

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



Міжнародний науково-технічний журнал  
Заснований у січні 1965 року  
Виходить 6 разів у рік  
том 50, № 1, 2014  
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*, *І. М. ДМИТ-  
РАХ*, *І. М. ЗІНЬ*, *Г. С. КІТ*, *Р. М. КУШНІР*, *Л. М. ЛОБАНОВ*, *З. Т. НАЗАРЧУК*, *Г. М. НИ-  
КИФОРЧИН*, *І. В. ОРІНЯК*, *О. П. ОСТАШ*, *В. І. ПОХМУРСЬКИЙ*, *І. К. ПОХОДНЯ*,  
*М. П. САВРУК*, *З. А. СТОЦЬКО*, *Г. Т. СУЛИМ*, *В. В. ФЕДОРОВ*, *С. О. ФІРСТОВ*, *П. В.  
ЯСНІЙ*

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

том 50, № 1, 2014

січень – лютий

## ЗМІСТ

<i>Дацишин О. П., Панасюк В. В., Пришляк Р. С.</i> Вплив закруглення країв основи контртіла на коефіцієнти інтенсивності напружень у тілі з крайовою тріщиною .....	7
<i>Зеленяк В. М.</i> Дослідження термопружного стану двовимірних композитних тіл з тріщинами.....	18
<i>Попович В. С., Заводовська Н. О.</i> Термочутливий циліндр за конвективного теплообміну зі середовищами змінної температури.....	25
<i>Михайлишин В. С.</i> Розв'язання задачі термопластичності для шаруватої сфери методом скінченних елементів.....	32
<i>Чернець М. В., Жидик В. Б., Чернець Ю. М.</i> Точність оцінки довговічності підшипника ковзання за узагальненою кумуляційною моделлю зношування.....	39
<i>Дудик М. В., Діхтяренко Ю. В., Дякон В. М.</i> Вплив пластичності з'єднувального матеріалу на поворот міжфазної тріщини у кутовій точці межі поділу середовищ.....	45
<i>Фірстов С. О., Остап О. П., Луговський Ю. Ф., Кузьменко М. М., Кулак Л. Д., Спіридонов С. А.</i> Втомні властивості термомодеформованих сплавів системи Ti-Si.....	53
<i>Івасишин О. М., Марковський П. Є., Гавриш І. М., Карасевська О. П.</i> Вплив швидкості охолодження під час гартування на старіння і формування механічних характеристик титанового сплаву VT22.....	60
<i>Погрелюк І. М., Шейкін С. Є., Єфросінін Д. В.</i> Поверхнєве зміцнення титану VT1-0 за термодифузійного насичення азотом у діапазоні температур 650...750°C.....	67
<i>Малишев В. В., Шахнін Д. Б.</i> Покрив титану на вуглецевій сталі: постійнострумове та імпульсне електроосадження, фізико-механічні та хімічні властивості.....	76
<i>Крижанівський Є. І., Гойсан І. М., Студент О. З.</i> Особливості росту втомних тріщин у сталі 36Г2С буриньних труб після відновлювального термічного оброблення .....	86
<i>Білоус В. А., Борисенко В. М., Воеводін В. М., Діденко С. Ю., Ільченко М. І., Неклюдов І. М., Рибка О. В.</i> Радіаційно-абсорбувальні властивості багатошарових композитів Al-Pb .....	92
<i>Яськів О. І., Федірко В. М., Кухар І. С.</i> Вплив розплавів свинцю та евтектики свинець-вісмут на втомну довговічність сталей мартенситного та аустенітного класів .....	96
<i>Балабан О. В., Григорчак І. І., Кондир А. І.</i> Вплив ультразвукової обробки на властивості пірофіліту та термодинамічні і кінетичні закономірності його інтеркаляції літієм.....	103
<i>Виноградов Д. В., Тихоновський М. А., Колодій І. В., Бобров Ю. П., Рудичева Т. Ю.</i> Дослідження сорбції та десорбції водню литими та швидкозагартованими сплавами Zr-V.....	110
<i>Євтушенко О., Куцей М., Ох Е.</i> Вплив термочутливості матеріалів на температуру під час тертя.....	117
<i>Райєн С., Насрі Ф., Харрат М., Даммак М.</i> Характеристика трибологічної поведінки хромових та цирконієвих покривів, електроосаджених на сталеву підкладку .....	123
<i>Демченко В. Л., Віленський В. О., Штомпель В. І.</i> Структура і термомеханічні властивості систем на основі епоксидного полімеру, оксидів металів та поліаніліну .....	128

<i>Памфілов Є. А., Лукашов С. В., Прозоров Я. С.</i> Механохімічне руйнування деталей деревоброблюваного устаткування .....	134
<i>Балицький О. І., Абрамек К. Ф., Штек Т., Осіповіч Т.</i> Діагностування деградації замка ущільнювального кільця за втратою робочих газів двигуна внутрішнього згорання .....	142
<b>У НАУКОВИХ КОЛАХ</b>	
<i>Рицар Д. І.</i> Захист дисертацій .....	145
<i>Стацук М. Г.</i> Науковий семінар “Проблеми механіки крихкого руйнування” .....	149
<i>Веселівська Г. Г.</i> Науковий семінар “Корозія. Захист металів від корозії” .....	151
<i>Войтко М. В.</i> Науково-навчальний семінар молодих учених “Наукові школи ФМІ – естафета поколінь” .....	154
<b>У СВІТІ КНИГ</b> .....	155

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

том 50, № 1, 2014

январь – февраль

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Дацышин А. П., Панасюк В. В., Прышляк Р. Е.</i> Влияние закругления краев основы контртела на коэффициенты интенсивности напряжений в теле с краевой трещиной .....	7
<i>Зеленяк В. М.</i> Исследование термоупругого состояния двумерных композитных тел с трещинами .....	18
<i>Попович В. С., Заводовская Н. О.</i> Термочувствительный цилиндр при конвективном теплообмене со средами с изменяющейся температурой .....	25
<i>Михайлишин В. С.</i> Решение задачи термопластичности для слоистой сферы методом конечных элементов .....	32
<i>Чернец М. В., Жидык В. Б., Чернец Ю. М.</i> Точность оценки долговечности подшипника скольжения по обобщенной кумуляционной модели изнашивания .....	39
<i>Дудык М. В., Дихтяренко Ю. В., Дякон В. М.</i> Влияние пластичности соединяющего материала на поворот межфазной трещины в угловой точке границы раздела сред .....	45
<i>Фирстов С. А., Остап О. П., Луговской Ю. Ф., Кузьменко Н. Н., Кулак Л. Д., Спиридонов С. А.</i> Усталостные свойства термомодеформированных сплавов системы Ti-Si .....	53
<i>Ивасишин О. М., Марковский П. Е., Гаврыш И. М., Карасевская О. П.</i> Влияние скорости охлаждения при закалке на старение и формирование механических характеристик титанового сплава VT22 .....	60
<i>Погрелюк И. Н., Шейкин С. Е., Ефросинин Д. В.</i> Поверхностное упрочнение титана VT1-0 при термодиффузионном насыщении азотом в диапазоне температур 650...750°C .....	67
<i>Малышев В. В., Шахнин Д. Б.</i> Покрытие титана на углеродистой стали: постоянно-токовое и импульсное электроосаждение, физико-механические и химические свойства .....	76
<i>Крыжановский Е. И., Гойсан И. М., Студент А. З.</i> Особенности роста усталостных трещин в стали 36Г2С бурильных труб после восстановительной термической обработки .....	86
<i>Белюс В. А., Борисенко В. Н., Воеводин В. Н., Диденко С. Ю., Ильченко Н. И., Неклюдов И. М., Рыбка А. В.</i> Радиационно-абсорбирующие свойства многослойных композитов Al-Pb .....	92
<i>Яськив О. И., Федирко В. Н., Кухар И. С.</i> Влияние расплавов свинца и эвтектики свинец-висмут на усталостную долговечность сталей мартенситного и аустенитного классов .....	96
<i>Балабан О. В., Григорчак И. И., Кондыр А. И.</i> Влияние ультразвуковой обработки на свойства пиррофиллита и термодинамические, а также кинетические закономерности его интеркаляции литием .....	103
<i>Виноградов Д. В., Тихоновский М. А., Колодий И. В., Бобров Ю. П., Рудичева Т. Ю.</i> Исследование сорбции и десорбции водорода литыми и быстрозакаленными сплавами Zr-V .....	110
<i>Евтушенко А., Куцей М., Ох Э.</i> Влияние термочувствительности материалов на температуру при трении .....	117
<i>Райен С., Насри Ф., Харрат М., Даммак М.</i> Характеристика трибологического поведения	

хромовых и циркониевых покрытий, электроосажденных на стальную подложку .....	123
<i>Демченко В. Л., Виленский В. А., Штомпель В. И.</i> Структура и термомеханические свойства систем на основе эпоксидного полимера, оксидов металлов и полианилина.....	128
<i>Памфилов Е. А., Лукашов С. В., Прозоров Я. С.</i> Механохимическое разрушение деталей деревообрабатывающего оборудования .....	134
<i>Балицкий А. И., Абрамек К. Ф., Штек Т., Осипович Т.</i> Диагностирование деградации замка уплотняющего кольца по потере рабочих газов двигателя внутреннего сгорания .....	142
<b>В НАУЧНЫХ КРУГАХ</b>	
<i>Рыцар Д. И.</i> Защита диссертаций.....	145
<i>Стацук Н. Г.</i> Научный семинар “Проблемы механики хрупкого разрушения” .....	149
<i>Веселовская Г. Г.</i> Научный семинар “Коррозия. Защита металлов от коррозии” .....	151
<i>Войтко М. В.</i> Научно-учебный семинар молодых ученых “Научные школы ФМИ – эстафета поколений” .....	154
<b>В МИРЕ КНИГ</b> .....	155

# PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

том 50, № 1, 2014

january – february

## CONTENTS

*Datsyshyn O. P., Panasyuk V. V., and Pryshlyak R. Ye.* The influence of the counterbody base edges curvature on stress intensity factors in a body with an edge crack ..... 7

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено залежність коефіцієнтів інтенсивності напружень у тілі з крайовою довільно орієнтованою тріщиною від радіуса закруглення  $R$  країв основи контртіла, яке втискають з однією стороною у пошкоджене тіло в околі гирла тріщини. Це тіло у межах двовимірної задачі змодельовано пружною півплощиною з крайовим розрізом, а дію контртіла – навантаженням, яке відображає розподіл тиску, установлений В. М. Александровим і Б. Л. Ромалісом, у зоні контакту двох пружних циліндрів з початковою смугою контакту. Числові результати отримано для однакових матеріалів контактних тіл для півдовжини початкової ділянки контакту  $b = [5; 10]$  mm і радіуса  $R = [0,1; 1,0; 10,0; 100,0]$  mm, а також кута нахилу крайової тріщини, відносного розміщення контртіла і тріщини та її довжини.

*РЕЗЮМЕ.* Исследована зависимость коэффициентов интенсивности напряжений в теле с краевой произвольно ориентированной трещиной от радиуса закругления  $R$  краев основы контртела, вдавливаемого с трением в поврежденное тело в окрестности устья трещины. Это тело в рамках двумерной задачи смоделировано упругой полуплоскостью с краевым разрезом, а действие контртела – модельной нагрузкой, отображающей распределение давления, установленное В. М. Александровым и Б. Л. Ромалисом, в зоне контакта двух упругих цилиндров с начальной полосой контакта. Числовые результаты получены для одинаковых материалов контактирующих тел для значений полудлины начального участка контакта  $b = [5; 10]$  mm и радиуса  $R = [0,1; 1,0; 10,0; 100,0]$  mm, а также для угла наклона краевой трещины, относительного размещения контртела и трещины и ее длины.

*SUMMARY.* Dependence of the stress intensity factors in a body with an edge arbitrary oriented crack on the curvature radius  $R$  of the edges of counterbody base, pressed with unilateral friction into a cracked body near the crack mouth, is investigated. This body has been modeled within a two-dimensional problem as an elastic half-plane with an edge cut, and counterbody action – as a load modeling the pressure distribution, established by V. M. Aleksandrov & B. L. Romalis, in the contact zone of two elastic cylinders with initial contact strip. Numerical results were obtained for identical materials of contact solids for values of half-length of the initial contact area  $b = [5; 10]$  mm and radius  $R = [0,1; 1,0; 10,0; 100,0]$  mm, as well as inclination angle of an edge crack, relative position of a counterbody and crack and its length.

*Zeleniak V. M.* Investigation of the thermo-stressed state of two-dimensional composites with cracks ..... 18

*РЕЗЮМЕ.* Наведено короткий огляд досліджень застосування методу сингулярних інтегральних рівнянь для розв'язання двовимірних задач механіки для тіл з тріщинами. Особливу увагу звернено на стаціонарні задачі теплопровідності і термопружності для кусково-однорідних тіл з тріщинами.

*РЕЗЮМЕ.* Приведен краткий обзор исследований по применению метода сингулярных

интегральных уравнений для решения двумерных задач механики для тел с трещинами. Особое внимание уделено стационарным задачам теплопроводности и термоупругости для кусочно-однородных тел с трещинами.

*SUMMARY.* A brief survey of investigations on application of the singular integral equations method to solving two-dimensional problems of mechanics for bodies with cracks is presented. A special attention is given to the case of steady heat conductivity and thermoelasticity for piecewise-homogeneous bodies with cracks.

*Popovych V. S. and Zavodovska N. O.* A temperature-sensitive cylinder under convective heat exchange with variable temperature environments .....25

*РЕЗЮМЕ.* На основі моделі термочутливого тіла визначено температурне поле циліндра скінченної довжини, через поверхні якого здійснюється конвективний теплообмін з довкіллям високої температури. При цьому коефіцієнти теплообміну на обмежувальних поверхнях різні, а температура середовища, що омиває циліндричну поверхню, змінюється по висоті циліндра. Виявлено ефективність застосування для розв'язання таких двовимірних нелінійних задач теплопроводности методу лінеаризувальних параметрів. Порівнянням знайденого розподілу температури з отриманим на основі лінійної моделі (коли коефіцієнт теплопроводности сталий і рівний опорному чи середньоінтегральному значенням) встановлено вплив на цей розподіл термочутливості матеріалу.

*РЕЗЮМЕ.* На основе модели термочувствительного тела определено температурное поле цилиндра конечной длины, сквозь поверхности которого осуществляется конвективный теплообмен с окружающей средой высокой температуры. При этом коэффициенты теплообмена на ограничивающих поверхностях разные, а температура среды, омывающей цилиндрическую поверхность, изменяется по высоте цилиндра. Показана эффективность применения для решения таких двумерных нелинейных задач теплопроводности метода линеаризующих параметров. Сравнением найденного распределения температуры с полученным на основе линейной модели (когда коэффициент теплопроводности постоянный и равный его опорному или среднинеинтегральному значениям) выявлено влияние на это распределение термочувствительности материала.

*SUMMARY.* Based on the thermosensitive body model the temperature field of a finite length cylinder with convective heat transfer through all its surfaces with the environment of high temperature is determined. The heat transfer coefficients for limiting surfaces are different, and the temperature around the cylindrical surface changes along the cylinder height. The effectiveness of the linearizing parameters method for solution of the two-dimensional nonlinear heat conduction problems is shown. By comparing the found temperature distribution with that obtained by the linear model (when thermal conductivity coefficient is constant and equal to its basic value or mid-integral value) the influence on this distribution of the material temperature-sensitivity is shown.

*Mykhailyshyn V. S.* Solution of the thermoplasticity problem for a layered sphere by the finite element method.....32

*РЕЗЮМЕ.* Запропоновано підхід до дослідження термомеханічних станів у шаруватих пластично деформівних термочутливих тілах довільної геометричної форми з довільною орієнтацією поверхонь розмежування шарів. Він базується на формулюванні задачі нестационарної теплопроводности, задачі теорії пластичного неізотермічного течіння, розрахункових схемах методу скінченних елементів та відповідному програмному забезпеченні. Вивчено термомеханічну поведінку двошарової сфери за швидкого охолодження від початкової однорідної температури.

*РЕЗЮМЕ.* Предложен подход к исследованию термомеханических состояний в слоистых пластически деформируемых термочувствительных телах произвольной геометрической конфигурации с произвольной ориентацией поверхностей разграничения слоев. Он базируется на

формулюванні задачі нестационарної теплопровідності, задачі теорії пластического неізотермічного течення, расчетных схемах метода конечных элементов и соответствующем программном обеспечении. Изучено термомеханическое поведение двухслойной сферы при быстром охлаждении от начальной однородной температуры.

*SUMMARY.* The approach to investigation of the thermomechanical states in the layered plastic deformable thermal sensitive solids with arbitrary geometric configuration and arbitrary orientation of the layers delimiting surfaces is proposed. The approach is based on the formulation of the nonstationary heat conductivity problem, the problem of plastic non-isothermal yielding, computation finite element schemes and suitable software. The thermomechanical behaviour of the two-layer sphere under quick cooling from the initial temperature is investigated.

*Chernets M. V., Zhydyk V. B., and Chernets Yu. M.* Accuracy of sliding bearing life time estimation by the generalized cumulative wear model ..... 39

*РЕЗЮМЕ.* За узагальненою кумуляційною моделлю зношування з використанням розробленого експрес-методу дослідження кінетики трибоконтактної взаємодії у підшипнику ковзання з малою овальністю вала оцінено точність обчислень довговічності. Вивчено однообластеві та одно-дво-однообластеві контактні взаємодії вала і втулки. Ґрунтовно проаналізовано отримані результати та встановлено вплив параметрів інтервально-блочної основної та модифікованої схем обчислень на точність розрахунку довговічності підшипника. Виявлено закономірності зниження точності розв'язку залежно від розмірів блоків циклів взаємодій зі сталими умовами та інтервалу дискретизації контуру вала. Вказано оптимальні з інженерної точки зору схеми обчислень та їх параметри.

*РЕЗЮМЕ.* Согласно обобщенной кумуляционной модели изнашивания с использованием разработанного экспресс-метода исследования кинетики трибоконтактного взаимодействия в подшипнике скольжения с малой овальностью вала проведена оценка точности вычислений долговечности. Исследованы однообластные и одно-двух-однообластные контактные взаимодействия вала и втулки. Детально проанализированы полученные результаты и установлено влияние параметров интервально-блочной основной и модифицированной схем вычислений на точность расчета долговечности подшипника. Выявлены закономерности снижения точности вычислений в зависимости от размера блоков циклов взаимодействий с постоянными условиями и интервала дискретизации контура вала. Представлены оптимальные с инженерной точки зрения схемы вычислений и их параметры.

*SUMMARY.* According to the generalized cumulative wear model with the use of the developed express-method for investigation of the kinetics of tribocontact interaction in the sliding bearing with small ovality of the shaft, the accuracy of life time calculation has been conducted. Single-area and single-double-single area interaction of a shaft and a bush has been investigated. The detailed analysis of the obtained results has been done and the effect of interval-block basic and modified calculation schemes parameters on the bearing life time accuracy calculation has been determined. The regularities of solution accuracy decrease in dependence on the sizes of the cycle interaction blocks with constant conditions and sampling interval of the shaft contour has been found. The optimum calculation schemes and their parameters, from the engineering point of view, have been presented.

*Dudyk M. V., Dikhtiarenko Yu. V., and Dyakon V. M.* The influence of joining material plasticity on the turning of interfacial crack at an angle point of the interface. .... 45

*РЕЗЮМЕ.* Подано розв'язок задачі про зону передруйнування, що в умовах плоскої деформації розвивається з вершини міжфазної тріщини, яка збігається з кутовою точкою межі поділу двох різних матеріалів. Зону передруйнування змодельовано лінією розриву дотичного переміщення на межі поділу та бічною лінією розриву нормального переміщення. Отримано рівняння для обчислення довжини обох ліній розриву і вирази для визначення розкриття трі-



щини. Досліджено вплив пластичності з'єднувального матеріалу на напрямок і умови зрушення тріщини.

*РЕЗЮМЕ.* Приведено решение задачи о зоне предразрушения, которая в условиях плоской деформации развивается из вершины межфазной трещины, совпадающей с угловой точкой границы раздела двух различных материалов. Зону предразрушения смоделировано линией разрыва касательного смещения на границе раздела и боковой линией разрыва нормального смещения. Получены уравнения для расчета длины обеих линий разрыва и выражения для определения раскрытия трещины. Исследовано влияние пластичности связующего на направление и условия страгивания трещины.

*SUMMARY.* The solution of the problem on the prefracture zone developing in the plain strain conditions from the interface crack tip which coincides with the corner point of two dissimilar materials interface is presented. The prefracture zone is modelled by the line of rupture of tangential displacement at the interface and by the side line of rupture of normal displacement. The equations for the length of both rupture lines calculation and expressions for the crack opening displacement are obtained. The influence of the joint material plasticity on the direction and crack moving conditions is investigated.

*Firstov S. O., Ostash O. P., Lugovskyi Yu. F., Kuzmenko M. M., Kulak L. D., and Spiridonov S. A.* Fatigue properties of thermodeformed Ti-Si alloys .....53

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено пружні і втомні властивості відомих титанових сплавів ВТ1 і ВТ6, а також нових деформованих системи Ti-Si з вмістом кремнію від 0,1 до 6%. Встановлено, що зі збільшенням вмісту цього елемента зростають модуль пружності, границя витривалості гладкого зразка та розрахунковий поріг втоми зразка з тріщиною, визначений за параметрами втомного зламу. Виявлено, що механічні характеристики сплавів системи Ti-Si перевищують встановлені для широко використовуюваного сплаву ВТ6.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы механические свойства известных титановых сплавов ВТ1 и ВТ6, а также новых деформированных системы Ti-Si с содержанием кремния от 0,1 до 6%. Выявлено, что с увеличением количества кремния возрастают модуль упругости, предел выносливости гладкого образца и расчетный порог усталости образца с трещиной, определенный по параметрам усталостного излома. Показано, что механические характеристики сплавов системы Ti-Si превышают установленные для широко используемого сплава ВТ6.

*SUMMARY.* The elastic and fatigue properties of the known ВТ1 and ВТ6 titanium alloys and new deformed Ti-Si alloys with silicon content from 0.1 to 6% are investigated. The increase of elasticity modulus, fatigue limit of smooth specimen and calculated threshold fatigue of cracked specimen, defined by fatigue fracture surface parameters, occurs with the silicon content increase. It is shown that the mechanical properties of Ti-Si alloys exceed the established for the commonly used ВТ6 alloy.

*Ivashin O. M., Markovsky P. E., Gavrysh I. M., and Karasevska O. P.* The influence of cooling rate under quenching on aging and mechanical characteristics formation of ВТ22 titanium alloy .....60

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено вплив швидкості охолодження від температур обробки на твердий  $\beta$ -розчин на механізм розпаду метастабільної  $\beta$ -фази титанового сплаву ВТ22 в умовах подальшого старіння, його кінцеву мікроструктуру і механічні властивості. Гартування у воді збільшує кількість точкових дефектів, що призводить до розпаду метастабільної  $\beta$ -фази з формуванням проміжних  $\omega$ - та  $\alpha'$ ( $\alpha'$ )-фаз. У результаті підвищуються механічні характеристики сплаву, оскільки утворюється однорідніша та дисперсніша мікроструктура.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние скорости охлаждения от температур обработки на твердый  $\beta$ -раствор титанового сплава ВТ22 на механизм распада метастабильной  $\beta$ -фазы при по-

следующем старении, конечную микроструктуру и механические свойства. Закалка в воде увеличивает количество точечных дефектов, что приводит к распаду метастабильной  $\beta$ -фазы с образованием промежуточных  $\omega$ - и  $\alpha''(\alpha')$ -фаз. В результате повышаются механические характеристики сплава, поскольку образуется более однородная и дисперсная конечная микроструктура.

*SUMMARY.* Taking as program material commercial titanium BT22 alloy the influence of cooling rate after solid  $\beta$ -solution treatment on the mechanism of metastable  $\beta$ -phase decomposition during subsequent aging, as well as on final microstructure and tensile properties was studied. It is established that water quenching ensures more uniform and disperse microstructure and better balance of mechanical properties due to formation of high density of point (vacations) defects, which in turn cause the metastable  $\beta$ -phase decomposition involving appearance of transition  $\omega$ - and  $\alpha''(\alpha')$ -phases.

*Pohrelyuk I. M., Sheikin S. Ye., and Yefrosinin D. V.* Surface strengthening of BT1-0 titanium under thermodiffusion with nitrogen in the temperature range 650...750°C..... 67

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено фізико-хімічні характеристики поверхневих зміцнених шарів технічно чистого титану BT1-0 після термодифузійного насичення азотом у діапазоні температур 650...750°C. Встановлено, що азотування за цих температур забезпечує поверхнєве зміцнення до 17,0 GPa, а глибину зміцненого шару – до 80  $\mu\text{m}$ . Показано, що зниження парціального тиску азоту, застосування додаткового вакуумного відпалу забезпечують ефект пом'якшення при поверхнєвого зміцнення титану BT1-0.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы физико-химические характеристики поверхностных упроченных слоев технически чистого титана BT1-0 после термодиффузионного насыщения азотом в диапазоне температур 650...750°C. Установлено, что азотирование при этих температурах обеспечивает поверхностное упрочнения до 17,0 GPa, а глубину упроченного слоя – до 80  $\mu\text{m}$ . Показано, что снижение парциального давления азота, применение дополнительного вакуумного отжига обеспечивают эффект смягчения приповерхностного упрочнения титана BT1-0.

*SUMMARY.* The physicochemical characteristics of surface strengthened layers of commercially pure titanium BT1-0 after thermodiffusion saturation with nitrogen in the temperature range of 650...750°C were investigated. It was determined that nitriding in investigated temperature range provides a level of surface strengthening from 4.5 to 17.0 GPa, and depth of the strengthened layer – from 10 to 80  $\mu\text{m}$ . It was shown that decrease of the partial nitrogen pressure, use of the additional vacuum annealing provide the effect of softening of the surface strengthening of BT1-0 titanium.

*Malyshev V. V. and Shakhnin D. B.* Titanium coating on the carbon steel: direct-current and pulse electrodeposition, physicomechanical and chemical properties ..... 76

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено постійнострумове та уніполярне імпульсне електрохімічне осадження титану з галогенідних розплавів на сталеві матеріали. Оцінено корозійну тривкість титанових осадів у розчинах хлориду натрію та азотної кислоти за кімнатної температури.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано постояннотоковое и униполярное импульсное электрохимическое осаждение титана из галогенидных расплавов на стальные материалы. Оценена коррозионная стойкость титановых осадков в растворах хлорида натрия и азотной кислоты при комнатной температуре.

*SUMMARY.* Direct-current and unipolar pulse electrochemical deposits of titanium from halide melts onto steel materials were studied. Corrosion resistance of titanium deposits in sodium chloride and nitric acid solutions at room temperature was evaluated.

*Kryzhanivskiy Ye. I., Hoisan I. M., and Student O. Z.* Peculiarities of fatigue crack growth in 36Г2С steel of drilling pipes after restoration thermal treatment ..... 86

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив повторної нормалізації експлуатованої сталі 36Г2С бурильних труб на її структуру, ріст втомних тріщин та фрактографічні особливості руйнування. Встановлено зниження швидкості росту тріщин та зникнення крихких елементів на зламах після усунення текстури феритних виділень та карбідів з меж зерен внаслідок повторного термічного оброблення сталі. Водночас на 5% всіх досліджених зразків не виявили позитивного впливу відновлювального термічного оброблення на швидкість росту втомної тріщини в експлуатованому металі, що свідчить про доцільність попереднього (перед термічним обробленням) контролю технічного стану металу за показниками, чутливими до розсіяної пошкодженості.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние повторной нормализации эксплуатированной стали 36Г2С бурильных труб на ее структуру, рост усталостных трещин и фрактографические особенности разрушения. Обнаружено снижение скорости роста усталостных трещин и исчезновение хрупких элементов на изломах после устранения текстуры ферритных выделений и карбидов с границ зерен вследствие повторной термической обработки стали. В то же время на 5% всех исследованных образцов не обнаружили положительного влияния восстановительной термической обработки на скорость роста усталостной трещины в эксплуатированном металле, что свидетельствует о целесообразности предварительного (перед термической обработкой) контроля технического состояния металла за показателями, чувствительными к рассеянной повреждаемости.

*SUMMARY.* The effect of repeated normalization of the operated 36Г2С steel of drilling pipes on its microstructure, fatigue crack growth and fractography features was investigated. The decrease of fatigue crack growth rate and disappearance of the brittle elements from fracture surfaces were revealed after removing ferrite texture and carbides from the grain boundaries as a result of repeated thermal treatment of the operated steel. The positive influence of the repeated normalisation was not revealed for the 5% investigated specimens. This proves the requirement of the technical state control of the drilling pipes metal using indices sensitive to dissipated damages.

*Bilous V. A., Borysenko V. M., Voyevodin V. M., Didenko S. Yu., Ilchenko M. I., Nekludov I. M., and Rybka O. V.* The radiation-absorbing properties of multilayer composites Al–Pb .....92

*РЕЗЮМЕ.* Описано методику і результати експериментів з пропускання монохроматичного пучка електронів з енергією 2,5 MeV крізь зразки із алюмінію та шаруватих композитів Al–Pb з різною внутрішньою архітектурою. Встановлено, що порівняно з алюмінієм досліджені композити мають вищу поглинальну здатність. Це дає змогу або знизити вагу радіаційно-захисної структури за збереження ефективності захисту на рівні алюмінію, або підвищити ефективність захисту за незмінної ваги цієї структури.

*РЕЗЮМЕ.* Описаны методика и результаты экспериментов по пропусканию монохроматического пучка электронов с энергией 2,5 MeV сквозь образцы из алюминия и слоистых композитов Al–Pb с различной внутренней архитектурой. Установлено, что по сравнению с алюминием исследованные композиты обладают более высокой поглощающей способностью. Это позволяет или снизить вес радиационно-защитной структуры при сохранении эффективности защиты на уровне алюминия, или повысить эффективность защиты при неизменном весе этой структуры.

*SUMMARY.* The methodology and results of experiments on the penetration of monochromatic electron beam with energy of 2.5 MeV through the samples of aluminum and of layered composites Al–Pb with different internal architecture are described. It is established that in comparison with aluminum the composites have a high absorption capacity. This allows reducing the weight of radiation-protective structures while maintaining the efficiency of protection at the level of aluminum or increasing the effectiveness of protection in its current weight.

*Yaskiv O. I., Fedirko V. M., and Kukhar I. S.* The influence of the melts of lead

and eutectics lead-bismuth on fatigue life of martensitic and austenitic steels .....96

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено вплив розплавів свинцю та евтектики свинець–вісмут на втомні властивості сталей мартенситного 20X13 і аустенітного 12X18H10T класів у температурному інтервалі 200...450°C. Встановлено, що рідкометалева середовище сприяє суттєвому зниженню втомної довговічності сталей, причому розплав евтектики діє негативніше. Втомні властивості сталі 12X18H10T слабше змінюються під впливом розплавів свинцю та евтектики свинець–вісмут.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние расплавов свинца и эвтектики Pb–Bi на усталостные свойства сталей мартенситного 20X13 и аустенитного 12X18H10T классов в температурном диапазоне 200...450°C. Установлено, что жидкометаллическая среда способствует существенному снижению усталостной долговечности сталей, причем расплав эвтектики Pb–Bi оказывает более негативное воздействие. Усталостные свойства стали 12X18H10T меньше изменяются под влиянием расплавов свинца и эвтектики Pb–Bi.

*SUMMARY.* The effect of molten lead and eutectic Pb–Bi on the fatigue properties of martensitic Fe–13Cr and austenitic Fe–18Cr–10Ni steels in the temperature range 200...450°C was investigated. It was found that the liquid metal environment contributes to a significant decrease in fatigue life of steels, in this case the eutectic Pb–Bi has a more negative impact. The fatigue properties of the austenitic steel Fe–18Cr–10Ni are less changed under the influence of lead and eutectic Pb–Bi melts.

*Balaban O. V., Grygorchak I. I., and Kondyr A. I.* The effect of the ultrasonic treatment on properties of pyrophyllite, thermodynamic and kinetic regularities of its intercalation by lithium..... 103

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено вплив ультразвукової обробки пірофіліту в різних середовищах на його структуру та перенесення заряду. Проаналізовано ініційовані акустичною дією залежності зміни вільної енергії Гіббса, опору перенесенню заряду і ємності шару Гельмгольца від кількості “гостьового” літію  $x$ . Показано, що особливістю інтеркаляційної кінетики в  $\text{Li}_x\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2$  є аномально високі коефіцієнти дифузії катіонів літію для всіх досліджених значень  $x$ .

*РЕЗЮМЕ.* Изучено влияние ультразвуковой обработки пиррофиллита в разных средах на его структуру и перенесение заряда. Проанализированы инициируемые акустическим влиянием зависимости свободной энергии Гиббса, сопротивления перенесению заряда и емкости слоя Гельмгольца от количества “гостевого” лития  $x$ . Показано, что особенностью интеркаляционной кинетики в  $\text{Li}_x\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2$  есть аномально высокие коэффициенты диффузии катионов лития для всех исследованных значений  $x$ .

*SUMMARY.* The effect of ultrasonic treatment of natural mineral pyrophyllite in various media on its structure and processes of charge transfer was investigated. The dependences initiated by ultrasonic influence of the Gibbs' energy change, charge transfer resistance and Helmholtz capacitance of  $\text{Li}^+$ -intercalation process versus its “guest” lithium  $x$  load degree were analyzed. It is shown that anomalously high value of lithium diffusion coefficient for all investigated values of  $x$  is the peculiarity of intercalation kinetics in  $\text{Li}_x\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2$ .

*Vynogradov D. V., Tikhonovsky M. A., Kolodiy I. V., Bobrov Yu. P., and Rudycheva T. Yu.* Research of the processes of hydrogen sorption and desorption of cast and fast quenched Zr–V alloys..... 110

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено процеси поглинання та виділення водню сплавами Zr–V різного складу в литому і швидкозагартованому з розплаву станах. Виявлено, що за характеристиками сорбції-десорбції сплави в литому стані перевершують швидкозагартовані.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы процессы поглощения и выделения водорода сплавами Zr–V различного состава, которые находятся в литом и быстрозакаленном из расплава состояниях. Вывявлено, что по характеристикам сорбции-десорбции сплавы в литом состоянии превосходят быстрозакаленные.

*SUMMARY.* The processes of hydrogen absorption and desorption by cast and fast quenched Zr–V alloys are investigated. It is shown that the characteristics of sorption-desorption-cast alloys are better than such for fast quenched Zr–V alloys.

*Yevtushenko O., Kuciej M., and Och E.* The influence of thermal sensitivity of materials on temperature under friction..... 117

*РЕЗЮМЕ.* Отримано числово-аналітичний розв'язок нестационарної теплової задачі тертя для двох півпросторів з урахуванням термічної чутливості матеріалів. Лінеаризацію відповідної крайової задачі теплопровідності виконано в два етапи: спочатку часткову лінеаризацію за допомогою підстановки Кірхгофа, а потім остаточну – методами сплайн-апроксимації та простої ітерації. Для фрикційної пари титан–залізний сплав досліджено вплив температурозалежного коефіцієнта теплопровідності на температурне поле трибосистеми.

*РЕЗЮМЕ.* Получено численно-аналитическое решение нестационарной тепловой задачи трения для двух полупространств с учетом термической чувствительности материалов. Линейаризацию соответствующей краевой задачи теплопроводности выполнено в два этапа: сначала частичную линейаризацию с помощью подстановки Кирхгофа, а потом окончательную – методами сплайн-аппроксимации и простой итерации. Для фрикционной пары титан–железный сплав исследовано влияние температурозависимого коэффициента теплопроводности на температурное поле трибосистемы.

*SUMMARY.* The numerical-analytical solution of the transient heat problem of friction for two semi-spaces with account of the thermal sensitivity of materials was obtained. Linearization of the corresponding boundary-value problem of heat conduction has been completed in two stages: at first, a partial linearization by means of the Kirchhoff substitution and then the final one by the methods of the spline-approximation and a simple iteration. For friction pairs of titanium–iron alloy the influence of the dependence of the temperature dependent coefficient of heat conductivity on a temperature field of the tribosystem has been investigated.

*Rhaim S., Nasri F., Kharrat M., and Dammak M.* Characterization of tribological behavior of chromium and zinc coatings electrodeposited on a steel substrate ..... 123

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено трибологічну поведінку трьох видів електролітичних покриттів: декоративного хрому, твердого хрому та цинку, сформованих на підкладці зі сталі С45. Використано трибометр за умов зворотно-поступального руху контртіла. Виявлено, що для всіх покриттів значення стабілізованого коефіцієнта тертя однакові, однак, істотно вищі, ніж для підкладки. Покритв з декоративного хрому має найнижчий опір зношуванню, а вищу зносотривкість – цинковий. Найвища зносотривкість властива покритву з твердого хрому та підкладці без покритву.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано трибологическое поведение трех видов электролитических покрытий: декоративного хрома, твердого хрома и цинка, сформированных на подкладке из стали С45. Исползован трибометр при условиях возвратно-поступательного движения контртела. Обнаружено, что для всех покрытий значения стабилизированного коэффициента трения одинаковые, однако, существенно выше, чем для подкладки. Покрыв из декоративного хрома обладает наиболее низким сопротивлением изнашиванию, а цинковый наиболее износостойкий.

Наивысшая износостойкость свойственна покрытию из твердого хрома и подкладке без покрытия.

*SUMMARY.* Three coatings of decorative chromium, hard chromium and zinc, electrolytically deposited on the C45 steel substrate, are considered in this study. Experimental characterization of the tribological response of the substrate and different coatings against spherical 100Cr6 counterbody is developed with a linear reciprocating tribometer. The results show that the three coatings have similar values for the stabilized coefficient of friction which remains substantially higher than the value of the friction coefficient for the substrate. The decorative chromium coating has the lowest wear resistance. A better wear resistance is obtained with the zinc coating. The first place in terms of wear resistance is occupied by the hard chromium coating and the uncoated substrate which have similar resistance.

*Demchenko V. L., Vilenskyi V. O., and Shtompel V. I.* Structure and thermomechanical properties of the systems based on epoxy polymer, metal oxides and polyaniline ..... 128

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено структуру і термомеханічні властивості систем на основі епоксидного полімеру, оксидів металів та поліаніліну. Встановлено, що оксид заліза у суміші з поліаніліном починає проявляти свою кристалічну структуру у композиті на досить низькому концентраційному рівні (1,0 vol.%) на відміну від оксиду алюмінію, який не проявляє її навіть за високого його вмісту. Дослідження показали істотну залежність мікрогетерогенної структури композитів від типу атомів металу в оксидах. Методом термомеханічного аналізу показано, що композити на основі епоксидного полімеру і сумішей поліаніліну та одного з оксидів металів  $Al_2O_3$  або  $Fe_2O_3$  характеризуються здатністю до аномального розширення ( $\alpha_l = 25\%$ ).

*РЕЗЮМЕ.* Исследована структура и термомеханические свойства систем на основе эпоксидного полимера, оксидов металлов и полианилина. Установлено, что оксид железа в смеси с полианилином начинает проявлять свою кристаллическую структуру в композите на довольно низком концентрационном уровне (1,0 vol.%) в отличие от оксида алюминия, который ее не проявляет даже при его высоком содержании. Исследования показали существенную зависимость микрогетерогенной структуры композитов от типа атомов металла в оксидах. Методом термомеханического анализа показано, что композиты на основе эпоксидного полимера и смесей полианилина и одного из оксидов металлов  $Al_2O_3$  или  $Fe_2O_3$  характеризуются способностью к аномальному расширению ( $\alpha_l = 25\%$ ).

*SUMMARY.* The structure and thermomechanical properties of systems based on epoxy polymer, metal oxides and polyaniline are investigated. It was found that iron oxide in the mixture of polyaniline begins to show its crystal structure in the composite at fairly low concentration levels (1.0 vol.%), while aluminum oxide does not reveal it in the composite even at its high content. Studies have shown a significant dependence of microheterogeneous structure of the composites on the type of metal atoms in oxides. The method of thermomechanical analysis showed that composites based on epoxy polymer and mixtures of polyaniline and one of the metal oxides  $Al_2O_3$  or  $Fe_2O_3$  are characterized by the ability to abnormal expansion ( $\alpha_l = 25\%$ ).

*Pamfilov E. A., Lukashov S. V., and Prozorov Ya. S.* The mechanochemical destruction of wood working machinery parts ..... 134

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено експлуатаційні умови, механізми та закономірності зношування поверхонь деталей вузлів тертя стружкових станків. Зафіксовано складний комплекс явищ у зоні тертя ножового вала (чи ножового барабана) і деревини, що свідчить про корозійно-механічний знос. Встановлено, що найбільше на характер та інтенсивність зносу впливають вода, карбонові кислоти та поліфенольні сполуки. Механічний складник зношування під час тертя об деревину зумовлений втягуванням диспергованих частинок зносу в зону контакту, попаданням абразивних частинок (земля, пісок, глина) разом з оброблюваною деревиною чи попаданням цих частинок у з'єднання станка з докілья. Виявлено вплив наводнювання поверхні на зносотривкість матеріалу деталей деревооброблюваного обладнання. Проаналізовано закономірності та механізми зносу деталей вузлів тертя стружкових станків і сформульовано вимоги

до вибору способу підвищення зносотривкості, а також теоретично обґрунтовано структурно-фазовий склад і фізико-хімічні властивості поверхневого шару розглянутих деталей.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы эксплуатационные условия, механизмы и закономерности изнашивания поверхностей деталей узлов трения стружечных станков. Зафиксирован сложный комплекс явлений в зоне трения ножевого вала (или ножевого барабана) и древесины, что свидетельствует о преобладании коррозионно-механического вида изнашивания. Установлено, что наиболее существенно на характер и интенсивность изнашивания влияют вода, карбоновые кислоты и полифенольные соединения. Механическая составляющая износа при трении о древесину обусловлена вовлечением диспергированных частиц износа в зону контакта, попаданием абразивных частиц (земля, песок и глина) вместе с обрабатываемой древесиной или попаданием этих частиц в сопряжения станка из окружающей среды. Выявлено влияние наводороживания поверхности на износостойкость материала деталей деревообрабатывающего оборудования. Проанализированы закономерности и механизмы изнашивания деталей узлов трения стружечных станков и сформулированы требования к выбору способа повышения износостойкости, а также теоретически обоснованы структурно-фазовый состав и физико-химические свойства поверхностного слоя рассмотренных деталей.

*SUMMARY.* The operational conditions, mechanisms and regularities of wear process of woodworking machinery parts surfaces are investigated. The complex phenomena in the friction zone between steel parts and wood sets, proving the corrosion mechanical their (tribocorrosion), are recorded. It is established that water, carboxylic acids and polyphenolic compounds have the the greatest impact on the character and intensity of wear. The mechanical component of wear under friction against wood is caused by the involvement of the dispersed particles of wear in the contact zone, contact with abrasive particles (soil, sand and clay) together with the treated wood, or abrasive particles in the junction of the machine and the environment. The effect of surface hydrogenation on the durability of the wood treated device material is shown. The analysis of regularities of steel parts allows formulating the requirements to the method of increasing wear resistance and a theoretical basis for the structural-phase and physico-chemical properties of the surface layer of the woodworking machinery parts.

*Balitskii A. I., Abramek K. F., Stoeck T., and Osipowicz T.* Diagnostic of degradation of the lock seal ring by the loss of combustion engine working gases..... 142

*РЕЗЮМЕ.* Запропоновано оцінювати негерметичність циліндра двигуна внутрішнього згорання, яка залежить від зношування ущільнювального кільця поршня, за величиною його зазору, об'ємом та інтенсивністю продування газу до коробки колінвала. Встановлено, що нещільність замка кільця в першому наближенні лінійно залежить від швидкості продування газів.

*РЕЗЮМЕ.* Предложено оценивать негерметичность цилиндра двигателя внутреннего сгорания, которая зависит от изнашивания уплотняющего кольца поршня, за величиной его зазора, объемом и интенсивностью продувания газа к коробке коленвала. Установлено, что неплотность замка кольца в первом приближении линейно зависит от скорости продувания газов.

*SUMMARY.* It is proposed to estimate nonhermeticity of the automotive combustion engine cylinder, which depends on wear of the piston seal ring, by its gap value, volume and intensity of gas blow-through in the crankshaft box. It is established, that nonhermeticity of the seal ring in the first approximation is a linear dependence of the gas blow-through velocity.

#### IN SCIENTIFIC CIRCLES

*Rytsar D. I.* Defence of dissertations..... 145  
*Stashchuk M. H.* Scientific seminar "Problems of brittle fracture mechanics"..... 149

<i>Veselivska H. H.</i> Scientific seminar “Corrosion. Corrosion protection of metals”.....	151
<i>Voytko M. V.</i> Scientific-training seminar for young scientists “PhMI Scientific Schools – from generation to generation” .....	154
<b>IN THE WORLD OF BOOKS</b> .....	155