

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

ТОМ 50, № 2, 2014

березень – квітень

## ЗМІСТ

<i>Панасюк В. В.</i> Концепція декогезивного впливу водню на метали.....	7
<i>Дмитрах І. М., Лецак Р. Л., Сиротюк А. М., Лутицький О. Л.</i> Вплив об'ємної концентрації водню в металі на особливості деформування низьколегованої трубопровідної сталі.....	16
<i>Бойко В. М., Гембара О. В.</i> Розрахунок кінетики перерозподілу водню у біметалічних з'єднаннях.....	24
<i>Саврук М. П., Казберук А.</i> Криволінійні тріщини в анізотропній площині та граничний перехід до виродженого матеріалу.....	32
<i>Андрейків О. Є., Скальський В. Р., Долінська І. Я., Матвійв Ю. Я.</i> Визначення періоду докритичного росту тріщин повзучості за параметрами акустичної емісії.....	41
<i>Кунь П. С., Штаюра С. Т., Ленковський Т. М.</i> Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для тріщини поперечного зсуву у балковому зразку.....	50
<i>Банахевич Ю. В., Драгілев А. В., Кичма А. О.</i> Діагностування напружено- деформованого стану багатошарових кільцевих зварних з'єднань трубопроводів.....	54
<i>Стащук М. Г.</i> Оцінювання допустимих розмірів непроварів стільникових тонкостінних елементів.....	60
<i>Онишко Л. Й., Сенюк М. М., Біда Н. М.</i> Дія неосесиметричного динамічного навантаження на коловий отвір у пружній нескінченній площині.....	69
<i>Кривий О. Ф.</i> Міжфазне відшароване включення в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі.....	77
<i>Довбня К. М., Крупко Н. А.</i> Пружна взаємодія отвору та поверхневих радіальних тріщин різної довжини в ізотропній пластині.....	85
<i>Слободян Б. С., Маланчук Н. І., Мартиняк Р. М., Ляшенко Б. А., Марчук В. Є.</i> Локальне проковзування пружних тіл за наявності газу в міжконтактному зазорі.....	91
<i>Погрелюк І. М., Федірко В. М., Ткачук О. В., Проскурняк Р. В.</i> Корозійна тривкість титанових сплавів з оксинітридними покриттями в концентрованих неорганічних кислотах.....	97
<i>Архипов О. Г., Хома М. С., Лифар В. О., Ковальов Д. О.</i> Моніторинг корозійно-механічного руйнування обладнання імпульсно- електрохімічним методом.....	104
<i>Попович П. В., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б.</i> Вплив органічних добрив на корозійно-електрохімічні характеристики маловуглецевих сталей.....	110
<i>Студент М. М., Шмирко В. В., Клапків М. Д., Лясота І. М., Добровольська Л. Н.</i> Оцінювання механічних властивостей комбінованих металооксидо-керамічних	

шарів на алюмінієвих сплавах.....	116
<i>Суберляк О. В., Красінський В. В., Моравський В. В., Герлах Х., Яховіч Т.</i> Вплив алюмосилікатного наповнювача на фізико-механічні властивості поліпропілен-полікапроамідних композитів .....	122
<i>Мацько І. Й., Яворський І. М., Юзефович Р. М., Маєвські Я.</i> Аналіз вібраційного стану стрижня з тріщиною під дією стохастичних циклічних навантажень.....	128

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

ТОМ 50, № 2, 2014

март – апрель

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Панасюк В. В.</i> Концепция декогезионного влияния водорода на металлы.....	7
<i>Дмытрах И. Н., Лещак Р. Л., Сыротюк А. М., Лутицкий А. Л.</i> Влияние объемной концентрации водорода в металле на особенности деформирования низколегированной трубопроводной стали .....	16
<i>Бойко В. Н., Гембара О. В.</i> Расчет кинетики перераспределения водорода в биметаллических соединениях.....	24
<i>Саврук М. П., Казберук А.</i> Криволинейные трещины в анизотропной плоскости и граничный переход к вырожденному материалу .....	32
<i>Андрейкив А. Е., Скальский В. Р., Долинская И. Я., Матвиив Ю. Я.</i> Определение периода докритического роста трещин ползучести по параметрам акустической эмиссии.....	41
<i>Кунь П. С., Штаюра С. Т., Ленковский Т. М.</i> Определение коэффициента интенсивности напряжений для трещины поперечного сдвига в балочном образце.....	50
<i>Банахевич Ю. В., Драгилев А. В., Кычма А. А.</i> Диагностирование напряженно-деформированного состояния многослойных кольцевых сварных соединений трубопроводов.....	54
<i>Стащук Н. Г.</i> Оценивание допустимых размеров непроваров сотовых тонкостенных элементов.....	60
<i>Онышко Л. И., Сенюк М. Н., Бида Н. М.</i> Воздействие неосесимметричной динамической нагрузки на круговое отверстие в упругой бесконечной плоскости.....	69
<i>Кривой А. Ф.</i> Межфазное отслоенное включение в кусочно-однородном трансверсально-изотропном пространстве .....	77
<i>Довбня Е. Н., Крупко Н. А.</i> Упругое взаимодействие отверстия и поверхностных радиальных трещин разной длины в изотропной пластине.....	85
<i>Слободян Б. С., Маланчук Н. И., Мартыняк Р. М., Ляшенко Б. А., Марчук В. Е.</i> Локальное проскальзывание упругих тел при наличии газа в межконтактном зазоре.....	91
<i>Погрелюк И. Н., Федирко В. Н., Ткачук О. В., Проскурняк Р. В.</i> Коррозионная стойкость титановых сплавов с оксинитридными покрытиями в концентрированных неорганических кислотах.....	97
<i>Архипов А. Г., Хома М. С., Лифар В. А., Ковалев Д. А.</i> Мониторинг коррозионно-механического разрушения оборудования импульсно- электрохимическим методом .....	104
<i>Попович П. В., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б.</i> Влияние органических удобрений на коррозионно-электрохимические характеристики малоуглеродистых сталей.....	110

<i>Студент М. М., Шмырко В. В., Клапков М. Д., Лясота И. Н., Добровольская Л. Н.</i> Оценка механических свойств комбинированных металлооксидокерамических слоев на алюминиевых сплавах.....	116
<i>Суберляк О. В., Красинский В. В., Моравский В. В., Герлах Х., Яхович Т.</i> Влияние алюмосиликатного наполнителя на физико-механические свойства полипропилен-поликапроамидных композитов.....	122
<i>Мацько И. И., Яворский И. Н., Юзефович Р. М., Маевски Я.</i> Анализ вибрационного состояния стержня с трещиной под воздействием стохастических циклических нагрузжений.....	128

# PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

VOLUME 50, № 2, 2014

March – April

---

---

## CONTENTS

*Panasyuk V. V.* Concept of decohesion hydrogen effect on metals .....7

*РЕЗЮМЕ.* Розглянуто деякі концепції взаємодії водню з металами (заліза та його сплавів) за умов навантаження у водневому середовищі, зокрема, їх водневого окрихнення. Цій проблемі присвячена велика кількість досліджень [1–10], в яких запропоновано різні концепції-моделі для обґрунтування механізмів водневого окрихнення металів. Але на їх основі не вдається зрозуміти двоїтий характер дії водню на деформування металів, тобто полегшення їх пластичного деформування та окрихнення. Описано декогезивну концепцію взаємодії водню з металом, на підставі якої можна пояснити процеси пластифікування металу на початковій стадії деформування, а під час подальшого деформування – і окрихнення. Наведено огляд досліджень у цьому напрямку науковців Фізико-механічного інституту (ФМІ) ім. Г. В. Карпенка НАН України.

*РЕЗЮМЕ.* Рассмотрены некоторые концепции взаимодействия водорода с металлами (железа и его сплавов) при нагружении в водородной среде, в частности, их водородного охрупчивания. Этой проблеме посвящено большое количество исследований [1–10], где предложены различные концепции-модели для обоснования механизмов водородного охрупчивания металлов. Однако на их основе нельзя объяснить двойственный характер воздействия водорода на деформирование металлов, т. е. облегчение их пластического деформирования и охрупчивания. Описана декогезионная концепция взаимодействия водорода с металлом, на основании которой можно объяснить процессы его пластифицирования на начальной стадии деформирования, а при дальнейшем деформировании – и охрупчивания. Приведен обзор исследований по этой проблеме ученых Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины.

*SUMMARY.* Some concepts of the interaction of hydrogen with metals (iron and its alloys) under loading in hydrogen environment, in particular of their hydrogen embrittlement are considered. A great number of investigations [1–10] deal with this problem in which different concepts-models for substantiating the mechanisms of metal hydrogen embrittlement are proposed. However, on their bases it is not possible to understand the ambiguous character of hydrogen influence of metal deformation that is the facilitation of their plastic deformation and embrittlement. The cohesive concept of hydrogen-metal interaction is described, using which it is possible to explain the processes of material plastification at the initial stage of deformation and during the following deformation – the embrittlement. A review of the researches into this problem carried out by the scientists of H. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of sciences is proposed.

*Dmytrakh I. M., Leschak R. L., Syrotyuk A. M., and Lutytskyy O. L.*

The influence of bulk hydrogen concentration in metal on peculiarities of low-alloyed pipeline steel deformation.....16

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено особливості деформування низьколегованої трубопровідної сталі у водневовмісному середовищі залежно від об'ємної концентрації водню в металі. Виявлено деяке характеристичне її значення, коли змінюється механізм впливу водню на деформування сталі: нижче цього значення матеріал пластифікується, а вище – окрихчується. Значення  $C_H^*$  можна розглядати як важливий інженерний параметр для оцінювання міцності та руйнування матеріалів і елементів конструкцій у водневовмісних середовищах, а також для опрацювання технологій водневої обробки конструкційних матеріалів, щоб оптимізувати їх службові характеристики.

*РЕЗЮМЕ.* Установлены особенности деформирования низколегированной трубопроводной стали в водородсодержащей среде в зависимости от объемной концентрации водорода в металле. Выведено некоторое характеристическое значение этой концентрации, когда изменяется механизм влияния водорода на деформирование стали: ниже этого значения водород способствует пластификации материала, а выше – его охрупчиванию. Концентрацию  $C_H^*$  можно рассматривать как важный инженерный параметр для оценивания прочности и разрушения материалов и элементов конструкций в водородсодержащих средах, а также при создании технологии водородной обработки конструкционных материалов с целью оптимизации их служебных свойств.

*SUMMARY.* The peculiarities of strain behavior of pipeline steel depending on hydrogen concentration in the metal bulk were studied. The existence of some characteristic value of hydrogen concentration was revealed at which the mechanism of hydrogen influence changes, namely: below this value the enhanced plasticity (decreasing of the yield stress value) takes places and above – the hydrogen embrittlement occurs. The value  $C_H^*$  can be considered as an important engineering parameter for strength and fracture assessment of materials and structural components in hydrogenous environments and also when creating the technology of hydrogen treatment of materials with the aim of improvement of their service properties.

*Boiko V. M. and Hembara O. V.* Calculation of hydrogen redistribution kinetics

in bi-metal joints .....24

*РЕЗЮМЕ.* Запропоновано алгоритм розв'язування методом скінченних елементів задачі теплопровідності та дифузії водню зі змінними коефіцієнтами дифузії і розчинності для структурно-неоднорідних матеріалів. Алгоритм апробовано на прикладі розв'язування задачі для біметалічного циліндричного зразка, який, згідно зі стандартом ASTM G146-01, використовують для досліджень на водневу стійкість біметалічних з'єднань. Отримано розподіл концентрації водню у циліндричному зразку з наплавкою внаслідок охолодження за різних швидкостей після високотемпературного наводнювання. Показано, що у зоні сплавлення зі сторони напавлення виникають зони надрівноважного перенасичення воднем, що може спричинити відшарування напавлення від основного металу.

*РЕЗЮМЕ.* Методом конечных элементов решена задача теплопроводности и диффузии водорода с переменными коэффициентами диффузии и растворимости водорода для структурно-неоднородных материалов. Алгоритм апробировано на

примере решения задачи для биметаллического цилиндрического образца, который, согласно стандарта ASTM G146-01, используют для исследований на водородную стойкость биметаллических соединений. Получено распределение концентрации водорода в цилиндрическом образце с наплавкой в результате его охлаждения при разных скоростях после высокотемпературного наводороживания. Показано, что в зоне сплавления со стороны наплавки возникают зоны сверхравновесного перенасыщения водородом, которые могут повлечь отслаивание наплавки от основного металла.

*SUMMARY.* The algorithm of numerical solution of the coupled problem of thermoelasticity and hydrogen diffusion with variable diffusion and solubility coefficients for structural-inhomogeneous materials is proposed. The algorithm was approved on the example of the problem solution for a bi-metallic cylindrical specimen that, according to the ASTM G146-01 standard, is used for investigations of hydrogen resistance of bi-metal joints. Hydrogen concentration distribution in the cylindrical specimen with a surfacing as a result of the specimen cooling with different speeds after high-temperature hydrogenation was obtained. It is shown that in the welding zone from the surfacing side the regions of over-equilibrium hydrogen over-saturation appear that can cause the lamination of the surfacing from the base metal.

*Savruk M. P. and Kazberuk A.* Curvilinear cracks in an anisotropic plane and boundary transition to a degenerated material .....32

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено зв'язок між сингулярними інтегральними рівняннями першої основної задачі плоскої теорії пружності для анізотропного тіла з криволінійними тріщинами в допоміжній та основній комплексних площинах. За допомогою граничного переходу побудовано інтегральні рівняння задачі для виродженого анізотропного середовища з тріщинами, коли комплексні корені характеристичного рівняння кратні. Отримано формули для визначення напруженого стану та знаходження коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершинах тріщин через розв'язки інтегральних рівнянь.

*РЕЗЮМЕ.* Установлена связь между сингулярными интегральными уравнениями первой основной задачи плоской теории упругости для анизотропного тела с криволинейными трещинами в вспомогательной и основной комплексных плоскостях. С помощью граничного перехода построены интегральные уравнения задачи для вырожденной анизотропной среды с трещинами, когда комплексные корни характеристического уравнения кратные. Получены формулы для определения напряженного состояния и коэффициентов интенсивности напряжений в вершинах трещин через решения интегральных уравнений.

*SUMMARY.* The relationship between the singular integral equations of the first basic boundary value problem of the plane theory of elasticity for an anisotropic body with curvilinear cracks in the auxiliary and main complex planes is established. The integral equations of the problem for degenerate anisotropic medium with cracks are constructed when the complex roots of the characteristic equation are multiple. The formulas for determining the stress state and the stress intensity factors at the crack tips in the terms of the integral equations solutions are obtained.

*Andreikiv O. Ye., Skalskyi V. R., Dolinska I. Ya., and Matviiv Yu. Ya.*  
 Determination of the period of subcritical creep crack growth  
 by acoustic emission parameters .....41

*РЕЗЮМЕ.* Визначено період докритичного росту тріщин низькотемпературної повзучості за параметрами сигналів акустичної емісії. Розроблено спосіб побудови кінетичних діаграм росту таких тріщин методом акустичної емісії.

*РЕЗЮМЕ.* Определен период докритического роста трещин низкотемпературной ползучести по параметрам сигналов акустической эмиссии. Разработан способ построения кинетических диаграмм роста таких трещин с помощью метода акустической эмиссии.

*SUMMARY.* The period of subcritical growth of low-temperature creep cracks is evaluated by the parameters of acoustic emission signals. The method of construction of kinetic diagrams of such crack growth using the method of acoustic emission is developed.

*Kun P. S., Shtayura S. T., and Lenkovskiy T. M.* Evaluation of the stress intensity factor for transverse shear cracks in a beam specimen .....50

*РЕЗЮМЕ.* З використанням методу суперпозицій напружених станів встановлено формулу для визначення коефіцієнта інтенсивності напружень поперечного зсуву  $K_{II}$  у балковому зразку двотаврового перерізу. Порівняння розрахункових результатів із теоретичними, отриманими раніше методом скінченних елементів, вказує на задовільну їх збіжність у широкому діапазоні відносних довжин тріщини.

*РЕЗЮМЕ.* Используя метод суперпозиций напряженных состояний установлена формула для определения коэффициента интенсивности напряжений поперечного сдвига  $K_{II}$  в балочном образце двутаврового сечения. Сравнение расчетных результатов с теоретическими, полученными ранее методом конечных элементов, указывает на удовлетворительную их сходимость в широком диапазоне относительных длин трещины.

*SUMMARY.* Using the method of superposition of stress states the formula for determining the stress intensity factor  $K_{II}$  in the transverse shear of I-beam specimen is established. The calculated results are compared with the theoretical ones previously obtained by the finite element method, thus indicating their satisfactory convergence in a wide range of the relative crack lengths.

*Banakhevych Yu. V., Dragiliev A. V., and Kychma A. O.* Diagnostics of the stress-strain state of multi-layer ring welded joints of pipelines .....54

*РЕЗЮМЕ.* В межах теорії оболонок побудовано математичну модель, що описує осесиметричний напружено-деформований стан багат шарових кільцевих зварних з'єднань труб під дією локалізованих біля шва залишкових несумісних деформацій. Залишкові напруження визначали на основі розв'язку обернених задач теорії оболонок з власними напруженнями та експериментальної інформації, отриманої методом спекл-інтерферометрії. Створено дослідницьке устаткування і програмне забезпечення, які дають можливість визначати і відтворювати залишкові напруження в зоні багат шарового зварного з'єднання. Наведені графічні залежності колових залишкових напружень від відстані до осі шва.

*РЕЗЮМЕ.* В рамках теории оболочек построена математическая модель, которая описывает осесимметричное напряженно-деформированное состояние многослойных кольцевых сварных соединений труб под действием локализованных возле шва остаточных несовместимых деформаций. Остаточные напряжения определяли на основе

решения обратных задач теории оболочек с собственными напряжениями с использованием экспериментальной информации, полученной методом спекл-интерферометрии. Создано исследовательское оборудование и программное обеспечение, дающие возможность определять и воспроизводить остаточные напряжения в зоне многослойного сварного соединения. Приведены графические зависимости кольцевых остаточных напряжений от расстояния к оси шва.

*SUMMARY.* The mathematical model is built in the frame of the shell theory, which describes the axial-symmetric stress-strain state of the multilayer circumferential welded joints of pipes under action of residual incompatible deformations localized near the weld. The residual stresses were evaluated based on the solution of the inverse problems of the shell theory with own stresses using the experimental data obtained by the speckle interferometry method. The experimental devices and software were created that allow the evaluation and representation of the residual stresses in the area of multilayer welded joint. The graphic dependences of circumferential residual stresses, depending on the distance from the weld axis are presented.

*Stashchuk M. H.* Evaluation of the admissible sizes of faulty fusions of thin-walled cell elements .....60

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено напружено-деформований стан біля технологічних тріщиноподібних непроварів у стільниковому елементі. Отримано формулу розрахунку коефіцієнтів інтенсивності напружень для тріщиноподібного непровару та знайдено його критичну довжину. Виявлено, що непровари довжиною до половини товщини стінки елемента не впливають на міцність стільникових виробів.

*РЕЗЮМЕ.* Установлено напряженно-деформированное состояние возле технологических трещиноподобных непроваров в сотовом элементе. Получена формула расчета коэффициентов интенсивности напряжений для трещиноподобного непровара и найдено его критическую длину. Установлено, что непровары длиной до половины толщины стенки элемента не влияют на прочность сотовых изделий.

*SUMMARY.* The stress-strain state at the technological crack-like faulty fusions in a cell element was established. The formula calculating the stress intensity factors  $K_I$  for the crack like faulty fusion was found and its critical length was calculated. It was established that faulty fusions of the length to half of the wall thickness does not affect the strength of cellular products.

*Onyshko L. Yo., Senyuk M. M., and Bida N. M.* Action of nonaxisymmetrical dynamic loading on the circumferential hole in an elastic infinite plane .....69

*РЕЗЮМЕ.* Отримано розв'язок плоскої динамічної задачі теорії пружності про дію неосесиметричного навантаження на краю колового отвору в нескінченній площині. Для розв'язування задачі використано модифікований метод скінченних різниць за часом та метод рядів Фур'є за кутовою змінною. Знайдено розподіл напружень та числово розраховано концентрацію напружень на краю колового отвору залежно від часу за різних коефіцієнтів Пуассона для розподіленого за певним законом навантаження.

*РЕЗЮМЕ.* Получено решение плоской динамической задачи теории упругости о воздействии неосесимметричной нагрузки на круговое отверстие в бесконечной плоскости. Для решения задачи использовано модифицированный метод конечных

разностей по времени и метод рядов Фурье по угловой переменной. Найдено распределение напряжений и проведен численный расчет концентрации напряжений на краю кругового отверстия, находящегося под действием распределенного за некоторым законом нагружения, в зависимости от времени для различных коэффициентов Пуассона.

*SUMMARY.* The modified finite difference method with respect to time and the Fourier series method with respect to the angular variable are used to solve the plane dynamic elastic problem on action of symmetrically located nonaxisymmetrical loading on the circular hole boundary in an infinite plane. The stress distributions for the assigned problem are found. The numerical calculation of stress concentration distribution at the hole boundary depending on time for different Poisson's ratios and the loading distributed by certain laws is carried out.

*Крывуу O. F.* The interface laminated inclusion in a piece-wise non-uniform transversally isotropic space.....77

*РЕЗЮМЕ.* Розв'язано в явному вигляді неосесиметричну задачу про кругове міжфазне відшароване включення в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному середовищі за довільного навантаження. Встановлено асимптотики розв'язків, отримано вирази для узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень на межі включення, а також їх значення для деяких поєднань трансверсально-ізотропних матеріалів.

*РЕЗЮМЕ.* Построено в явном виде решение неосесимметричной задачи о круговом межфазном отслоившемся включении в кусочно-однородном трансверсально-изотропном пространстве при произвольной нагрузке. Получены асимптотики решений, выражения для обобщенных коэффициентов интенсивностей напряжений на границе включения, а также их значения для некоторых сочетаний трансверсально-изотропных материалов.

*SUMMARY.* The solution of a non-axisymmetric problem on the circular interface delaminated inclusion in the non-uniform transversally isotropic space under different loading was constructed in the explicit form. The asymptotic of solutions, expressions for the generalized stress intensity factors at the inclusion boundary and also the value of the indicated coefficients for some combinations of the transversally isotropic materials was obtained.

*Dovbnya K. M. and Krupko N. A.* Elastic interaction of a hole and four surface cracks of different length in an isotropic plate .....85

*РЕЗЮМЕ.* Розглянуто взаємовплив чотирьох поверхневих тріщин і кругового отвору в тонкій ізотропній пластині. Для розв'язання задачі використано метод граничних інтегральних рівнянь та модель лінійних пружин. Систему граничних інтегральних рівнянь для цієї задачі розв'язано числово методом механічних квадратур. Встановлено взаємовплив дефектів за їх близького розташування. Обчислено коефіцієнти інтенсивності напружень у вершинах тріщин і коефіцієнти концентрації напружень на контурі отвору.

*РЕЗЮМЕ.* Рассмотрено взаимовлияние четырех поверхностных трещин и кругового отверстия в тонкой изотропной пластине. Для решения задачи использованы метод граничных интегральных уравнений и модель линейных пружин. Система

граничных интегральных уравнений для этой задачи решена численно методом механических квадратур. Установлено взаимовлияние дефектов при их близком расположении. Вычислены коэффициенты интенсивности напряжений в вершинах трещин и коэффициенты концентрации напряжений на контуре отверстия.

*SUMMARY.* The case of interaction of four surface cracks and a circular hole in a thin isotropic plate was considered. To solve this problem, the method of the boundary integral equations and the line-spring model were applied. The system of the boundary integral equations for this problem was solved numerically by the method of mechanical quadratures. The influence of defects on each other are demonstrated when they are close together. The stress intensity factors at the crack tip and the stress concentration factors at the hole contour are calculated.

*Slobodian B. S., Malanchuk N. I., Martynyak R. M., Liashenko B. A., and Marchuk V. Ye.* Local slip of elastic bodies in the presence of gas in the intercontact gap .....91

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено контакт двох пружних тіл з однакових матеріалів, одне з яких має пологу виїмку, з урахуванням тиску газу в міжконтактному зазорі та локального фрикційного проковзування поверхонь в околі його кінців. Задачу зведено до системи двох сингулярних інтегральних рівнянь відносно функції висоти міжконтактного зазору та зсуву поверхонь на зазорі і ділянках проковзування, одне з яких розв'язано аналітично, а інше – числово. Проаналізовано залежності довжини ділянок проковзування, контактних напружень та відносного зсуву поверхонь від прикладених навантажень.

*РЕЗЮМЕ.* Исследован контакт двух упругих тел из одинаковых материалов, одно из которых имеет поверхностную выемку, с учетом давления газа в межконтактном зазоре и локального фрикционного проскальзывания поверхностей в окрестности его концов. Задача сведена к системе двух сингулярных интегральных уравнений относительно функции высоты межконтактного зазора и сдвига поверхностей на зазоре и участках проскальзывания. Решение первого уравнения найдено аналитически, а второе решено численно. Проанализированы зависимости длины зазора, участка проскальзывания и контактных напряжений от приложенной нагрузки.

*SUMMARY.* The friction contact interaction between two solids made of the same isotropic materials, one of which possesses a surface shallow groove, with account of the presence of gas in intercontact gap, under sequential application of a normal and shear load is investigated. Local slip of boundaries is caused by shear forces. The contact problem is reduced to the system of Cauchy-type singular integral equations for the intercontact gap height and relative shift of the boundaries at the slip zone, first of them is solved analytically, the second one – numerically. The dependences of the gap length slip zone size and contact stresses on the applied loading are analyzed.

*Pohrelyuk I. M., Fedirko V. M., Tkachuk O. V., and Proskurnyak R. V.* Corrosion resistance of titanium alloys with oxynitride coatings in concentrated inorganic acids .....97

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено корозійну поведінку титанових сплавів VT1-0, VT6c і VT14 після термодифузійного оксинітрування в 20- і 30%-их водних розчинах хлоридної кислоти, а також в 40-; 80- і 85%-их сульфатної. Встановлено, що оксинітридні покритви ефективніше захищають титанові сплави, ніж оксидні та нітридні, що пов'язано з особли-

востями структури та хімічного зв'язку між атомами в кристалічній ґратці оксинітриду титану. Виявлено, що сформований оксинітридний шар забезпечує високу корозійну тривкість титанових сплавів у хлоридній кислоті, а шарувата структура, яка містить оксидний та оксинітридний складники, – у сульфатній.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано корозионное поведение титановых сплавов BT1-0, BT6c и BT14 после термодиффузионного оксинитрирования в 20- и 30%-ых водных растворах хлоридной кислоты, 40-, 80- и 85%-ых сульфатной. Установлено, что оксинитридные покрытия более эффективны, чем оксидные и нитридные, что связано с особенностями структуры и химической связи между атомами в кристаллической решетке оксинитрида титана. Выявлено, что сформированный оксинитридный слой обеспечивает высокую коррозионную стойкость титановых сплавов в хлоридной кислоте, а слоистая структура, содержащая оксидную и оксинитридную составляющие, – в сульфатной.

*SUMMARY.* The corrosion behaviour of BT1-0, BT6c and BT14 titanium alloys after thermodiffusion oxynitriding in 20 and 30% aqueous solutions of hydrochloric acid, 40; 80 and 85% sulphuric acid was investigated. It was established that oxynitride coatings are more effective than oxide and nitride alloys. This is related with the peculiarities of the structure and chemical bonds between atoms in the titanium oxynitride crystalline lattice. It is shown that the oxynitride layer formed during oxynitriding provides the high corrosion resistance of titanium alloys in hydrochloric acid, while the laminated structure, containing oxide and oxynitride components, – in sulphuric acid.

*Arkhipov O. H., Khoma M. S., Lyfar V. O., and Kovalyov D. O.* Monitoring of corrosion-mechanical fracture of equipment using the pulse-electrochemical method ..... 104

*РЕЗЮМЕ.* Описано новий спосіб електрохімічного імпульсного контролю корозійно-механічного руйнування технологічних об'єктів, які експлуатуються в середовищі рідких електролітів у хімічній та нафтопереробній галузях, зокрема технічного стану обладнання, і прогнозування його залишкового ресурсу за зміною з часом різниці потенціалів та інтенсивністю появи електричних імпульсів руйнування.

*РЕЗЮМЕ.* Описан новый способ электрохимического импульсного контроля коррозионно-механического разрушения технологических объектов, эксплуатируемых в среде жидких электролитов в химической и нефтеперерабатывающей отраслях, в частности, технического состояния оборудования и прогнозирования его остаточного ресурса по изменению разницы потенциалов во времени и интенсивности появления импульсов разрушения.

*SUMMARY.* The new method of electrochemical pulse control of corrosion-mechanical fracture of technological objects, operating in the environment of liquid electrolytes in chemical and oil-processing industry, in particular, the technical state of equipment and prediction of its residual life by the change of potentials difference and by the intensity of fracture pulses appearance, is described.

*Popovych P. V., Mahlatyuk L. A., and Kupovych R. B.* The influence of organic manures on corrosion-electrochemical characteristics of low-carbon steels ..... 110

*РЕЗЮМЕ.* Виявлено, що середовище рідкого та змішаного гною має низьку корозійну активність стосовно сталей 20 та Ст.3. Спостережувані незначні локальні корозійні пошкоди зумовлені налипанням завислих частинок (солома, насіння тощо). Швидкість

корозії цих сталей за першу добу експозиції у відфільтрованому гної становить лише 0,032...0,040 mm/year, що в 3–4 рази нижче порівняно із модельним розчином дощової води. Подальше зниження швидкості до 0,003 mm/year може бути пов'язане з інгібувальними властивостями хімічних складників гною. Корозія сталей 20 та Ст.3 в обох видах гною протікає за електрохімічним механізмом. Стационарні потенціали обох сталей в цих середовищах, порівняно із дистильованою водою, зміщені в область від'ємніших значень, а струми корозії в 4–5 разів нижчі. Константи Тафеля вищі, ніж у дистильованій воді, що свідчить про утруднення обох електродних реакцій порівняно із модельним середовищем.

*РЕЗЮМЕ.* Выявлено, что среда жидкого и смешанного навоза оказывает слабое коррозионное воздействие на стали 20 и Ст.3. Наблюдаемые незначительные локальные коррозионные повреждения вызваны налипанием взвешенных частиц (солома, семена и др.). Скорость коррозии этих сталей в профильтрованном навозе после первых суток экспозиции составляет лишь 0,032...0,040 mm/year, что в 3–4 раза ниже, чем в модельном растворе дождевой воды. Последующее снижение скорости до 0,003 mm/year может быть связано с ингибирующими свойствами химических составляющих навоза. Коррозия сталей 20 и Ст.3 в обоих видах навоза протекает по электрохимическому механизму. Стационарные потенциалы этих сталей в данных средах по сравнению с дистиллированной водой смещены в сторону более отрицательных значений, а токи коррозии в 4–5 раз ниже. Константы Тафеля для этих сталей более высокие, чем в дистиллированной воде, что указывает на затруднение обеих электродных реакций.

*SUMMARY.* It was established that media of the liquid and mixed manure had a weak corrosion effect on steel 20 and Ст.3. The insignificant corrosion damages were observed to be caused by the adhesive suspended particles (straw, seeds and others). Corrosion rate of those steels in the filtered manure after the first day of exposition is only 0.032...0.040 mm/year, that is in 3–4 times lower than in the model solution of rainy water. Next reduction of the rate to 0.003 mm/year can be connected with inhibiting properties of manure chemical components. Corrosion of 20 and Ст.3 steels in two kinds of manure runs by the electrochemical mechanism. Stationary potentials of those steels in the present media in comparison with distilled water shift to more negative values, corrosion currents are in 4–5 times lower. The Tafel constants of those steels are higher than in distilled water, thus indicating complication of both electrode reactions.

*Student M. M., Shmyrko V. V., Klapkiv M. D., Lyasota I. M., and Dobrovolska L. N.*

Assessment of the mechanical properties of combined metal oxide ceramic layers on aluminum alloys ..... 116

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено фізико-механічні властивості металооксидокерамічних шарів на алюмінієвих сплавах і електрометалізаційних алюмінієвих покриттях методами інденування, склерометрії та комбінованим електрохімічним і акустично-емісійним методом. За допомогою цих методів виявлено позитивний вплив міді на фізико-механічні властивості оксидокерамічних шарів. Встановлено, що за наявності міді в оксидокерамічному шарі підвищуються його модуль пружності, мікротвердість та мікропластичність.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано физико-механические свойства металооксидокерамических слоев на алюминиевых сплавах и электрометаллизационных покрытиях методами инденування, склерометрии и комбинированным электрохимическим совокупно из акустическим методом. С помощью этих методов выявлено положительное влияние меди на физико-механические характеристики оксидокерамических слоев. Доказано, что за присутствия

меди в оксидокерамическом слое повышаются его модуль упругости, микротвердость и микропластичность.

*SUMMARY.* The physical and mechanical properties of the metal oxide layers on the aluminum alloys and on the arc sprayed aluminum coatings were investigated using the indenter and sclerometrical methods and the combined electrochemical and acoustic emission methods. The positive effect of the copper on the physical and mechanical properties of the metal oxide layers was revealed using these methods. It was shown that the presence of copper in the oxide ceramic layers increases the microhardness and microplasticity and also its elasticity modulus.

*Suberlyak O. V., Krasinskyi V. V., Moravskiy V. V., Gerlach H., and Jachovicz T.*

The effect of aluminosilicate filler on the physico-mechanical characteristics of polypropylene-polycapraamide composites ..... 122

*РЕЗЮМЕ.* Розроблено композити на основі сумішей поліпропілену з полікапроамідом ПА-6 та алюмосилікатного нанонаповнювача монтморилоніту, щоб одержати нові конструкційні матеріали. Встановлено вплив концентрації компонентів композиції на фізико-механічні, деформаційні та релаксаційні властивості композитів.

*РЕЗЮМЕ.* Разработаны композиты на основе смесей полипропилена с поликапроамидом ПА-6 и алюмосиликатного нанонаполнителя монтмориллонита для получения новых конструкционных материалов. Установлено влияние концентрации компонентов композиции на физико-механические, деформационные и релаксационные свойства полученных композитов.

*SUMMARY.* The composites are developed on the basis of polypropylene with polycapraamide PA-6 mixtures and aluminosilicate montmorillonite as nanofiller to obtain new structural materials. The influence of composition components concentration on the physico-mechanical, strain and relaxation characteristics of the obtained composites is determined.

*Matsko I. Yo., Javorskyj I. M., Yuzefovych R. M., and Majewski J.* Analysis

of vibration state of a cracked beam under stochastic cyclic loadings ..... 128

*РЕЗЮМЕ.* На основі числових розв'язків нелінійного диференціального рівняння II-го порядку проаналізовано коливання стержня під дією стохастичної вимушувальної сили. Встановлено, що за появи тріщини коливання набувають властивостей періодичної нестационарності. Показано, що в режимі суперрезонансу характеристики нестационарності другого порядку є чутливішими до розвитку тріщини, ніж характеристики детермінованої складової. Використання діагностичних ознак, побудованих на їх основі, дає змогу виявляти тріщини вже за малих довжин.

*РЕЗЮМЕ.* На основе численных решений нелинейного дифференциального уравнения второго порядка проанализировано колебание стержня под действием стохастической вынуждающей силы. Установлено, что при появлении трещины колебания приобретают свойства периодической нестационарности. Показано, что в режиме суперрезонанса характеристики нестационарности второго порядка более чувствительны к развитию трещин, чем характеристики детерминированной составляющей. Использование диагностических признаков, построенных на их основе, дает возможность выявлять трещины уже при малых длинах.

*SUMMARY.* On the base of numerical solutions of non-linear differential equation of

the second order the oscillations of a beam loaded by stochastic excitation force are analyzed. It is found that because of crack appearance the oscillations acquire properties of periodic non-stationarity. It is shown that in the case of super-resonance the characteristics of non-stationarity of the second order are more sensitive to the crack growth than the characteristics of deterministic part. The use of the diagnostic characters built on their base enable the detection of small cracks.