помощью этого подхода определены показатели долговечности для барабана парового котла в условиях ползучести и наводраживания металла. Показано, что водород уменьшает время эксплуатации металла при плановой остановке котла >15%, а за аварийной остановке >20%. Установлено, что аварийные остановки уменьшают время до разрушения для всех исследуемых уровней наводраживания металла на 30...35% по сравнению с плановым охлаждением.

SUMMARY. The energy approach is proposed for determining the durability of elements of heat and power equipment constructions. As an example of using the proposed approach, the definition of durability indicators for a steam boiler drum under conditions of creep and hydrogenation of the metal is considered. It is shown that hydrogen reduces the operating time of the metal for the boiler a planned stop more than by 15%, and for an emergency stop by more than 20%. It has been established that emergency stops reduce the time to destruction for all investigated levels of hydrogenation of the metal by 30...35% compared to the planned cooling.

Weijie Wu, Yanfei Wang, Limin Shen, and Jianming Gong. Modelling the slow crack growth due to internal hydrogen in metals 112

РЕЗЮМЕ. Повільний ріст спричинених воднем тріщин, як правило, має три різні стадії. Ріст тріщини на стадіях I і II визначає дифузія водню. Запропоновано модель, яка описує кінетику росту водневої тріщини на першій і другій стадіях, викликані механічними напруженнями і посиленого воднем механізму декогезії під час водневого розтріскування, на основі лінійної механіки руйнування, теорії дифузії водню. Модель дає змогу прогнозувати швидкість росту тріщини da/dt залежно від коефіцієнта інтенсивності напружень K_I і початкової концентрації водню. Для перевірки теоретичної моделі використовували подані в літературі експериментальні результати і отримали їх задовільну збіжність.

РЕЗЮМЕ. Медленный рост трещин, вызванных водородом, как правило, имеет три различных стадии. Рост трещины на стадиях I и II определяет диффузия водорода. Предложено модель, описывающую кинетику роста водородной трещины на первой и второй стадиях, вызванной механическим напряжением и усиленного водородом механизма декогезии при водородном растрескивании, на основе линейной механики разрушения, теории диффузии водорода. Модель позволяет прогнозировать скорость роста трещины da/dt в зависимости от коэффициента интенсивности напряжений K_I и начальной концентрации водорода. Для проверки теоретической модели использовали представленные в литературе экспериментальные результаты и получили их удовлетворительное совпадение.

SUMMARY. Hydrogen-induced slow crack growth generally exhibits three distinct stages of crack growth kinetics, and stages I and II are hydrogen diffusion-controlled. A model describing the crack growth kinetics of stages I and II due to internal hydrogen is proposed, based on the linear-elastic fracture mechanics, stress-induced hydrogen diffusion theory and hydrogen-enhanced decohesion mechanism for hydrogen-induced cracking. The model predicts the crack growth rate da/dt of both stages I and II as a function of the stress intensity factor K_I and initial hydrogen concentration level. Some experimental data reported in literature are used to validate the model and a good agreement is obtained.

Posuvailo V. M. Investigations of electrolytic plasma radiation spectrum during synthesis of oxidoceramic coatings on Д16 and АД33 alloys 120

РЕЗЮМЕ. Досліджено спектри випромінювання електролітної плазми під час синтезу оксидокерамічних покриттів на алюмінієвих сплавах АД33 та Д16. За вимірюванням розширення лінії водню H_{α} встановлено густину електронів у плазмі $(5,2...5,7) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Температуру електронів розраховано за відносними інтенсивностями випромінювання атомів (Al I – 3082,15 Å; Al I – 3092,7 Å; Al I – 3944,8 Å; Al I – 3961,5 Å) та іонів алюмінію (Al II – 3586,9 Å) і вона дорівнює $(6,9...7,6) \cdot 10^3 \text{ K}$. Показано, що після 7 min синтезу оксидокерамічного покриття на сплав Д16 у спектрі присутні лінії випромінювання Cu I – 3247,54 Å та Cu I – 3273,95 Å, які є найчутливішими. За 7 min формується оксидокерамічний покриття завтовшки 5...10 μm . Найімовірніше, що на цій відстані розрядні канали діятимуть на максимальну кількість включень інтерметалідів і міді в плазмі стане найбільше.

РЕЗЮМЕ. Исследованы спектры излучения электролитной плазмы в процессе синтеза оксидокерамических покрытий на алюминиевых сплавах АД33 и Д16. По уширению линии водорода H_{α} определена плотность электронов в плазме $(5,2...5,7) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Температура электронов рассчитана по относительным интенсивностям излучения атомов (Al I – 3082,15 Å; Al I – 3092,7 Å; Al I – 3944,8 Å; Al I – 3961,5 Å) и ионов алюминия (Al II – 3586,9 Å) и она составляет $(6,9...7,6) \cdot 10^3 \text{ K}$. Показано, что после 7 min синтеза оксидокерамического покрытия на сплаве Д16 в спектре присутствуют линии излучения Cu I – 3247,54 Å и Cu I – 3273,95 Å, которые являются самыми чувствительными. За это время толщина оксидокерамического покрытия возрастет до 5...10 μm и наиболее вероятно, что на этом расстоянии разрядные каналы начнут действовать на максимальное количество интерметаллидов и содержание меди в плазме станет максимальным.

SUMMARY. The radiation spectra of electrolyte plasma during the synthesis of oxide-ceramic coatings on aluminum AD33 and D16 alloys were studied. The density of electrons in plasma $(5.2...5.7) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ is calculated by broadening the hydrogen line H_{α} . The electron temperature is calculated from the relative intensity of atoms emission (Al I 3082.15 Å; Al I 3092.7 Å; Al I 3944.8 Å; Al I 3961.5 Å) and aluminum ions (Al II 3586.9 Å) and it equals $(6.9...7.6) \cdot 10^3 \text{ K}$. It is shown that in the spectrum after 7 min of synthesis of an oxide-ceramic coating on D16 alloy the emission lines Cu I – 3247.54 Å and Cu I – 3273.95 Å are present, which are the most sensitive. During this time, the thickness of the oxide-ceramic coating will increase to 5...10 μm and it is more likely that at this distance the discharge channels will influence on the maximum amount of intermetallic inclusion and the copper content in the plasma will be maximal.

Mykhas'kiv V. V., Kunets Ya. I., Matus V. V., Burchak O. V., and Balalayev O. K.

Parameterization of elastic wave propagation in a media with ensembles of disc inclusions 126

РЕЗЮМЕ. Запропоновано метод визначення ефективних (усереднених) швидкостей та коефіцієнтів загасання пружних хвиль у середовищі з двома ансамблями розподілених дискових включень – податливими та слабконтрастними. Включення характеризуються як власними ансамблевими об'ємними концентраціями, так і впорядкованою чи хаотичною орієнтаціями у просторі. Реалізація методу передбачає використання дисперсійного співвідношення Фолді із залученням розв'язків задач розсіяння пружних хвиль локальними неоднорідностями. Числово проаналізовано вплив концентрацій різнотипних включень та хвильового числа на ефективну швидкість пружної поздовжньої хвилі.

РЕЗЮМЕ. Предложен метод определения эффективных (усредненных) скоростей и коэффициентов затухания упругих волн в среде с двумя ансамблями совместно распределенных дисковых включений – податливыми и слабконтрастными. Включения характеризуются как собственными ансамблевыми объемными концентрациями, так и упорядоченной либо хаотической ориентациями в пространстве. Реализация метода предусматривает использование дисперсионного соотношения Фолди с привлечением решений задач рассеяния упругих волн локальными неоднородностями. Численно проанализировано влияние концентраций разнотипных включений и волнового числа на эффективную скорость упругой продольной волны.

SUMMARY. Method for the determination of effective (averaged) velocities and attenuation coefficients of elastic waves in the medium with two ensembles of distributed disc inclusions, namely compliant and low-contrast, is proposed. The inclusions are characterized by the proper ensemble volume concentrations, as well as by aligned or random space orientations. Method realization foresees the application of Foldy's dispersion relation involving the solution of wave scattering problem by single inhomogeneity. The influence of volume concentration of different type inclusions and wave number on the effective velocity of elastic longitudinal wave is numerically analyzed.

IN SCIENTIFIC CIRCLES

<i>Stashchuk M. H.</i> Problems of brittle fracture mechanics.....	133
<i>Kuryliak D. B.</i> Problems of technical diagnostics and remote sensing	134
<i>Luk'yanenko O. H.</i> Problems of materials science and surface engineering of metals	137
<i>Chervinska N. R.</i> Corrosion. Corrosion protection of metals	140
<i>Frankevych L. F.</i> Defence of thesis.....	143