

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

ТОМ 51, № 3, 2015

травень – червень

ЗМІСТ

Андрейків О. С., Кухар В. З., Долінська І. Я. Поширення тріщин високо-температурної повзучості в металах за нейтронного опромінення (Огляд)7

РЕЗЮМЕ. Отримано нове рівняння для визначення швидкості поширення тріщини високотемпературної повзучості з урахуванням впливу нейтронного опромінення. На його основі побудована математична модель розрахунку залишкової довговічності пластини з макротріщиною, що знаходиться в умовах висококатемпературної повзучості під опроміненням. Застосування моделі продемонстровано на аналізі задачі Гріффітса. Встановлена хороша кореляція одержаних аналітичних результатів з відомими експериментальними.

РЕЗЮМЕ. Получено новое уравнение для расчета скорости распространения трещины высокотемпературной ползучести с учётом влияния нейтронного облучения. На его основании построена математическая модель для определения остаточной долговечности пластины с макротрещиной, находящейся в процессе высокотемпературной ползучести при облучении. Применение модели продемонстрировано при решении аналога задачи Гриффитса. Выявлена хорошая корреляция полученных аналитических результатов с известными экспериментальными.

SUMMARY. A new equation for determining high-temperature creep crack propagation rate, with consideration of the neutron irradiation effect was obtained. On its basis, a mathematical model for determining the residual life of the plate with macrocracks subjected to the high-temperature creep under irradiation was developed. Application of the model when solving the Griffith problem analogue for the aforementioned conditions was demonstrated. A good correlation between analytical results and experimental data was found.

Саврук М. П., Чорненький А. Б. Плоска задача теорії пружності для квазіортотропного тіла з тріщинами.....17

РЕЗЮМЕ. Записано основні співвідношення плоскої задачі теорії пружності для квазіортотропного тіла. Побудовано інтегральні зображення комплексних потенціалів напружень для квазіортотропної площини через стрибки переміщень на криволінійних розімкнених контурах. Першу основну задачу для площини з тріщинами зведено до сингулярних інтегральних рівнянь. Знайдено асимптотичний розподіл напружень біля вершини криволінійної тріщини. Записано аналітичний розв'язок задачі для довільно орієнтованої прямолінійної тріщини. Числово розраховано коефіцієнти інтенсивності напружень для параболічної тріщини та досліджено вплив на їх поведінку відношення основних модулів пружності матеріалу.

РЕЗЮМЕ. Записаны основные соотношения плоской задачи теории упругости для квазиортотропного тела. Построены интегральные представления комплексных потенциалов напряжений для квазиортотропной плоскости через скачки перемеще-

ний на криволинейных разомкнутых контурах. Первая основная задача для плоскости с трещинами сведена к сингулярным интегральным уравнениям. Приведено асимптотическое распределение напряжений около вершины трещины. Найдено аналитическое решение задачи для произвольно ориентированной прямолинейной трещины. Проведены численные расчеты коэффициентов интенсивности напряжений для параболической трещины и исследовано влияние на их поведение отношения основных модулей упругости материала.

SUMMARY. The main relations of the plane problem of elasticity for a quasi-orthotropic body are written. Integral representation of the complex elastic potentials for a quasi-orthotropic plane in terms of displacement discontinuity on curvilinear open contours are constructed. The first basic problem for the plane with cracks is reduced to singular integral equations. Asymptotic stress distribution at the crack tip is presented. Analytical solution of the problem for an arbitrarily oriented rectilinear crack is obtained. Numerical calculations of the stress intensity factor for a parabolic crack are performed and influence of the ratio of elastic modules of the material on there behavior is investigated.

Шацький І. П. Гранична рівновага пластини з частково залікованою тріщиною.....25

РЕЗЮМЕ. Запропоновано модель частково залікованої тріщини в твердому тілі. В області відновлення суцільності поверхневу енергію вважають інакшою, ніж у непошкодженому матеріалі. Визначено ефективність різноманітних схем залікування пластини з прямолінійною наскрізною тріщиною для нормального відриву, поперечного зсуву, згину та комбінованого згину з розтягом. Враховано ефект закриття тріщини від згину. Розв'язано задачі про взаємодію частково залікованих дефектів.

РЕЗЮМЕ. Предложена модель частично залеченной трещины в твердом теле. В области восстановления сплошности поверхностная энергия отличается от таковой для неповрежденного материала. Определена эффективность различных схем частичного залечивания пластини с прямолинейной сквозной трещиной для случаев нормального отрыва, поперечного сдвига, изгиба, а также комбинированного растяжения и изгиба. Учтен эффект закрытия трещины от изгиба. Решены задачи о взаимодействии частично залеченных коллинеарных дефектов.

SUMMARY. The model of partially healed crack in a solid is proposed. On the recovered area of the crack the surface energy differs from that in an undamaged body. The effectiveness of different schemes of partial healing of a plate with a rectilinear through crack is determined for cases of opening mode, transversal shear, bending and combined tension and bending. The crack closure effect under bending is considered. The problems of interaction of partially healed collinear defects are solved.

Гавриш В. І. Нелінійна крайова задача теплопровідності для шаруватої пластини з включенням32

РЕЗЮМЕ. Розглянуто нелінійну крайову задачу теплопровідності для ізотропної безмежної термочутливої шаруватої пластини з теплоізованими лицевими поверхнями та чужорідним наскрізним теплоактивним включенням. За допомогою запровадженого перетворення виконано часткову лінеаризацію вихідного рівняння теплопровідності. Після кусково-лінійної апроксимації температури на межових поверхнях чужорідних шарів та включення рівняння повністю лінеаризовано. Знайдено аналітично-числовий розв'язок цього рівняння з крайовими умовами другого роду для визначення запровадженої функції із використанням інтегрального перетворення Фур'є. Наведено розрахункові формули для обчислення значень шуканої температури за лінійної температурної залежності коефіцієнта теплопровідності конструкційних матеріалів для двошарової пластини. Виконано числовий аналіз для одношарової

пластини з наскрізним теплоактивним включенням (матеріал пластини – кераміка ВК94-I, матеріал включення – срібло).

РЕЗЮМЕ. Рассмотрена нелинейная граничная задача теплопроводности для изотропной бесконечной термочувствительной слоистой пластины с теплоизолированными лицевыми поверхностями и инородным сквозным тепловыделяющим включением. С помощью предложенного преобразования проведена частичная линеаризация исходного уравнения теплопроводности. После кусочно-линейной аппроксимации температуры на граничных поверхностях инородных слоев и включения уравнение полностью линеаризовано. Найдено численно-аналитическое решение этого уравнения с граничными условиями второго рода для определения введенной функции с применением интегрального преобразования Фурье и приведены расчетные формулы для вычисления искомой температуры с линейной температурной зависимостью коэффициента теплопроводности конструкционных материалов. Выполнен численный анализ для однослойной пластины со сквозным тепловыделяющим включением (материал пластины – керамика ВК94-I, включения – серебро).

SUMMARY. A nonlinear boundary value problem of heat conduction for an isotropic infinite heat-sensitive layered plate with insulated face surfaces and a foreign through heat-releasing inclusion is considered. With a help of the proposed transformation, a partial linearization of the original equation of heat conduction is done. After piecewise linear approximation of temperature at the boundary surfaces of the layers and the inclusion, the equation becomes fully linearized. With the application of Fourier transform, an analytical-numerical solution of the equation with the boundary conditions of the second kind for the determination of introduced functions is obtained; formulae for calculating the required temperature with a linear temperature dependence of the thermal conductivity of structural materials are also provided. Numerical analysis for a single-layer plate with a through heat-releasing inclusion is carried out, where the plate and inclusion materials are ceramics ВК94-I and silver, respectively.

Силованюк В. П., Юхим Р. Я., Лісничук А. Є., Івантишин Н. А.

Розрахункова модель фібробетону на міцність за розтягу39

РЕЗЮМЕ. Запропоновано модель деформування та руйнування композита на основі цементної матриці (фібробетону) за розтягу, яка враховує мікротріщини і пори в структурі матеріалу та наявність армувальних волокон. Встановлено розрахункові формули для оцінювання міцності фібробетону за розтягу. Проаналізовано вплив пористості та об'ємного вмісту армувальних волокон на міцність композита. Експериментальні дослідження та розрахунки свідчать про суттєве зростання міцності на розтяг за збільшення об'ємного вмісту фібри. Теоретичний прогноз міцності та експериментальні результати добре корелюють між собою.

РЕЗЮМЕ. Предложена модель деформирования и разрушения композита на основе цементной матрицы (фибробетона) при растяжении, которая учитывает микротрещины и поры в структуре материала и наличие армирующих волокон. Установлены расчетные формулы для оценки прочности фибробетона на растяжение. Проанализировано влияние пористости и объемного содержания армирующих волокон на прочность композита. Экспериментальные исследования и расчеты свидетельствуют о существенном росте прочности на растяжение при увеличении объемного содержания фибры. Теоретический прогноз прочности и экспериментальные результаты хорошо согласуются между собой.

SUMMARY. The model of deformation and fracture of the composite based on cement matrix (fiber-reinforced concrete) under tension, which takes into account the micro-cracks and pores in the material structure and the presence of the reinforcing fibers is proposed. Calculation formulas for assessing the strength of fiber-reinforced concrete under tension on the basis of the model are established. The influence of porosity and volume content of

the reinforcing fibers on the strength of the composite are analyzed. The results of experimental studies and calculations indicate a significant increase in tensile strength with increasing fiber volume content. Theoretical prediction and experimental strength data agree very well. This allows us to use the dependencis when creating composites with desired characteristics on the basis of the concrete matrix.

Рудавський Д. В. Оцінювання залишкової довговічності тривимірного твердого тіла з плоскою втомною тріщиною за циклічного навантаження46

РЕЗЮМЕ. За енергетичним підходом механіки руйнування побудовано розрахункову модель поширення плоскої втомної макротріщини у тривимірному деформівному пружно-пластичному тілі. Отримано кінетичне рівняння, яке дає можливість визначати період докритичного росту втомної макротріщини, що відповідає залишковій довговічності елемента металоконструкції із тріщиною під зовнішнім циклічним навантаженням. Для апробації моделі і знаходження невідомих фізико-механічних констант матеріалу досліджено зразки ділянок зварного з'єднання алюмінієвого сплаву 1201-Т. Одержані кінетичні діаграми втомного руйнування цих зразків засвідчили добре узгодження розрахунку із експериментом. За результатами теоретико-експериментальних досліджень побудовано номограми залишкової довговічності металу шва та основного металу зварного з'єднання сплаву.

РЕЗЮМЕ. На основии енергетического подхода механики разрушения построена расчетная модель распространения плоской усталостной макротрещины в трехмерном деформируемом упругопластическом теле. Получено кинетическое уравнение для определения периода докритического ее роста, который соответствует остаточной долговечности элемента металлоконструкции с трещиной при циклическом нагружении. Для апробации модели и нахождения неизвестных физико-механических констант материала исследованы образцы участков сварного соединения алюминиевого сплава 1201-Т. Экспериментальные кинетические диаграммы усталостного разрушения этих образцов свидетельствуют о хорошем соответствии расчета и эксперимента. По результатам теоретико-экспериментальных исследований построены номограммы остаточной долговечности металла шва и основного металла сварного соединения сплава.

SUMMARY. On the basis of the fracture mechanics energy approach a calculation model of the plane macrocrack fatigue growth in a three-dimensional elastic-plastic body has been built. Subcritical period of the macrocrack fatigue growth that corresponds to residual lifetime of a metal structure element with a crack under external cyclic loading can be determined using the obtained kinetic equation. To approve the proposed calculation model and to determine unknown physical and mechanical parameters of the investigated material the appropriate experimental tests have been conducted for the 1201-T aluminium alloy specimens welded join sections. The obtained experimental kinetic diagrams of fatigue fracture of the tested samples have shown a good agreement with the calculation results. Based on the conducted theoretical and experimental researches the residual lifetime nomograms of the 1201-T aluminium alloy weld and base metal have been built.

Пастернак Я. М., Сулим Г. Т., Пастернак Р. М. Дія зосереджених джерел тепла в піроелектрику з тріщинами за сталої температури на їх берегах55

РЕЗЮМЕ. На основі раніше отриманих загальних інтегральних рівнянь термоелектропружності тіл із тонкими неоднорідностями побудовано аналітичний розв'язок плоскої задачі для піроелектричного тіла з тріщиною, береги якої мають сталу температуру, за дії зосередженого джерела тепла на продовженні її осі. З урахуванням принципу автомодельності з'ясовано умови, за яких встановиться стаціонарний

режим теплопроводности. Подано компактні розв'язки для коефіцієнтів інтенсивності теплових потоків, напружень та електричних зміщень. Здійснено числовий аналіз результатів.

РЕЗЮМЕ. На основе ранее полученных общих интегральных уравнений термоэлектрострессности тел с тонкими неоднородностями построено аналитическое решение плоской задачи для пьезоэлектрического тела с трещиной, берега которой имеют постоянную температуру, при действии сосредоточенного источника тепла на продолжении ее оси. С учетом принципа автомодельности выяснены условия, при которых установится стационарный режим теплопроводности. Представлены компактные решения для коэффициентов интенсивности тепловых потоков, напряжений и электрических смещений. Проведен численный анализ результатов.

SUMMARY. Based on the previously obtained general boundary integral equations of thermoelectroelasticity of solids containing thin inhomogeneities the analytic solution is derived for a plane problem for pyroelectric solid with a crack, which faces are maintained at a constant temperature, and a heat source is applied at the continuation of crack axis. Accounting for the similarity principle, the conditions are obtained, which satisfaction leads to the stationary thermal conductivity. Compact closed-form solutions are obtained for heat flux, stress and electric displacement intensity factors. The numerical analysis of the results is done.

*Івасишин О. М., Василевський Є. Т., Антонюк С. Л., Величко В. В.,
Марковський П. Є., Гавриш І. М.* Особливості руйнування
високоміцних болтів зі сплаву ВТ22.....62

РЕЗЮМЕ. Швидкісною термічною обробкою та гарячим висаджуванням головок виготовлено дослідну партію стиковальних болтів М12 авіаційного призначення з прутків сплаву ВТ22, отриманих інтенсивною гарячою пластичною деформацією (кроковим куванням–вальцюванням). Після фінального старіння за випроб розтягом болти мали такі характеристики: границі текучості та міцності 1380 й 1455 МПа, відносне видовження та звуження 7,2 і 24,3% відповідно. Випробування, виконані за розробленою у ДП “АНТОНОВ” програмою, засвідчили, що втома та малоциклова втома майже удвічі вищі під час накочування різьблення в повністю термічно зміцненому стані, тобто після фінального старіння. Встановлено можливість підвищення втомних характеристик болтів вдосконаленням технології механічної обробки.

РЕЗЮМЕ. С использованием скоростной термической обработки и горячей высадки головок изготовлена опытная партия стыковочных болтов М12 авиационного назначения из прутков сплава ВТ22, полученных интенсивной горячей пластической деформацией (шаговой ковкой–прокаткой). После заключительного старения при испытаниях на растяжение болты имели такие характеристики: пределы текучести и прочности 1380 и 1455 МПа, относительные удлинение и сужение 7,2 и 24,3% соответственно. Испытания, проведенные по разработанной ГП “АНТОНОВ” программе, показали, что усталость и малоцикловая усталость повышаются почти в два раза, когда резьбу накатывали в полностью термически упрочненном состоянии, т.е. после старения. Сделан вывод о возможности повышения усталостных характеристик болтов при усовершенствовании технологии заключительной механической обработки.

SUMMARY. The experimental batch of connecting bolts М12 for aerospace application was produced employing rapid heat treatment and hot plastic deformation (forging–rolling). As initial material the ВТ22 rods were used. After final ageing, these bolts were characterized by following properties: yield strength 1380 МПа, tensile strength 1455 МПа, relative elongation 7.2%, redaction in area 24.3%. Fatigue testing was performed according to the developed in SE “ANTONOV” testing program and showed that fatigue limits became approximately two times higher in case of thread rolling after

final ageing, i.e. in heat strengthened condition. The conclusion about possible improvement of fatigue characteristic after optimization of technological processes of final mechanical treatment was done.

Pуї-мінг Су, Юінг-донг Ку, Ронг-де-Лі, Юн-хуа Йоу. Вплив RRA-обробки на мікроструктуру та корозійне розтріскування алюмінієвого сплаву 7075.....68

РЕЗЮМЕ. Вивчено вплив RRA-обробки, яка полягає у витримці сплавів після штучного старіння у соляній ванні при 200°C і повторному штучному старінні, на мікроструктуру і механічні властивості алюмінієвого сплаву 7075. Для досліджень використано трансмісійний електронний мікроскоп. Зразки випробовували на розтяг за малої швидкості деформації. Встановлено, що після RRA-обробки вторинні частинки уздовж меж зерен виділяються дискретно. Під час такої обробки при 200°C упродовж 8 min границя міцності за розтягу, відносно видовження та коефіцієнт чутливості до корозійного розтріскування сплаву становлять 791 МПа, 8,5% та 0,155 відповідно.

РЕЗЮМЕ. Изучено влияние RRA-обработки, заключающейся в выдержке сплавов после искусственного старения в соляной ванне при 200°C и повторном искусственном старении, на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава 7075. Для исследований использован трансмиссионный электронный микроскоп. Образцы испытывали на растяжение и при малой скорости деформации. Выявлено, что после RRA-обработке вторичные частицы вдоль границ зерен выделяются дискретно. При такой обработке при 200°C в течение 8 min предел прочности при растяжении, относительное удлинение и коэффициент чувствительности к коррозионному растрескиванию сплава составляют 791 МПа, 8,5% и 0,155 соответственно.

SUMMARY. The effects of retrogression via under pre-aging on microstructure, mechanical properties and stress corrosion cracking behavior of spray formed 7075 aluminum alloy were investigated by transmission electron microscope, tensile test and slow strain rate test. The results show that with under aging at 120°C for 16 h as pre-aging, the strength of the alloy can maintain at a high level and grain boundary precipitates are discrete after retrogression and re-aging treatment. However, retrogression treatment is uncontrollable by shortened retrogression period. After retrogression at 200°C for 8 min and re-aging, the ultimate tensile strength, elongation and SCC index of the alloy is 791 МПа, 8.5% and 0.155 respectively.

Кулик В. В., Андрейко І. М., Ваврух В. І. Вплив експлуатаційних факторів на роботоздатність графітیزованої сталі.....76

РЕЗЮМЕ. Порівняно закономірності впливу високих (до 800°C) і низьких (до -40°C) температур та корозивного середовища на механічні характеристики графітیزованої сталі і відомих колісних марок 2 і Т. Виявлено, що зниження температури аустенізації і стрімке зростання високотемпературної пластичності сталей забезпечують сприятливіші умови для утворення дефектів типу повзун на поверхні кочення залізничних коліс. Встановлено, що графітیزована сталь за низьких температур (до -40°C) не схильна до низькотемпературного окрихчення, а корозивне середовище не впливає на її циклічну тріщиностійкість.

РЕЗЮМЕ. Сравнены закономерности влияния высоких (до 800°C) и низких (до -40°C) температур, а также коррозионной среды на механические свойства графитизированной стали и известных колесных сталей марок 2 и Т. Установлено, что снижение температуры аустенитизации и стремительный рост высокотемпературной пластичности сталей обеспечивают более благоприятные условия для образования дефектов типа ползун на поверхности катания железнодорожных колес. Выявлено, что графитизированная сталь при низких температурах (до -40°C) не склонна к

низкотемпературной хрупкости, а коррозионная среда не влияет на ее циклическую трещиностойкость.

SUMMARY. Regularities of the influence of high (to 800°C) and low (to -40°C) temperatures, and also of corrosive environment on mechanical characteristics of graphitized steel and known wheel steels of grades 2 and T are compared. It is shown that the lower austenitization temperature and more sweep increase of high-temperature plasticity, provides more favorable condition of "slide-block" defects formation on the rolling surface of railway wheels. It is found that at low temperatures (down to -40°C) the graphitized steel is not liable to the low-temperature embrittlement, and there is no effect of the corrosion environment on its fatigue crack growth resistance characteristics.

Левицький В. Є., Ларук Ю. В., Білий Л. М., Кочубей В. В., Гуменецький Т. В.

Особливості модифікування полівінілхлориду полістирольними
пластиками83

РЕЗЮМЕ. Виявлено вплив природи полістирольного модифікатора на сумісність полімерів у пластифікованих полівінілхлоридних матеріалах. Добру сумісність полівінілхлориду зі суспензійним полістиролом, порівняно з удароміцним, підтверджено результатами сканівної електронної мікроскопії. Встановлено вплив вмісту полістирольного модифікатора і дрібнодисперсних полімерсилікатних композитів на фізико-механічні та теплофізичні властивості модифікованих полівінілхлоридних пластикатів. Зафіксовано, що, вводячи різну кількість полістирольного модифікатора, можна регулювати фізико-механічні властивості пластикатів, насамперед пружність, а додаючи дрібнодисперсний металовмісний полімерсилікатний наповнювач, підвищать їх термостабільність.

РЕЗЮМЕ. Установлено влияние природы полистирольного модификатора на совместимость полимеров в пластифицированных поливинилхлоридных материалах. Повышенную совместимость поливинилхлорида и суспензионного полистирола по сравнению с ударопрочным, подтверждено результатами сканирующей электронной микроскопии. Зафиксировано влияние природы и содержания полистирольного модификатора и мелкодисперсных полимерсиликатных композитов на физико-механические и теплофизические свойства модифицированных поливинилхлоридных пластикатов. Обнаружено, что введением полистирольного модификатора можно регулировать физико-механические свойства, прежде всего упругость, а добавлением мелкодисперсного металлополимерсиликатного наполнителя повысит термостабильность поливинилхлоридных пластикатов.

SUMMARY. The influence of the nature of polystyrene modifier on compatibility parameter of polymers in plasticized polyvinyl chloride materials is established. The increased compatibility with polyvinyl chloride polystyrene suspension compared with the impact-resistant one is confirmed by SEM. The influence of the nature and content of polystyrene polymer modifier and fine-silicate composites on physicomachanical and thermal properties of modified PVC plastic is found. It is found that the addition of polystyrene modifier allows us to adjust the physicomachanical properties, especially the elasticity, and the addition of fine metal-dispersed polymer-silicate filler increases the thermal stability of polyvinyl chloride plasticizers.

Погрелюк І. М., Скворцова С. В., Федірко В. М., Спектор В. С., Лук'яненко О. Г.,

Ткачук О. В. Антифрикційні характеристики титанового сплаву ВТ6
після термоводневої обробки і наступного азотування90

РЕЗЮМЕ. Виконані порівняльні випробування антифрикційних властивостей азотованих зразків титанового сплаву ВТ6 в стані постачання та після термоводневої обробки. Азотували при 750°C в молекулярному азоті атмосферного тиску упродовж 1; 5 і 10 h. Термоводнева обробка перед азотуванням поліпшує антифрикційні властивості азотованих зразків у парі з нержавною сталлю 12X18H10T та з надвисокомо-

лекулярним поліетиленом марки “ХИРУЛЕН” під час тертя без мащення на 27...31% і в 0,9% NaCl – на 23...30%. За тертя в 0,9% NaCl антифрикційні характеристики покращуються слабше.

РЕЗЮМЕ. Испытаны азотированные образцы титанового сплава BT6 в состоянии поставки и после термоводородной обработки. Выявлено, что такая обработка повышает их износостойкость в паре с нержавеющей сталью 12X18H10T и со сверхвысокомолекулярным полиэтиленом марки “ХИРУЛЕН” при трении без смазки на 27...31%, а в 0,9% NaCl – на 23...30%. В режиме трения со смазкой (в этом растворе) эффект улучшения антифрикционных характеристик выражен менее.

SUMMARY. Comparative testing of anti-friction properties of samples of nitrided titanium alloy BT6 in the state of delivery and after thermal hydrogen treatment is done. Nitriding was done at a temperature of 750°C in molecular nitrogen at atmospheric pressure for 1; 5 and 10 h. Thermal hydrogen treatment prior to nitriding increased the friction properties of samples of nitrided BT6 alloy in a pair with 12X18H10T stainless steel and high-molecular polyethylene “HIRULEN” (UHMWPE) during friction without lubrication by 27...31% and in 0.9% NaCl solution by 23...30%. Under friction in 0.9% NaCl solution the effect of increasing anti-friction properties is less pronounced.

Шкімака О., Прісакару А., Бурлаку А. Вплив тривалої витримки за контактного навантаження на фазові зміни у кремнії..... 100

РЕЗЮМЕ. Досліджено вплив тривалої витримки під час інденування на особливості фазових перетворень і деформації кремнію Si (100). Показано, що тривала витримка за максимального навантаження призводить до повзучості матеріалу навіть за кімнатної температури завдяки фазовому перетворенню на пластичнішу металеву β -Sn фазу. Кінцеві структурні фази в зоні відбитка, виявлені за допомогою мікро-Рамановської спектроскопії, вказують на інтенсифікацію утворення аморфної фази (a-Si) зі зростанням часу витримки. Передбачається, що причина цієї додаткової аморфізації може мати дислокаційну природу, як результат зростання щільності дислокацій під час повзучості і перебудови дислокаційної структури під час розвантаження. Цей факт вносить деякі зміни до кінетики розвантажувальних явищ, які демонструють тенденцію до утворення “kink pop-out” замість типових “pop-out” і “elbow”.

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние длительной выдержки при индентировании на особенности фазовых превращений и деформирования кремния Si (100). Показано, что длительная выдержка при максимальной нагрузке ведет к ползучести материала даже при комнатной температуре благодаря фазовому превращению в более пластическую металлическую β -Sn фазу. Конечные структурные фазы в зоне отпечатка, выявленные посредством микро-Рамановской спектроскопии, указывают на интенсификацию образования аморфной фазы (a-Si) с ростом времени выдержки. Предполагается, что причина этой дополнительной аморфизации может иметь дислокационную природу, как результат роста плотности дислокаций во время ползучести и перестройки дислокационной структуры во время разгрузки. Этот факт вносит некоторые изменения в кинетику разгрузочных явлений, которые демонстрируют тенденцию к образованию “kink pop-out” вместо типичных “pop-out” и “elbow”.

SUMMARY. It was shown that prolonged holding under the peak load during indentation of Si (100) led to the creep of material even at room temperature that became possible due to the phase transition into more plastic metallic β -Sn phase. The end structural phases in the indentation zone, studied by micro-Raman spectroscopy were found to be affected by the longer holding under the load and demonstrated more intensive peaks for amorphous phase (a-Si) in the depth of the indentation comparatively with those for short holding indentations. It was suggested that this effect was caused by the activation of the dislocation mechanism of a-Si formation, as a result of longer shear stresses action

under prolonged holding. This fact induced some changes in the kinetics of the unloading events, which demonstrated the tendency to the “kink pop-out” formation instead of typical “pop-out” and “elbow”.

Похмурська Г. В., Студент М. М., Ланець О. С., Войтович А. А. Вплив вібрації під час наплавлення захисного шару на його мікроструктуру та ударно-абразивне зношування 107

РЕЗЮМЕ. Досліджено мікроструктуру порошкового дроту X10P4Г2С, напавленого під час вертикальної вібрації за різної амплітуди. Мікроструктура напавлених валиків складається із твердих фаз карбоборидів FeCrB та матриці у вигляді твердого розчину FeCr. Встановлено, що вібрація сприяє подрібненню твердих фаз та гомогенізації твердого розчину. У напавлених шарах, сформованих за амплітуди коливання 0,3 mm, рівномірно розподілена мікротвердість на рівні 900 HV. Встановлено, що їх ударна зносоустійкість підвищується в 2–2,3 рази.

РЕЗЮМЕ. Исследовано микроструктуру порошковой проволоки X10P4Г2С, напавленной при вертикальной вибрации с разной амплитудой. Микроструктура напавленных валиков состоит из твердых фаз карбоборидов FeCrB и матрицы FeCr. Установлено, что вибрация способствует дроблению твердых фаз и гомогенизации твердого раствора. В напавленных слоях, сформированных при амплитуде колебания 0,3 mm, равномерно распределена микротвердость на уровне 900 HV. Установлено, что их ударная износостойкость повышается в 2–2,3 раза.

SUMMARY. The microstructure of the core wire Cr10B4Mn2Si surfaced at vertical vibration with different amplitude is investigated. The surfacing is done by automatic method under submerged arc. The microstructure of the surfaced layer consists of solid phases of caride borides FeCrB, and FeCr matrix. It is found that vertical vibration promotes crushing of solid phases and homogenisation of the solid solution. In the surfaced layers formed at the fluctuation amplitude of 0.3 mm microhardness is evenly distributed on the level of 900 HV. It is established that the impact wear-resistance increases in 2–2.3 times.

Добровецька О. Я., Кунтий О. І., Зозуля Г. І., Салдан І. В., Решетняк О. В. Гальванічне осадження золота та паладію на магнії методом заміщення..... 112

РЕЗЮМЕ. Досліджено осадження Au та Au–Pd на поверхні обертового магнієвого диску гальванічним заміщенням у диметилформамідних розчинах 0,004 М H₂AuCl₄ та 0,004 М H₂AuCl₄ з (0,004...0,01) М PdCl₂ за 20...60°C. Показано, що на магнієвій поверхні формуються плівки із частинок золота розміром 0,3...1,0 μm та плівки Au–Pd – 0,1...0,3 μm. Встановлено пріоритетне відновлення золота під час співосадження двох металів. Можливість регулювання вмісту металу у біметалевій системі Au–Pd показано на практиці.

РЕЗЮМЕ. Исследовано осаждения Au и Au–Pd на поверхности вращающегося магниевого диска гальваническим замещением в диметилформамидных растворах 0,004 М H₂AuCl₄ и 0,004 М H₂AuCl₄ с (0,004...0,01) М PdCl₂ при 20...60°C. Показано, что на магниево́й поверхности формируются пленки с частиц золота размером 0,3...1,0 μm и пленки Au–Pd – 0,1...0,3 μm. Установлено приоритетное восстановление золота при соосаждения двух металлов. Возможность регулирования содержания металла в биметаллической системе Au–Pd показано на практике.

SUMMARY. Au and Au–Pd deposition on the surface of rotating magnesium disk are studied in dymethylformamid solution 0.004 М H₂AuCl₄ and 0.004 М H₂AuCl₄ with (0.004... 0.01) М PdCl₂ at 20...60°C by galvanic replacement was investigated. The films formed on the magnesium surface made of Au or Au–Pd particles with a size of 0.3...1.0 μm and 0.1...0.3 μm correspondingly are shown. During codeposition of both gold and palladium a dominant Au reduction is determined. Possibility of content regulation of the deposited metals in Au–Pd by solution composition is shown in practice.

Петрина Ю. Д., Яким І. С., Крет Н. В., Никифорчин Ю. М. Контактна довговічність бігових доріжок цапф тришарових бурових доліт..... 117

РЕЗЮМЕ. Досліджено взаємозв'язок між характером розподілу твердості і концентрації вуглецю в загартованих цементованих шарах бігових доріжок опор зі сталі 14ХН3МА та контактною довговічністю. Виявлено, що оптимальне зміцнення бігових доріжок залежить від твердості поверхні HRC (60...63) та вмісту вуглецю (0,95...1,1%), які на глибині 1,6...2,2 mm становлять відповідно 51,5 та 0,45...0,55%.

РЕЗЮМЕ. Исследована взаимосвязь между характером распределения твердости и концентрации углерода в закаленных цементуемых слоях беговых дорожек опор из стали 14ХН3МА и контактной долговечностью. Выведено, что оптимальное упрочнение беговых дорожек зависит от твердости поверхности HRC (60...63) и содержания углерода (0,95...1,1%), которые на глубине 1,6...2,2 mm становятся соответственно 51,5 и 0,45...0,55%.

SUMMARY. The relationship between the character of distribution of hardness and carbon concentration in the hardened cemented layers of arm pin races of 14ХН3МА steel and contact durability is investigated. Optimal strengthening of arm pin races depends on surface hardness HRC (60...63) and carbon content (0.95...1.1%) that at a depth of 1.6...2.2 mm are 51.5 and 0.45...0.55%, respectively.

Кушмирук А. І., Косогін О. В., Лінючева О. В., Ревеко В. А., Мірошниченко Ю. С. Електрохімічна поведінка пористого титанового електрода у фосфатній кислоті..... 121

РЕЗЮМЕ. Методами циклічної вольтамперометрії та потенціометрії досліджено електрохімічні процеси на поверхні пористого титанового електрода в розчинах фосфатної кислоти. Встановлено, що у концентрованих розчинах на електроді встановлюється потенціал $-0,30...-0,35$ V незалежно від способу його попередньої підготовки, що вказує на активацію корозії. Різниця потенціалів катодних і анодних піків на циклічних вольтамперограмах становить близько 200 mV, що дає можливість припустити перебіг декількох спряжених процесів: зміну фазового складу поверхневих шарів на титані та окиснення/відновлення за участю розчинних форм у вигляді іонів Ti^{3+} та TiO^{2+} . Виявлено, що пришвидшують корозію титану в сильно кислих розчинах іони Ti^{3+} , які накопичуються на поверхні електрода через повільну дифузію в його порах. Зафіксовано, що корозія гальмується внаслідок зменшення концентрації розчину, що призводить до гідролізу продуктів корозії з утворенням нерозчинних сполук.

РЕЗЮМЕ. Методами циклической вольтамперометрии и потенциометрии исследованы электрохимические процессы на поверхности пористого титанового электрода в растворах фосфорной кислоты. Установлено, что в концентрированных растворах на поверхности титанового электрода устанавливается потенциал $-0,30...-0,35$ V независимо от способа его предварительной подготовки, что указывает на активацию коррозии. Разница потенциалов катодных и анодных пиков на циклических вольтамперограммах составляет около 200 mV, что позволяет предположить протекание нескольких сопряженных процессов – изменение фазового состава поверхностных слоев титана и окисление/восстановление при участии растворимых форм в виде ионов Ti^{3+} и TiO^{2+} . Выведено, что активатором коррозии титана в сильно кислых растворах являются ионы Ti^{3+} , которые накапливаются на поверхности электрода из-за медленной диффузии в порах электрода. Торможение коррозии обусловлено снижением концентрации раствора, что приводит к гидролизу продуктов коррозии с образованием нерастворимых соединений.

SUMMARY. The methods of cyclic voltammetry and potentiometry were used to study electrochemical processes on the surface of porous titanium electrode in solutions of phosphoric acid. In concentrated solutions on the titanium electrode surface potential is set $-0.30...-0.35$ V, regardless of the method of its preconditioning which indicates activation

of the corrosion process. The difference of potentials of cathode and anode peaks on cyclic voltammograms was about 200 mV, which is associated with the occurrence of conjugated processes – changes in the phase composition of the surface layers of titanium and processes of oxidation/reduction with the participation of soluble forms in the form of Ti^{3+} and TiO^{2+} ions. It is established that the process of corrosion of titanium activator in strongly acidic solutions are Ti^{3+} ions, which accumulate on the electrode surface due to the slow diffusion in the electrode pores. Inhibition of corrosion occurs as a result of the solution concentration reduction that leads to the hydrolysis of corrosion products with formation of insoluble compounds.

Черватюк В. А., Слободян З. В., Кушнір І. М., Висоцька Л. М., Купович Р. Б.,

Маглатюк Л. А. Фізико-механічні та протикорозійні властивості

інгібованих швидкоотвердних бітумно-латексних покриттів 127

РЕЗЮМЕ. Встановлено, що введення неорганічних інгібіторів нітрату та вольфрамату натрію в склад швидкоотвердної бітумно-латексної композиції не впливає на час твердіння отриманого покриття та практично не змінює penetрацію, дактильність та температуру розм'якшення. Протикорозійні властивості бітумно-латексних покриттів підвищуються за додавання до їх складу 0,4 г/л нітрату та вольфрамату натрію. Після 39 days випробувань у гідрокамері ($t = 30^{\circ}C$, туман 3% NaCl) утворення пітингів на сталевій підложці не зафіксовано, а адгезія покриття до поверхні змінюється незначно.

РЕЗЮМЕ. Установлено, что введение неорганических ингибиторов нитрата и вольфрамата натрия в состав быстротвердеющей битумно-латексной композиции не влияет на время отверждения получаемого покрытия и практически не меняет penetрацию, дуктильность и температуру размягчения. Противокоррозионные свойства битумно-латексных покрытий повышаются при добавлении в их состав 0,4 г/л нитрата и вольфрамата натрия. После 39 days испытаний в гидрокамере ($t = 30^{\circ}C$, туман 3% NaCl) образование питинга на стальной подложке не зафиксировано, а адгезия покрытия к поверхности изменяется незначительно.

SUMMARY. It was established that introduction of inorganic nitrate and sodium tungstate inhibitors in quick-hardening bitumen-latex composition does not affect the hardening time of the obtained coating and practically does not change the penetration, ductility and softening temperature. Anticorrosion properties of bitumen-latex coatings increase by adding 0.4 g/l nitrate and sodium tungstate to their composition. After 39 days of testing in hydrochamber ($t = 30^{\circ}C$, 3% salt spray) no formation of pittings was fixed on a steel substrate, and adhesion to the coating surface is insignificant.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

ТОМ 51, № 3, 2015

май – июнь

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Андрейкив А. Е., Кухар В. З., Долинская И. Я.</i> Распространение трещин высокотемпературной ползучести в металлах при нейтронном облучении (Обзор).....	7
<i>Саврук М. П., Чорненко А. Б.</i> Плоская задача теории упругости для квазиортоотропного тела с трещинами.....	17
<i>Шацкий И. П.</i> Предельное равновесие пластины с частично залеченной трещиной.....	25
<i>Гаврыш В. И.</i> Нелинейная граничная задача теплопроводности для слоистой пластины с включением.....	32
<i>Сылованюк В. П., Юхым Р. Я., Лисничук А. Е., Ивантышин Н. А.</i> Расчетная модель фибробетона на прочность при растяжении.....	39
<i>Рудаковский Д. В.</i> Оценивание остаточной долговечности трехмерного твердого тела с плоской усталостной трещиной при циклическом нагружении.....	46
<i>Пастернак Я. М., Сулим Г. Т., Пастернак Р. М.</i> Действие сосредоточенных источников тепла в пирозлектрике с трещинами при постоянной температуре на их берегах.....	55
<i>Ивасишин О. М., Василевский Е. Т., Антонюк С. Л., Величко В. В., Марковский П. Е., Гавриш И. М.</i> Особенности разрушения высокопрочных болтов из сплава ВТ22.....	62
<i>Руи-минг Су, Юинг-донг Ку, Ронг-де-Ли, Юн-хуа Иоу.</i> Влияние RRA-обработки на микроструктуру и коррозионное растрескивание алюминиевого сплава 7075.....	68
<i>Кулык В. В., Андрейко И. М., Ваврух В. И.</i> Влияние эксплуатационных факторов на работоспособность графитизированной стали.....	76
<i>Левицкий В. Е., Ларук Ю. В., Билый Л. М., Кочубей В. В., Гуменецкий Т. В.</i> Особенности модифицирования поливинилхлорида полистирольными пластиками.....	83
<i>Погрелюк И. Н., Скворцова С. В., Федирко В. Н., Спектор В. С., Лукьяненко А. Г., Ткачук О. В.</i> Антифрикционные характеристики титанового сплава ВТ6 после термоводородной обработки и последующего азотирования.....	90
<i>Шикимака О., Присакару А., Бурлаку А.</i> Влияние длительной выдержки при контактной нагрузке на фазовые изменения в кремнии.....	100
<i>Похмурская Г. В., Студент М. М., Ланец А. С., Войтович А. А.</i> Влияние вибрации при наплавлении защитного слоя на его микроструктуру и ударно-абразивный износ.....	107

<i>Добровецкая О. Я., Кунтый О. И., Зозуля Г. И., Салдан И. В., Решетняк А. В.</i> Гальваническое осаждение золота и палладия на магнии методом замещения.....	112
<i>Петрына Ю. Д., Якым И. С., Крет Н. В., Никифорчин Ю. Н.</i> Контактная долговечность беговых дорожек цапф тришарошечных буровых долот	117
<i>Кушмирук А. И., Косогин А. В., Линючева О. В., Ревеко В. А., Мирошниченко Ю. С.</i> Электрохимическое поведение пористого титанового электрода в фосфорной кислоте	121
<i>Черватюк В. А., Слободян З. В., Кушир И. М., Высоцкая Л. Н., Купович Р. Б., Маглатюк Л. А.</i> Физико-механические и противокоррозионные свойства ингибированных быстротвердеющих битумно-латексных покрытий	127

PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

VOLUME 51, № 3, 2015

May – June

CONTENTS

<i>Andreikiv O. Ye., Kukhar V. Z., and Dolinska I. Ya.</i> High temperature creep crack growth in metals under neutron irradiation (Review).....	7
<i>Savruk M. P. and Chornenkyi A. B.</i> Plane problem of the theory of elasticity for a quasi-orthotropic body with cracks	17
<i>Shatskyi I. P.</i> Limiting equilibrium of a plate with a partially healed crack	25
<i>Gavrysh V. I.</i> Nonlinear boundary value problem of heat conduction for a layered plate with inclusion	32
<i>Sylovanyuk V. P., Yukhym R. Ya., Lisnichuk A. Ye., and Ivantyshyn N. A.</i> Calculation model of fibre concrete for prediction of strength under tension.....	39
<i>Rudavskiy D. V.</i> Evaluation of residual life of 3-D solid with a plane fatigue crack under cyclic loading.....	46
<i>Pasternak Ya. M., Sulym H. T., and Pasternak R. M.</i> Action of concentrated heat sources in a pyroelectric with cracks at a constant temperature on their faces.....	55
<i>Ivasyshyn O. M., Vasylevskiy Ye. T., Antoniuk S. L., Velychko V. V., Markovskiy P. Ye., and Havrysh I. M.</i> Features of fracture of high-strength BT22 titanium bolts	62
<i>Rui-Ming Su, Ying-Dong Qu, Rong-De Li, and Jun-Hua You.</i> Influence of RRA treatment on microstructure and stress corrosion cracking behavior of spray formed 7075 alloy	68
<i>Kulyk V. V., Andreiko I. M., and Vavrukh V. I.</i> The influence of operation factors on serviceability of graphitized steel.....	76
<i>Levytskyi V. Ye., Laruk Yu. V., Bilyi L. M., Kochubei V. V., and Humenetskyi T. V.</i> Peculiarities of polyvinylchloride modifying with polystyrene plastics	83
<i>Pohrelyuk I. M., Skvortsova S. V., Fedirko V. M., Spektor V. S., Lukyanenko O. H., and Tkachuk O. V.</i> Antifriction characteristics of BT6 titanium alloy after thermohydrogen processing and following nitriding.....	90
<i>Shikimaka O., Prisacaru A., and Burlacu A.</i> Effect of prolonged holding under contact loading on the peculiarities of phase changes in silicon	100
<i>Pokhmurska H. V., Student M. M., Lanets O. S., and Voitovych A. A.</i> The influence of vibration under protective layer application on its microstructure and impact-abrasive wear	107
<i>Dobrovetska O. Ya., Kuntiy O. I., Zozula G. I., Saldan I. V., and Reshetnyak O. V.</i> Galvanic sedimentation of gold and palladium on magnesium by replacement method.....	112
<i>Petryna Yu. D., Yakym I. S., Kret N. V., and Nykyforchyn Yu. M.</i> Contact durability of arm pins races of three-cone rock bits.....	117

<i>Kushmyruk A. I., Kosohin O. V., Linyucheva O. V., Reveko V. A., and Miroshnychenko Yu. S.</i> Electrochemical behaviour of porous titanium electrode in phosphoric acid	121
<i>Chervatiuk V. A., Slobodian Z. V., Kushnir I. M., Vysotska L. M., Kupovych R. B., and Mahlatiuk L. A.</i> Physicomechanical and corrosion-resistant properties of inhibited fast-hardening bitumen-latex emulsions	127