

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 52, № 1, 2016
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*, *І. К. ПОХОДНЯ*, *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. ТЕПЛІН* (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*, *I. K. POKHODNIA*, *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.: (380) 322 63-73-74,
(380) 322 29-62-30. Fax: (380) 322 64-94-27.
E-mail: pcmm@ipm.lviv.ua

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

Редактори *Д. С. Бриняк*, *О. Т. Досин*, *Л. Є. 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 24.02.2016. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 010316 від 01.03.2016. 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", 2016

ЗМІСТ

<i>Потапов О. М., Сімбіркіна А. М., Черваков О. В., Кисіль В. М.</i> Розробка і перспективи застосування синтактичних пінопластів як теплозахисних матеріалів ракетно-космічної техніки	7
<i>Бичков А. С., Федірко В. М.</i> Аналіз експлуатаційних руйнувань металевих конструкцій авіаційної техніки	14
<i>Левицький В. С., Масюк А. С., Самойлюк Д. С., Білий Л. М., Гуменецький Т. В.</i> Морфологія та властивості полімерсилікатних композитів	21
<i>Букетов А. В., Брайло М. В., Кобельник О. С., Акімов О. В.</i> Трибологічні властивості епоксикомпозитів, наповнених дисперсними частинками і термопластами	28
<i>Yezli D., Legouera M., El Abdi R., Poulain M., and Burgaud V.</i> Механічні, термічні та оптичні властивості нового хлорантимонітового скла у системі $Sb_2O_3-PbCl_2-AgCl$	36
<i>Пархоменко О. О., Воеводін В. М., Брик В. В., Купріянова Ю. Е., Лантєв І. М., Ожигов Л. С., Савченко В. І.</i> Особливості радіаційної крихкості сталей EI-852 та ЕП-450, опромінених до доз 10...100 дра.....	44
<i>Дурагіна З. А., Ковбасюк Т. М., Беспалов С. А., Підкова В. Я.</i> Мікромеханічні та електрофізичні властивості наноструктурованих діелектричних покриттів Al_2O_3 на плоских нагрітих елементах.....	51
<i>Погрелюк І. М., Кіндрачук М. В., Лавриш С. М.</i> Зносотривкість титанового сплаву BT22 після азотування, суміщеного з термічною обробкою	56
<i>Казберук А., Саврук М. П.</i> Розподіл напружень біля кутових вирізів в ортотропній площині за симетричного навантаження	61
<i>Кундрат М. М.</i> Робоча довжина високомодульного лінійного включення за дії зосереджених циклічних сил в умовах плоскої задачі.....	69
<i>Андрейко І. М., Головатюк Ю. В., Остап О. П., Семенець О. І., Ковальчук Л. Б.</i> Анізотропія циклічної тріщиностійкості алюмінієвих сплавів після тривалої експлуатації	77
<i>Дзюбик А. Р., Николишин Т. М., Пороховський Ю. В.</i> Вплив залишкових напружень на граничну рівновагу трубопроводу з внутрішньою тріщиною довільної конфігурації	83
<i>Калиняк Б. М.</i> Забезпечення нульових радіальних напружень у неоднорідному довгому порожнистому циліндрі стаціонарним температурним полем	91
<i>Козак Л. Ю.</i> Дискретні моделі пластичної деформації твердих тіл під впливом високого гідростатичного тиску	98
<i>Литвиненко Я. В., Маруцак П. О., Лупенко С. А., Попович П. В.</i> Моделювання впорядкованого рельєфу поверхні статично деформованого алюмінієвого сплаву	102
<i>Bendaha H., Elmsellem H., Aouniti A., Mimouni M., Chetouani A., Hammouti B.</i> Випробування природного складника олії цитрусових як екологічно чистого інгібітора сталі у 1 М НСІ.....	111
<i>Слободян З. В., Маглатюк Л. А., Хабурський Я. М., Купович Р. Б.</i> Вплив екстрактів рослинної сировини на корозію та корозійно-втомне руйнування сталі у прісній воді	119
<i>Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Мельник М. І.</i> Вимірювання електричних потенціалів для діагностування протикорозійного захисту металоконструкцій.....	126

ЮВІЛЕЇ

Володимир Панасюк (до 90-річчя від дня народження)	131
Григорій Никифорчин (до 70-річчя від дня народження)	133

У НАУКОВИХ КОЛАХ

<i>Ясній П. В., Никифорчин Г. М.</i> XIV польсько-українсько-німецька Літня школа з механіки руйнування	134
<i>Стацук М. Г.</i> Проблеми механіки крихкого руйнування	136
<i>Лук'яненко О. Г.</i> Проблеми матеріалознавства та інженерії поверхні металів	138
<i>Червінська Н. Р.</i> Корозія. Захист металів від корозії.....	139
<i>Рицар Д. І.</i> Захист дисертацій	142

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Потапов А. М., Симбиркина А. Н., Черваков О. В., Кисель В. М.</i> Разработка и перспективы применения синтактных пенопластов в качестве теплозащитных материалов ракетно-космической техники.....	7
<i>Бычков А. С., Федирко В. Н.</i> Анализ эксплуатационных разрушений металлических конструкций авиационной техники.....	14
<i>Левицкий В. Е., Масюк А. С., Самойлюк Д. С., Билый Л. М., Гуменецкий Т. В.</i> Морфология и свойства полимерсиликатных композитов.....	21
<i>Букетов А. В., Браило Н. В., Кобельник О. С., Акимов А. В.</i> Трибологические свойства эпоксикомпозитов, наполненных дисперсными частицами и термопластами.....	28
<i>Yezli D., Legouera M., El Abdi R., Poulain M., and Burgaud V.</i> Механические, термические и оптические свойства нового хлорантимонитового стекла в системе $Sb_2O_3-PbCl_2-AgCl$	36
<i>Пархоменко А. А., Воеводин В. Н., Брык В. В., Куприянова Ю. Э., Лантев И. Н., Ожигов Л. С., Савченко В. И.</i> Особенности радиационной хрупкости сталей EI-852 и EP-450, облученных до доз 10...100 фра.....	44
<i>Дурагина З. А., Ковбасюк Т. М., Беспалов С. А., Пидкова В. Я.</i> Микромеханические и электрофизические свойства наноструктурированных диэлектрических покрытий Al_2O_3 на плоских нагревательных элементах.....	51
<i>Погрелюк И. Н., Киндрачук М. В., Лаврысь С. М.</i> Износостойкость титанового сплава BT22 после азотирования, совмещенного с термической обработкой.....	56
<i>Казберук А., Саврук М. П.</i> Распределение напряжений возле угловых вырезов в ортотропной плоскости при симметричном нагружении.....	61
<i>Кундрат Н. М.</i> Рабочая длина высокомодульного линейного включения при воздействии сосредоточенных циклических сил в условиях плоской задачи.....	69
<i>Андрейко И. М., Головатюк Ю. В., Остап О. П., Семенец О. И., Ковальчук Л. Б.</i> Анизотропия циклической трещиностойкости алюминиевых сплавов после длительной эксплуатации.....	77
<i>Дзюбык А. Р., Николишин Т. М., Пороховский Ю. В.</i> Влияние остаточных напряжений на предельное равновесие трубопровода с внутренней трещиной произвольной конфигурации.....	83
<i>Кальняк Б. Н.</i> Обеспечение нулевых радиальных напряжений в неоднородном длинном полом цилиндра стационарным температурным полем.....	91
<i>Козак Л. Ю.</i> Дискретные модели пластической деформации твердых тел под воздействием высокого гидростатического давления.....	98
<i>Литвиненко Я. В., Марущак П. О., Лупенко С. А., Попович П. В.</i> Моделирование упорядоченного рельефа поверхности статически деформированного алюминиевого сплава.....	102
<i>Bendaha H., Elmsellem H., Aouniti A., Mimouni M., Chetouani A., Hammouti B.</i> Испытания природной составляющей масла цитрусовых как экологически чистого ингибитора стали в 1 М HCl.....	111
<i>Слободян З. В., Маглатюк Л. А., Хабурский Я. М., Купович Р. Б.</i> Влияние экстрактов растительного сырья на коррозию и коррозионно-усталостное разрушение стали в пресной воде.....	119
<i>Джгала Р. М., Вербенец Б. Я., Мельник М. И.</i> Измерение электрических потенциалов для диагностики противокоррозионной защиты металлоконструкций.....	126

ЮБИЛЕИ

Владимир Панасюк (к 90-летию со дня рождения).....	131
Григорий Никифорчин (к 70-летию со дня рождения).....	133

В НАУЧНЫХ КРУГАХ

<i>Ясний П. В., Никифорчин Г. Н.</i> XIV польско-украинско-немецкая Летняя школа по механике разрушения.....	134
<i>Стацук Н. Г.</i> Проблемы механики хрупкого разрушения.....	136
<i>Лукьяненко А. Г.</i> Проблемы материаловедения и инженерии поверхности металлов.....	138
<i>Червинская Н. Р.</i> Коррозия. Защита металлов от коррозии.....	139
<i>Рыцар Д. И.</i> Защита диссертаций.....	142

CONTENTS

Potapov A. M., Simbirkina A. N., Chervakov O. V., and Kisel V. M.

Development and potential application of sputtered syntactic foam plastic materials as the heat-protective materials in space rocket technologies7

РЕЗЮМЕ. Приведена інформація про розробку та експлуатаційних властивостях синтактичних пінопластів марки НТЗП-У на основі поліуретанових водних дисперсій, скляних і полімерних мікросфер. Указані дані про теплофізических властивостях і стійкості розроблених теплозахисних матеріалів в умовах, моделюючих температурний режим поверхні на покритті головного обтекателя ракетноносія “Днепр” в польоті.

РЕЗЮМЕ. Наведена інформація про розробку та експлуатаційні властивості синтактичних пінопластів марки НТЗП-У на основі поліуретанових водних дисперсій, скляних і полімерних мікросфер. Подано результати про теплофізических властивості і тривкість розроблених теплозахисних матеріалів в умовах, що моделюють температурний режим поверхні на покритті головного обтічника ракетноносія “Дніпро” у польоті.

SUMMARY. The information on the development and performance properties of syntactic polyfoams НТЗП-У based on polyurethane water dispersions, glass and polymeric microspheres is presented. Thermophysical properties and durability data of the developed heat-protective materials under the conditions simulating the surface temperature mode at the payload fairing coatings of Dnepr launch vehicle in flight are given.

Bychkov A. S. and Fedirko V. M. Analysis of the operating fractures of metal constructions in aircraft technology..... 14

РЕЗЮМЕ. Проаналізовано основні причини руйнування авіаційних конструкцій зі сталі, алюмінієвих та титанових сплавів. На основі досвіду експлуатації літаків “Ан” описано методи запобігання типових руйнувань металевих деталей і вузлів авіаційної техніки.

РЕЗЮМЕ. Проанализированы основные причины разрушения авиационных конструкций из стали, алюминиевых и титановых сплавов. На основе опыта эксплуатации самолетов “Ан” оценены методы предотвращения типичных разрушений металлических деталей и узлов авиационной техники.

SUMMARY. The main reasons of fracture of the aircraft structures made from steels, aluminum and titanium alloys are analyzed. On base of operation experience of the aircrafts “An” the methods of typical fracture prevention of the metallic details and assemblies in aircraft technology are described.

Levytskyi V. Ye., Masiuk A. S., Samoiliuk D. S., Bilyi L. M., and Humenetskyi T. V. Morphology and properties of polymer silicate composites.21

РЕЗЮМЕ. Встановлено вплив природи, концентрації і способу введення полімерного модифікатора та осаджувача на одержання полімерсилікатного матеріалу. Досліджено морфологічні особливості металовмісних полімерсилікатних композитів та їхню дію на фізико-хімічні закономірності тверднення та властивості модифікованих матеріалів на основі ненасичених поліестерних смол. Встановлено, що на модифікування поліестерних матеріалів суттєво впливає природа та вміст силікатних наповнювачів, які визначають фізико-механічні властивості (поверхневу твердість, міцність адгезійних з'єднань).

РЕЗЮМЕ. Установлено влияние природы, концентрации и способа введения полимерного модификатора и осадителя на получения полимерсиликатного материала. Исследованы морфологические особенности металлосодержащих полимерсиликатных композитов и их влияние на физико-химические закономерности твердения и свойства модифицированных материалов на основе ненасыщенных полиэфирных смол. Установлено, что на модификацию полиэфирных материалов значительно влияют природа и содержание силикатных наполнителей, которые определяют физико-механические свойства (поверхностную твердость, прочность адгезионных соединений).

SUMMARY. The influence of nature, concentration and mode of introduction of polymer modifier and precipitant on the physicochemical process of obtaining polymer-silicate material has been investigated. Morphological features of the obtained polymer-silicate metal containing composites and their impact on physicochemical regularities of hardening and properties of the modified materials based on unsaturated polyester resins are investigated. The significant impact of nature and content of the modified silicate fillers on polyester materials modification that determine the physicomachanical properties (surface hardness, strength of adhesive joints) have been investigated.

Buketov A. V., Brailo M. V., Kobelnik O. S., and Akimov O. V. Tribological properties of epoxy composite materials filled with dispersed particles and thermoplastic materials 28

РЕЗЮМЕ. Встановлено, що найвищі трибологічні властивості має матеріал, наповнений частинками антифрикційного графіту марки АГ-1500 (дисперсність 63...80 μm), перліту (дисперсність 5...10 μm) та гранулами поліаміду ПА-6 у співвідношенні 60:20:30, відповідно. Такий композит за швидкості ковзання $v = 1,0$ м/с має такі властивості: момент тертя $M = 1,0...1,2$ Н·м, коефіцієнт тертя $f = 0,20...0,22$, температура $T = 340...341$ К, інтенсивність зношування $I_m = 0,4...0,5$ мг/км, шлях припрацювання $l = 2500...3000$ м.

РЕЗЮМЕ. Установлено, что лучшими трибологическими свойствами отличается материал, наполненный частицами антифрикционного графита марки АГ-1500 (дисперсность 63...80 μm), перлита (дисперсность 5...10 μm) и гранулами полиамида ПА-6 в соотношении 60:20:30 соответственно. Такой композит при скорости скольжения $v = 1,0$ м/с имеет следующие свойства: рабочий момент трения $M = 1,0...1,2$ Н·м, коэффициент трения $f = 0,20...0,22$, рабочая температура $T = 340...341$ К, интенсивность изнашивания $I_m = 0,4...0,5$ мг/км, путь приработки $l = 2500...3000$ м.

SUMMARY. It is established that the best tribological properties has the material filled with particles of anti-friction АГ-1500 graphite (dispersion 63...80 μm), pearlite (dispersion 5...10 μm) and granules of polyamide ПА-6 in a ratio of 60:20:30, respectively. This composite for sliding velocity $v = 1.0$ m/s has the following properties: working moment of friction $M = 1.0...1.2$ N·m, friction coefficient $f = 0.20...0.22$, operating temperature $T = 340...341$ K, wear intensity $I_m = 0.4...0.5$ mg/km, the running-in path $l = 2500...3000$ m.

Yezli D., Legouera M., El Abdi R., Poulain M., and Burgaud V. Mechanical, thermal and optical properties of new chloroantimonite glasses in the $Sb_2O_3-PbCl_2-AgCl$ system..... 36

РЕЗЮМЕ. Описано нові хлорантімонітові скла, отримані в потрійній системі $Sb_2O_3-PbCl_2-AgCl$. Подано результати дослідження їх теплових, оптичних і механічних властивостей. Вміст хлориду у складі цих матеріалів збільшено, що вплинуло на їх мікротвердість. Залежно від вмісту $AgCl$ мікротвердість скла змінювалася в межах від 110 до 140 МПа. Оптичний діапазон пропускання збільшений з 400 nm у видимій області спектра до 7 μm в інфрачервоному спектрі. Показник заломлення ~2. Температура склування, виміряна методом диференційної сканівної калориметрії, колива-

лася в межах 250...290°C. Відмічено, що вона зменшується за заміни Sb_2O_3 AgCl і найстабільніша система з 20% PbCl_2 у склі $(80-x)\text{Sb}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-x\text{AgCl}$.

РЕЗЮМЕ. Описаны новые хлорантимонитовые стекла, полученные в тройной системе $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-AgCl}$. Представлены результаты исследований их тепловых, оптических и механических свойств. Содержание хлорида в составе этих материалов увеличено, что повлияло на их микротвердость. В зависимости от содержания AgCl микротвердость стекла изменялась в пределах от 110 до 140 МПа. Оптический диапазон пропускания увеличен от 400 нм в видимой области спектра до 7 мкм в инфракрасном спектре. Показатель преломления ~ 2 . Температура стеклования, измеренная методом дифференциальной сканирующей калориметрии, колебалась в пределах 250...290°C. Отмечено, что она уменьшается в меру замены Sb_2O_3 AgCl и наиболее стабильная система с 20% PbCl_2 в стекле $(80-x)\text{Sb}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-x\text{AgCl}$.

SUMMARY. New chloroantimonite glasses were obtained in the $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-AgCl}$ ternary system. Thermal, optical and mechanical properties were studied. The silver chloride concentration was increased at the expense of antimony oxide according to the following composition rules: $(80-x)\text{Sb}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-x\text{AgCl}$; $(70-x)\text{Sb}_2\text{O}_3-30\text{PbCl}_2-x\text{AgCl}$. Depending on AgCl content, Vickers micro-hardness varied between 110 МПа and 140 МПа. Elastic moduli were measured by ultrasonic velocity. The optical transmission range extended from 400 nm in the visible spectrum to 7 мкм in the infrared spectrum. The refractive index was close to 2. Glass transition temperature measured by DSC ranged from 250 to 290°C. It was noticed that the glass transition temperature decreased as AgCl substitute for Sb_2O_3 and the more stable system was with 20% PbCl_2 in the $(80-x)\text{Sb}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-x\text{AgCl}$.

Parkhomenko O. O., Voyevodin V. M., Bryk V. V., Kupriyanova Yu. E., Laptev I. M., Ozhigov L. S., and Savchenko V. I. Peculiar features of radiation embrittlement of EI-852 and ЕП-450 steels irradiated to doses 10...100 dpa44

РЕЗЮМЕ. Методом імітації впливу реакторного опромінення за допомогою прискорювачів заряджених частинок досліджено механізми радіаційної крихкості та мікроструктуру деформованих нержавних сталей: феритно-мартенситної ЕП-450 та феритної EI-852, опромінені до доз 10...100 дпа. Встановлено особливості розвитку в них процесів пластичної нестабільності та зародження тріщин. Порівняно отримані результати з одержаними для аустенітної сталі, опроміненої та деформованої у подібних умовах.

РЕЗЮМЕ. С помощью методов имитации влияния реакторного облучения с использованием ускорителя заряженных частиц исследованы механизмы радиационной хрупкости, а также микроструктура деформированных нержавеющей сталей: ферритно-мартенситной ЕП-450 и ферритной EI-852, облученных до доз 10...100 дпа. Определены особенности развития в них процессов пластической нестабильности и зарождения трещин. Сравнены результаты исследования с полученными для аустенитной стали, облученной и деформированной в подобных условиях.

SUMMARY. The mechanisms of radiation brittleness and deformed stainless steels microstructure: ferritic-martensitic steel ЕП-450 and ferritic steel EI-852, irradiated to doses of 10...100 dpa displacements per atom using the method of simulating the effect of reactor irradiation with application of charged particles accelerator were investigated. Specific features of the processes of plastic instability and cracks initiation in deformed irradiated steels were estimated. The results of investigation of austenitic and irradiated steels and of deformed steel under similar conditions were compared.

Duryahina Z. A., Kovbasiuk T. M., Bepalov S. A., and Pidkova V. Ya.

Micromechanical and electrophysical properties of nanostructured Al_2O_3 dielectric coatings on flat heating elements 51

РЕЗЮМЕ. З використанням іонно-плазмової розрядної системи на плоскому нагрівному елементі з алюмомагнієвого сплаву АМг2 отримано діелектричний шар Al_2O_3 нанорозмірної структури. Напилений шар складається з двох підшарів загальною товщиною 13...15 μm з розміром зерен від 4 до 306 nm. Шорсткість поверхні знаходиться в межах 50...60 nm. За коефіцієнта адгезії HSC ~ 1 мікротвердість шару Al_2O_3 за Меєром становить 0,788, а модуль Юнга – 75,433 GPa.

РЕЗЮМЕ. С использованием ионно-плазменной разрядной системы на плоском нагревательном элементе из сплава АМг2 получено диэлектрический слой Al_2O_3 наноразмерной структуры. Напыленный слой состоит из двух подслоев общей толщины 13...15 μm с размером зерен от 4 до 306 nm. Шероховатость поверхности находится в пределах 50...60 nm. При коэффициенте адгезии HSC ~ 1 микротвердость слоя Al_2O_3 по Мееру составляет 0,788, а модуль Юнга – 75,433 GPa.

SUMMARY. Using the ion-plasma discharge system for film heating elements (substrate Al-Mg alloy) the Al_2O_3 dielectric film with nanoscale structure is obtained. Al_2O_3 layer consists of two sublayers with total thickness of 13...15 μm with a grain size of 4...306 nm. Surface roughness is 50...60 nm. For adhesion coefficient HSC ~ 1 the microhardness of Al_2O_3 layer by Meyer is 0.788, and the Young's modulus – 75.433 GPa.

Pohrelyuk I. M., Kindrachuk M. V., and Lavrys S. M. Wear-resistance of titanium

alloy BT22 after nitriding combined with thermal treatment 56

РЕЗЮМЕ. Вивчено вплив режимів азотування, які суміщені зі штатною термічною обробкою, на зносотривкість титанового сплаву BT22. Встановлено, що насичення азотом за температури 750°C впродовж 3 h на другому ступені штатної термічної обробки сплаву призводить до зменшення твердості та підвищення якості поверхневого зміцненого шару, що забезпечує вищі триботехнічні характеристики в парі з бронзою БрАЖН 10-4-4 порівняно з насиченням за 820°C, 1 h + 750°C, 3 h на першому та другому ступенях штатної термічної обробки.

РЕЗЮМЕ. Изучено влияние режимов азотирования, совмещенных со штатной термической обработкой, на износостойкость титанового сплава BT22. Установлено, что насыщение азотом при температуре 750°C в течение 3 h на второй ступени штатной термической обработки сплава приводит к уменьшению твердости и повышению качества поверхностного упрочненного слоя, обеспечивая более высокие триботехнические характеристики в паре с бронзой БрАЖН 10-4-4, в сравнении с насыщением при 820°C, 1 h + 750°C, 3 h на первом и втором ступенях штатной термической обработки.

SUMMARY. The influence of nitriding modes combined with the standard heat treatment on wear resistance of BT22 titanium alloy was studied. It was determined that nitrogen saturation at a temperature of 750°C for 3 h in the second stage of standard heat treatment of the alloy leads to a decrease of hardness and surface quality of the hardened layer, providing the higher tribotechnical characteristics in the friction pair with БрАЖН 10-4-4 bronze than the saturation at 820°C, 1 h + 750°C, 3 h in the first and second stages of the standard heat treatment.

<i>Kazberuk A. and Savruk M. P. Stress distribution at V-shaped notches in orthotropic plane under symmetrical loading</i>	61
--	----

РЕЗЮМЕ. Методом сингулярних інтегральних рівнянь отримано розв'язок плоскої задачі теорії пружності для ортотропної площини з напівнескінченим кутовим закругленим вирізом за симетричного навантаження. На цій основі знайдено залежність між коефіцієнтом інтенсивності напружень (КИН) у вершині гострого кутового вирізу та нормальним напруженням у вершині відповідного закругленого вирізу. Для обмежених тіл з кутовими вирізами отриманий розв'язок є асимптотичною залежністю для малих радіусів закруглення їх вершин. Таке співвідношення можна використовувати в граничних переходах для знаходження КИН у вершинах гострих вирізів з розв'язків для відповідних закруглених концентраторів напружень.

РЕЗЮМЕ. Методом сингулярных интегральных уравнений получено решение плоской задачи теории упругости для ортотропной плоскости с полубесконечным угловым закругленным вырезом при симметричном нагружении. На этой основе найдена зависимость между коэффициентом интенсивности напряжений (КИН) в вершине острого углового выреза и нормальным напряжением в вершине соответствующего закругленного выреза. Для ограниченных тел с угловыми вырезами полученное решение является асимптотической зависимостью для малых радиусов закругления их вершин. Такое соотношение можно использовать в граничных переходах для получения КИН в вершинах острых вырезом на основе решений для соответствующих закругленных концентраторов напряжений.

SUMMARY. The solution of elastostatics problem for the plane with a semi-infinite rounded V-notch under symmetric loading was obtained by means of singular integral equation method. Based on this solution, the relationships between the stress intensity factor at the sharp V-notch vertex and normal stress at the vertex of the corresponding rounded notch were found. For finite bodies with V-notches a resulting solution is the asymptotic dependence for small rounded radii of the vertices. Presented relationship can be used for performing the limit transition to find the stress intensity factor at the vertices of sharp V-notches, based on the solutions for the corresponding rounded stress concentrators.

<i>Kundrat M. M. Working length of a high-modulus line inclusion under action of the concentrated cyclic forces in the plane problem conditions</i>	69
---	----

РЕЗЮМЕ. Досліджено відшарування тонкого жорсткого включення за умов плоскої задачі під час навантаження неперервними та циклічними зосередженими силами. Отримано його робочу довжину, яка залежить від кількості циклів, мінімального та максимального навантаження за цикл, енергії відшарування одиниці довжини включення, міцнісних та пружних характеристик матриці, відстані до прикладених сил. Обчислено робочу довжину для окремих характеристик композиції та навантажень.

РЕЗЮМЕ. Исследовано отслоение тонкого жесткого включения в условиях плоской задачи при нагрузке непрерывными и циклическими сосредоточенными силами. Получено значение его рабочей длины, которое зависит от количества циклов, минимальной и максимальной нагрузки за цикл, энергии отслаивания единицы длины включения, прочностных и упругих характеристик матрицы, расстояния к прикладываемым силам. Выполнены расчеты рабочей длины для отдельных характеристик композиции и нагрузок.

SUMMARY. Lamination of the thin hard inclusion in the condition of plane problem under loading by continuous and cyclic concentrated forces is investigated. The value of its working length of the inclusion depending on the amount of cycles, minimum and maximal loading for a cycle, energy of lamination of a unit of inclusion length, strength and elastic rates of matrix, distance to applied forces are obtained. The working length for some cases of composition and load is calculated.

Andreiko I. M., Holovatyuk Yu. V., Ostash O. P., Semenets O. I., and Kovalchuk L.

B. Anisotropy of cyclic crack growth resistance of aluminium alloys after long-term operation 77

РЕЗЮМЕ. Досліджено характеристики циклічної тріщиностійкості зразків алюмінієвих сплавів Д16АТНВ і В95Т1, вирізаних уздовж (ДП-зразки) і поперек (ПД-зразки) напрямку вальцювання листів обшивки з різних зон крила літака Ан-12 після експлуатації 40 років. Встановлено, що порівняно зі станом постачання після тривалої експлуатації для них характерний прояв “оберненої анізотропії”, коли швидкість росту втомної макротріщини в ДП-зразках вища, ніж у ПД-зразках. Вона по-різному може проявлятися залежно від системи легування Al–Cu–Mg (сплав типу Д16) або Al–Zn–Mg–Cu (сплав типу В95) за випробувань у повітрі за кімнатної і низької (–60°C) температур та в корозивному середовищі.

РЕЗЮМЕ. Исследованы характеристики циклической трещиностойкости образцов алюминиевых сплавов Д16АТНВ и В95Т1, вырезанных вдоль (ДП-образцы) и поперек (ПД-образцы) направления прокатки листов обшивки с разных зон крыла самолета Ан-12 после эксплуатации 40 лет. Установлено, что в сравнении с состоянием поставки после длительной эксплуатации для них характерно проявление “обратной анизотропии”, когда скорость роста усталостной макротрещины в ДП-образцах выше, чем у ПД-образцах. Она по-разному может проявляться в зависимости от системы легирования Al–Cu–Mg (сплав типа Д16) или Al–Zn–Mg–Cu (сплав типа В95) при испытаниях в воздухе при комнатной и низкой (–60°C) температурах и в коррозионной среде.

SUMMARY. Fatigue crack growth resistance of degraded D16ATHB (type 2024-T3) and B95T1 (type 7075-T6) aluminum alloys is investigated. Specimens were cut out from different zones of wing skin of AN-12 airplane after 40 years of exploitation along (L-specimens) and across (T-specimens) the skin sheets rolling direction. In contrast to the alloys in the initial state (as-received) for aluminum alloys D16ATHB and B95T1 after long-term exploitation they are characterized by the “reverse anisotropy”, when the fatigue macrocrack growth rate of L-T- specimens is higher than of T-L- specimens. Depending on the alloying system of Al–Cu–Mg (alloy type D16) or Al–Zn–Mg–Cu (alloy type B95) it can be manifested differently during investigations in air at room and low (–60°C) temperatures and in corrosive environment.

Dzyubyk A. R., Nykolyshyn T. M., and Porokhovskyy Yu. V. The influence of residual stresses on boundary equilibrium of pipeline with an internal crack of arbitrary configuration 83

РЕЗЮМЕ. На основі рівнянь теорії оболонок типу Тимошенка та аналога δ_c -моделі задачу про напружений стан і граничну рівновагу трубопроводу з внутрішньою поздовжньою тріщиною довільної конфігурації, яка знаходиться в полі залишкових напружень, зведено до системи нелінійних сингулярних інтегральних рівнянь. Запропоновано алгоритм її числового розв’язування. Вивчено вплив ортотропії, навантаження та геометричних параметрів на розкриття тріщини.

РЕЗЮМЕ. На основании уравнений теории оболочек типа Тимошенко и аналога δ_c -модели задачу о напряженном состоянии и предельном равновесии трубопровода с внутренней продольной трещиной произвольной конфигурации, находящейся в поле остаточных напряжений, сведено к системе нелинейных сингулярных интегральных уравнений. Предложен алгоритм ее численного решения. Изучено влияние ортотропии, нагрузки и геометрических параметров на раскрытие трещины.

SUMMARY. Based on the equations of the theory of Timoshenko-type shells and analogue of δ_c -model, the problem on the stressed state and limit equilibrium of a pipeline

with an internal longitudinal crack of arbitrary configuration in the field of residual stresses is reduced to a system of nonlinear singular integral equations. An algorithm of numerical solution is proposed. The influence of orthotropy, loading and geometric parameters on the crack opening is analyzed.

Kalynyak B. M. Ensuring zero radial stresses in an inhomogeneous long hollow cylinder due to stationary thermal field 91

РЕЗЮМЕ. Запропоновано метод визначення стаціонарного температурного поля, яке забезпечує нульові радіальні напруження по товщині довгого порожнистого неоднорідного вздовж радіуса циліндра, а отже, і відсутність колових напружень за нульових масових сил та осевого навантаження. Розв'язування відповідної неklasичної незв'язаної стаціонарної задачі термопружності зведено до розв'язування інтегрального рівняння Фредгольма другого роду відносно температури. Отримано точні аналітичні вирази для температурного поля та інтенсивності теплових джерел. Записано зв'язки між коефіцієнтами лінійного теплового розширення і теплопровідності матеріалу, які за заданих теплових навантажень на поверхнях забезпечують відсутність колових та радіальних напружень у циліндрі. Розраховано температурні поля та інтенсивності джерел тепла для реально існуючого матеріалу.

РЕЗЮМЕ. Предложен метод определения стационарного температурного поля, обеспечивающего нулевые радиальные напряжения по толщине длинного полого неоднородного вдоль радиуса цилиндра, следовательно, и отсутствие круговых напряжений при нулевых массовых силах и осевой нагрузке. Решение соответствующей неклассической несвязанной задачи термоупругости сведено к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода относительно температуры. Получены точные аналитические выражения для температурного поля и интенсивности тепловых источников. Получена зависимость между коэффициентами линейного теплового расширения и теплопроводности материала, обеспечивающая при заданных тепловых нагрузках отсутствие радиальных и круговых напряжений. Проведены расчеты температурных полей и интенсивностей тепловых источников для реально существующих материалов.

SUMMARY. The method to determine the steady temperature field, ensuring zero radial stresses by a width of a long hollow inhomogeneous along the radius cylinder and therefore the absence of circumferential stresses at zero mass forces and absence of axial loading has been proposed. The solution of corresponding non-classical steady uncoupled thermo-elasticity problem has been reduced to solving the Fredholm integral equation of the second kind relative to the temperature. The corresponding exact analytical expressions for temperature field and intensity of thermal sources have been obtained. The relation between linear thermal expansion coefficient and thermal conductivity factor providing, under known thermal loading, the absence of radial and circumferential stresses has been written. The numerical calculations of temperature fields and intensity of heat sources for real existing materials have been proposed.

Kozak L. Yu. Discrete models of plastic deformation of solids under effect of high hydrostatic pressure 98

РЕЗЮМЕ. З допомогою двовимірної дискретної моделі виявлено, що під впливом високого гідростатичного тиску кристалічна ґратка переходить зі стану стійкої рівноваги у стан нестійкої рівноваги, через що інтенсифікується пластична деформація.

РЕЗЮМЕ. С помощью двухмерной дискретной модели выявлено, что при воздействии высокого гидростатического давления устойчивая кристаллическая решетка переходит из состояния устойчивого равновесия в неустойчивое, вследствие чего интенсифицируется пластическая деформация.

SUMMARY. Using the two-dimensional model of crystal it was shown that the crystal lattice transformed from the stable to unstable equilibrium state under high pressure

influence. As a result of such transformation the intensity of the processes of plastic deformation increased.

Lytvynenko Ya. V., Marushchak P. O., Lupenko S. A., and Popovych P. V.

Modeling of the ordered relief of the statically deformed aluminium alloy surface..... 102

РЕЗЮМЕ. Запропоновано підхід до моделювання впорядкованого рельєфу поверхні алюмінієвого сплаву Д16чТ після статичного деформування, який дає можливість статистично оцінити параметри утворених нерівностей з урахуванням стохастичної та циклічної природи їх самоорганізації.

РЕЗЮМЕ. Предложен математический подход к анализу упорядоченного рельефа поверхности алюминиевого сплава Д16чТ после статического деформирования, который позволяет получить информативные признаки количественной оценки параметров неровностей поверхности в условиях самоорганизации с учетом стохастической и циклической природы процесса.

SUMMARY. The approach to mathematical analysis of the relief of the ordered aluminum alloy surface of Д16чТ alloy after static deformation, which allows us obtaining the informative features of quantitative estimation of the parameters of self-organizing surface irregularities with account of stochastic and cyclic nature of the process.

Bendaha H., Elmsellem H., Aouniti A., Mimouni M., Chetouani A., and

Hammouti B. Investigation of corrosion-resistant properties of aurantium oil in 1 M HCl..... 111

РЕЗЮМЕ. Проаналізовано склад оливи зі свіжих шкірок цитрусових за допомогою газової хроматографії та хроматомас-спектрометрії. Олива містить вуглеводні монотерпену (54,38%) та лімонену (52,67%). Гравіметричним та поляризаційним методами, а також імпедансною спектроскопією вивчено вплив її додатків на корозію сталі у розчині 1 M HCl. Ефективність інгібітора зі збільшенням вмісту до 5 g/l зростала на 95%. За результатами імпедансної спектроскопії побудовано еквівалентні моделі інгібування. Встановлено, що адсорбцію оливи на поверхні сталі описує ізотерма Ленгмюра.

РЕЗЮМЕ. Проанализировано содержание масла из свежих шкурок цитрусовых с помощью газовой хроматографии и хроматомасс-спектрометрии. Масло содержит углеводороды монотерпена (54,38%) и лимонена (52,67%). Гравиметрическим и поляризационным методами, а также импедансной спектроскопией изучено влияние ее добавок на коррозию стали в растворе 1 M HCl. Эффективность ингибитора с ростом концентрации до 5 g/l увеличивалась на 95%. По результатам импедансной спектроскопии построены эквивалентные модели процесса ингибирования. Выявлено, что адсорбцию масла на поверхности стали описывает изотерма Ленгмюра.

SUMMARY. The fresh peel essential oils of citrus aurantium from Eastern Morocco (Oujda) have been analyzed by gas chromatography and gas chromatography–mass spectrometry. The analyzed essential oil consist mainly of monoterpene hydrocarbons (54.38%), with limonene (52.67%) being the major constituent. The effect of addition of citrus aurantium essential oil on the corrosion of steel in 1 M HCl acid has been studied by weight loss measurements, potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements. The inhibition efficiency has been found to increase with inhibitor content to attain 95% (at 5 g/l). Data obtained from EIS studies have been analyzed to determinate the model inhibition process through appropriate equivalent circuit models. Inhibition efficiency obtained by the various methods is in good agreement. The adsorption of natural products on the steel surface has been found to obey the Langmuir's adsorption isotherm.

<i>Slobodian Z. V., Mahlatyuk L. A., Khaburski Ya. M., and Kupovych R. B.</i> The influence of plant extracts on corrosion and corrosion-fatigue fracture of steel in tap water	119
---	-----

РЕЗЮМЕ. Обґрунтовано необхідність врахування внеску корозійно-втомного руйнування (КВР), яке поряд з корозією та солевідкладенням ускладнює надійну експлуатацію теплообмінних систем. Показана важлива роль деформації зразків у зміні змочування поверхні сталі водою та інгібованими розчинами. Встановлено, що збільшення деформації зразка посилює гідрофілізацію поверхні сталі. Крайові кути змочування поверхні сталі водними екстрактами дуба нижчі, ніж відповідні кути змочування водою в усьому діапазоні досліджених деформацій (1,86...13,3%), що вказує на превалювання адсорбції складових інгібітора над адсорбцією води. Показано, що вода, періодично змочуючи поверхню зразків, суттєво знижує опір сталі КВР порівняно з повітрям. Екстракт дуба (2 g/l) підвищує опір сталі такому руйнуванню на низьких рівнях навантажень у 2,6 рази порівняно з водою та змінює його характер з міжзеренного у воді на кризьзеренний в інгібованому середовищі, що дає можливість рекомендувати інгібітор на основі екстракту дуба не лише для гальмування корозійних процесів, але й КВР.

РЕЗЮМЕ. Обоснована необходимость учета коррозионно-усталостного разрушения (КУР), которое совместно с коррозией и солеотложением усложняет надежную эксплуатацию теплообменных систем. Показана важная роль деформации образцов в изменении смачивания поверхности стали водой и ингибированными растворами. Установлено, что увеличение деформации образца усиливает гидрофилизацию поверхности стали. Краевые углы смачивания стальной поверхности водными экстрактами дубовой стружки ниже, чем соответствующие углы смачивания водой во всем диапазоне исследованных деформаций (1,86...13,3%), что указывает на преобладание адсорбции составляющих ингибитора над адсорбцией воды. Показано, что вода, периодически смачивая поверхность образцов, существенно снижает сопротивление стали КУР по сравнению с воздухом. Экстракт дубовой стружки (2 g/l) повышает сопротивление стали такому разрушению на низких уровнях нагружения в 2,6 раза по сравнению с водой и изменяет его характер на этапе зарождения трещины с межзеренного в воде на трансзеренный в ингибированной среде, что позволяет рекомендовать ингибитор на основе экстракта дуба не только для торможения коррозионных процессов, но и КУР.

SUMMARY. The necessity of considering corrosion fatigue fracture, that alongside with corrosion and scale deposit, complicates the reliable exploitation of heat-exchange equipment is substantiated. The important role of samples deformation in variation of the ability of steel surface wetting with water and inhibited solutions is shown. It is established that increasing deformation of the sample intensifies the steel surface hydrophilization. The edge angles of wetting of the 20 steel surface with oak extracts solution are lower than the angles of wetting with water in the whole studied deformation range (1.86...13.3%), thus indicating the prevailing inhibitor components adsorption to compare with water. Water, periodically wetting the sample surface, decreases essentially the steel resistance to corrosion fatigue fracture comparing to air. Oak bark extract (2 g/l) improves the steel resistance to corrosion fatigue fracture at low levels of loading in 2.6 times compared to water and changes the mechanism of fracture at the crack initiation stage from intergranular in water to transgranular in the inhibited medium. Inhibitor, based on the oak bark extract, can be used not only for corrosion inhibition but also for corrosion fatigue fracture retardation.

<i>Dzhala R. M., Verbenets B. Ya., and Melnyk M. I.</i> Measurement of electrical potentials for diagnosing corrosion protection of metal structures	126
--	-----

РЕЗЮМЕ. Проаналізовано відомі методи визначення поляризаційного потенціалу металевих споруд в електропровідному середовищі. Описано будову та принцип дії нової апаратури для вимірювань постійних і змінних електричних напруг та ви-

значення поляризаційного потенціалу з вилученням омичного складника. Оцінено її переваги під час контролю катодного захисту металевих конструкцій. Наведено приклад використання в діагностичних обстеженнях стану активного і пасивного захисту від корозії підземних магістральних трубопроводів та виявлено широкі можливості застосування апаратури в польових умовах.

РЕЗЮМЕ. Проанализированы известные методы определения поляризационного потенциала металлических сооружений в электропроводящей среде. Описано устройство и принцип действия новой аппаратуры для измерений постоянных и переменных электрических напряжений и определения поляризационного потенциала с исключением омической составляющей. Оценены ее преимущества при контроле катодной защиты металлических конструкций. Приведен пример использования в диагностических обследованиях состояния активной и пассивной защиты от коррозии подземного магистрального трубопровода и выявлены широкие возможности применения аппаратуры в полевых условиях.

SUMMARY. The known methods for determining the polarization potential of metallic structures in electroconductive environment are analyzed. The structure and principle of the new equipment operation for measuring direct and alternating electrical voltages and determining the polarization potential with removing ohmic component are described. Its advantages when controlling metal structures cathode protection are shown. The example of use in diagnostic inspection of the state of active and passive corrosion protection of the underground pipelines is presented and wide possibilities of application of the equipment in field conditions are found.

JUBILEES

Volodymyr Panasyuk (to the 90 th birthday).....	131
Hryhorii Nykyforchyn (to the 70 th birthday).....	133

IN SCIENTIFIC CIRCLES

<i>Yasnii P. V. and Nykyforchyn H. M.</i> The XIV Polish-Ukrainian-German Summer school on fracture mechanics.....	134
<i>Stashchuk M. H.</i> Problems of brittle fracture mechanics	136
<i>Lukianenko O. H.</i> Problems of materials science and surface engineering of metals	138
<i>Chervinska N. R.</i> Corrosion. Corrosion protection of metals.....	139
<i>Rytsar D. I.</i> Defence of dissertations	142