

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

З. Т. НАЗАРЧУК (головний редактор), Г. М. НИКИФОРЧИН (заст. головного редактора), Р. Р. КОКОТ (відповідальний секретар), О. Є. АНДРЕЙКІВ, Р. Є. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, І. М. ДМИТРАХ, З. А. ДУРЯГІНА, І. Ю. ЗАВАЛІЙ, О. І. ЗВІРКО, І. М. ЗІНЬ, Р. М. КУШНІР, Д. Б. КУРИЛЯК, О. П. ОСТАШ, В. В. ПАНАСЮК, І. М. ПОГРЕЛЮК, М. С. ПОЛУТРЕНКО, В. І. ПОХМУРСЬКИЙ, Т. О. ПРИХНА, М. П. САВРУК, М. Д. САХНЕНКО, В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. З. СТУДЕНТ, М. С. ХОМА, В. Ф. ЧЕКУРИН, О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ, В. М. ФЕДІРКО, С. О. ФІРСТОВ, О. Т. ЦИРУЛЬНИК, П. В. ЯСНІЙ

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р. АКІД (Великобританія), Г. БОЛЗОН (Італія), М. ЕЛЬБОВДЖАІНІ (США–Канада), Е. ГДУТУС (Греція), В. КЕЙН (Індія), Т. ЛАГОДА (Польща), Г. ЛЕСЮК (Польща), П. МОРЕЙРА (Португалія), А. ПІХ (Німеччина), Г. ПЛЮВІНАЖ (Франція), Я. ПОКЛЮДА (Чехія), Г. ШМІТТ (Німеччина), А. СЕДМАК (Сербія), Х. ТОРІБІО (Іспанія), Л. ТОТ (Угорщина), П. ТРАМПУШ (Угорщина), В. ЯРТИСЬ (Норвегія)

## EDITORIAL BOARD

Z. T. NAZARCHUK (Editor-in-Chief), H. M. NYKYFORCHYN (Deputy Editor-in-Chief), R. R. KOKOT (Secretary), O. Ye. ANDREIKIV, R. Ye. GLADYSHEVSKII, I. M. DMYTRAKH, Z. A. DURIAGINA, I. Yu. ZAVALIY, O. I. ZVIRKO, I. M. ZIN', R. M. KUSHNIR, D. B. KURYLIAK, O. P. OSTASH, V. V. PANASYUK, I. M. POHRELYUK, M. S. POLUTRENKO, V. I. POKHMURSKII, T. O. PRIKHNA, M. P. SAVRUK, M. D. SAKHNENKO, V. R. SKALSKIY, O. Z. STUDENT, M. S. KHOMA, V. F. CHEKURIN, O. E. CHYHYRYNETS', V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRUL'NYK, P. V. YASNIY

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

R. AKID (Great Britain), G. BOLZON (Italy), M. ELBOUJDAINI (USA–Canada), E. GDOUTOS (Greece), V. KAIN (India), T. LAGODA (Poland), G. LESIUK (Poland), P. MOREIRA (Portugal), A. PICH (Germany), G. PLUVINAGE (France), J. POKLUDA (Czech Republic), G. SCHMITT (Germany), A. SEDMAK (Serbia), J. TORIBIO (Spain), L. TÓHT (Hungary), P. TRAMPUSH (Hungary), V. YARTYS' (Norway)

Відповідальний за випуск д-р техн. наук, проф. Г. М. Никифорчин  
Responsible for issue Dr. (Engn.), Prof. H. M. Nykyforchyn

**Адреса редакції:** 79601, Львів МСП, Наукова, 5, Фізико-механічний інститут  
ім. Г. В. Карпенка НАН України. Тел.: (032) 263-73-74,  
(032) 229-62-30. Факс: (032) 264-94-27.  
E-mail: journal.pcmm@gmail.com

**WWW-address:** <http://pcmm.ipm.lviv.ua>

**Editorial office address:** Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St.,  
Lviv 79601, Ukraine. Tel.: (38) 032 263-73-74,  
(38) 032 229-62-30. Fax: (38) 032 264-94-27.  
E-mail: journal.pcmm@gmail.com

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

Редактори *Д. С. Бриняк, О. Т. Досин, Л. Є. Єлейко*

Технічний редактор *І. В. Калинюк*

Зав. групою комп'ютерної підготовки видання *І. В. Калинюк*

Комп'ютерний набір *Л. Г. Колчак, Г. М. Кулик*

---

Підписано до друку 21.02.2020. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 250220 від 25.02.2020. Ціна договірна.  
Реєстраційне свідоцтво серія КВ № 203 від 10.11.93

Друкарня ТзОВ "Простір-М", 79000, Львів, вул. Чайковського, 8

---

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,  
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2020

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

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

Міжнародний науково-технічний журнал  
Заснований у січні 1965 року  
Виходить 6 разів у рік

**ТОМ 56, № 4, 2020**

липень – серпень

## ЗМІСТ

<i>Скальський В. Р., Станкевич О. М., Клим Б. П., Ліснічук А. Є., Великий П. П.</i> Ідентифікування механізмів руйнування цементного каменю, армованого базальтовою та поліпропіленовою фібрами.....	7
<i>Гануліч Б. К., Іваницький Я. Л., Бойко В. М., Шишковський Р. О.</i> Розрахунок теоретичної міцності металів та експериментальна апробація.....	19
<i>Ясній В. П., Студент О. З., Ясній П. В., Никифорчин Г. М.</i> Мікромеханізм поширення втомних тріщин у псевдопружному NiTi сплаві з пам'яттю форми.....	25
<i>Сиротюк А. М., Бабій А. В., Барна Р. А., Лецак Р. Л., Марущак П. О.</i> Корозійно-втомна тріщиностійкість сталі каркаса штанги обприскувача.....	30
<i>Костін В. А., Позняков В. Д., Берднікова О. М., Жуков В. В., Алексеєнко Т. О., Алексеєнко І. І.</i> Вплив структурних перетворень на механічні властивості зварних з'єднань броньових сталей.....	36
<i>Мисливченко О. М., Бондар А. А., Циганенко Н. І., Петюх В. М., Луговський Ю. Ф., Горбань В. Ф.</i> Вплив термічної обробки на мікроструктуру та фізико-механічні властивості титанових сплавів системи Ti-Nb-Mo.....	44
<i>Федина Л. О., Федорчук А. О., Михалічко В. М., Федина М. Ф.</i> Фазоутворення та кристалічні структури сполук $LaCu_{13-x}Si_x$ при 870 К.....	53
<i>Толочин О. І., Баглюк Г. А., Толочина О. В., Євич Я. І., Подрезов Ю. М., Молчановська Г. М.</i> Структура та фізико-механічні властивості інтерметаліду $Fe_3Al$ , отриманого імпульсним гарячим пресуванням.....	60
<i>Восеводін В. М., Федірко В. М., Труш В. С., Лук'яненко О. Г., Стоєв П. І., Панов В. А., Тихоновський М. А.</i> Вплив хіміко-термічної обробки на окиснення труб паливних оболонок зі сплаву Zr-1% Nb.....	69
<i>Кравчишин Т. М., Погрелюк І. М., Лаврись С. М.</i> Фізико-механічні характеристики титанового сплаву VT6 після поверхневого деформаційно-дифузійного оброблення.....	76
<i>Максимів О. В., Кирилів В. І., Чайковський Б. П., Ціж Б. Р., Коструба А. М., Гурей В. І.</i> Вплив поверхневого наноструктурування сталі 65Г на зносостійкість дисків сошників сівалок.....	82
<i>Повстяной О. Ю., Рудь В. Д., Імбірович Н. Ю., Гальчук Т. Н., Четвержук Т. І., Смаль М. В., Дзюбинський А. В.</i> Оптимізація властивостей багаточарових поруватих проникних матеріалів.....	88

<i>Знак З. О., Корній С. А., Маїталер А. С., Зінь О. І.</i> Одержання модифікованих йонами срібла нанопористих цеолітів з антибактеріальними властивостями.....	93
<i>Хома М. С., Івашиків В. Р., Рацька Н. Б., Дацко Б. М., Чучман М. Р.</i> Корозійно-електрохімічні властивості сталі 17Г1СУ в хлоридно-ацетатному розчині з різною концентрацією сірководню.....	100
<i>Студент М. М., Веселівська Г. Г., Калахан О. С., Гвоздецький В. М., Задорожна Х. Р., Сірак Я. Я.</i> Вплив режимів плазмо-електролітного оброблення алюмінієвого сплаву Д16Т на його корозійну тривкість у 3%-му розчині NaCl.....	105
<i>Посувайло В. М., Ковальчук І. В.</i> Вплив водню на синтез оксидокерамічних покриттів в електролітній плазмі на алюмінієвих сплавах.....	114
<i>Осташ О. П., Поливода С. Я., Нарівський А. В., Чепіль Р. В., Подгурська В. Я., Кулик В. В.</i> Вплив хімічного складу на структуру та механічні і корозійні властивості литих сплавів системи Al-Mg-Sc.....	122
<i>Жбадинський І. Я., Бутрак І. О.</i> Динамічні напруження в пружній матриці з одноперіодичним масивом податливих дискових включень.....	128
<b>У НАУКОВИХ КОЛАХ</b>	
<i>Никифорчин Г. М.</i> Європейська конференція з руйнування.....	132

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

H. V. KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

# PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

International Scientific-Technical Journal

Founded in January 1965

Published bimonthly

**VOLUME 56, № 4, 2020**

July – August

---

---

## CONTENTS

*Skalskyi V. R., Stankevych O. M., Klym B. P., Lisnichuk A. Ye., and Velykyi P. P.*

Identification of fracture mechanisms of cement mortar reinforced  
with basalt and polypropylene fibers.....7

**РЕЗЮМЕ.** Триточковим згином випробувано цементний камінь, армований базальтовою та поліпропіленовою фібрами. Проаналізовано ймовірні механізми поширення тріщини у фібробетоні з допомогою методу акустичної емісії (АЕ). Встановлено вплив різної об'ємної частки фібр на криві “навантаження–прогин”, граничне навантаження, деформацію, АЕ-активність та параметри сигналів АЕ. Виявлено, що за зміною параметрів сигналів АЕ з накопиченням пошкодженості армованого цементного каменю можна виявляти типи та механізми його руйнування.

**Ключові слова:** акустична емісія, фібробетон, вейвлет-перетворення, базальтова та поліпропіленова фібри.

**SUMMARY.** Cement mortar reinforced with basalt and polypropylene fibers under three-point bending test are investigated. Acoustic emission method has been applied to study the crack growth mechanisms of reinforced cement mortar. The influence of different content of basalt and polypropylene fibers on the load-deflection curves, ultimate load, AE-intensity and AE-signals parameters are investigated. It is established that when changing the AE-signals parameters with damage accumulation of cement mortar it is possible to identify the types and mechanisms of its fracture.

**Keywords:** acoustic emission, fiber reinforced concrete, wavelet transform, basalt and polypropylene fibers.

*Ganulich B. K., Ivanytskyi Ya. L., Boiko V. M., and Shyshkovskiy R. O.*

Calculation of theoretical strength of metals and experimental approbation.....19

**РЕЗЮМЕ.** Запропоновано розрахунок теоретичної міцності металу за відриву та зсуву: першу визначаємо порівнянням енергії деформації у момент відриву із енергетичними затратами, необхідними для випаровування, другу – порівнянням енергії деформування з енергетичними затратами, необхідними для плавлення металу. Запропоновані формули розрахунку не вимагають додаткових припущень про граничну деформацію. Обчислено теоретичну міцність для алюмінію, заліза, міді, нікелю, свинцю та цинку. Визначено експериментально реальну міцність сталі 65Г та граничну деформацію, яка збігається із теоретично встановленою.

**Ключові слова:** теоретична міцність за відриву та зсуву, питома теплота пароутворення, питома теплота плавлення, енергія деформування, лінії Людерса, реальна міцність, деформація руйнування.

**SUMMARY.** A method to calculate the theoretical breaking strength of the metal and its theoretical breaking strength under shear conditions is proposed. The first of the mentioned strength values is determined by comparing the deformation energy at the time of breaking with the energy loss required for evaporation. The second one (based on experimental observations of the Luders lines obtained by electron microscope,  $\times 5000$ ) is determined by comparing the deformation energy with energy loss required for metal melting. The theoretical strength for aluminum, iron, copper, nickel, lead and zinc is calculated theoretically. Experimental values of the limit deformation of 65Г steel close to the calculated values for iron, are obtained.

**Keywords:** *theoretical breaking strength, specific vaporization heat, theoretical shear strength, specific melting heat, deformation energy, Luders lines.*

*Yasniy V. P., Student O. Z., Yasniy P. V., and Nykyforchyn H. M.*

Micromechanism of fatigue cracks propagation in pseudoelastic NiTi alloy with shape memory.....25

**РЕЗЮМЕ.** Проаналізовано кінетичні особливості та мікромеханізм поширення втомної тріщини в псевдопружному сплаві нітинол з пам'яттю форми в умовах ста-лоамплітудного циклічного навантаження за асиметрії циклу  $R = 0,2$  та  $0,5$ . Встановлено, що незалежно від параметра  $R$  утомна тріщина поширювалася за механізмом квазівідколу, що зумовлено деформаційним аустеніт-мартенситним перетворенням у її вершині. З ним пов'язали і відповідальність максимального значення коефіцієнта інтенсивності напружень у циклі навантаження, а не його розмаху, за кінетику руйнування зі зміною асиметрії  $R$ .

**Ключові слова:** *псевдопружний NiTi сплав, ріст утомної тріщини, асиметрія в циклі навантаження, мікромеханізм руйнування.*

**SUMMARY.** The peculiarities and micromechanism of fatigue crack growth in pseudoelastic NiTi shape memory alloy under constant amplitude loading at stress ratios  $R = 0.2$  and  $0.5$  were analyzed. It was found that fatigue crack growth in the second section of its growth diagram occurred by the quasi-cleavage mechanism, regardless of the parameter  $R$ , which was caused by the deformation austenite-martensitic transformation at its tip. This phenomenon also explained the responsibility of the maximum stress intensity factor (SIF), though not SIF range, for the fracture kinetics with change of the stress ratio  $R$ .

**Keywords:** *pseudoelastic NiTi alloy, fatigue crack growth, stress ratio, micromechanism of fatigue crack growth.*

*Syrotyuk A. M., Babii A. V., Barna R. A., Leshchak R. L., and Maruschak P. O.*

Corrosion fatigue crack growth resistance of steel for boom sprayers frame.....30

**РЕЗЮМЕ.** Побудовано діаграми росту втомної тріщини у сталі СтЗпс у демінералізованій воді та насичених розчинах інсектициду Нурел Д і рідкого комплексного добрива КАС-32, а також оцінено відповідні значення порогового та критичного коефіцієнтів інтенсивності напружень. Встановлено, що у розчині Нурел Д швидкість росту втомної тріщини підвищується, а в розчині КАС-32 знижується проти випроб у повітрі. Для демінералізованої води існує характерне її значення, нижче якого тріщиностійкість сталі збільшується, а вище – понижується. Одержані результати можуть служити основою для прогнозних розрахунків роботоздатності та залишкової довговічності каркаса штанги обприскувача.

**Ключові слова:** каркас штанги обприскувача; низьковуглецеві конструкційні сталі; рідкі робочі середовища; циклічне навантаження; втомна тріщина; швидкість росту тріщини; коефіцієнт інтенсивності напружень.

**SUMMARY.** The fatigue crack growth rate diagrams in Ст3пс steel in demineralized water and saturated solutions of the Nurelle D insecticide and UN-32 liquid complex fertilizer were constructed, and the corresponding values of the threshold and critical stress intensity factors were evaluated. It was established that in the Nurelle D solution the fatigue crack growth rate increased, while in the UN-32 solution it decreased in comparison with the tests in air. For demineralized water, there is a characteristic crack growth rate value, below which the crack resistance of steel increases and above it – decreases. The results received can serve as the basis for the predictive calculations of the workability and residual durability of the frame of the boom sprayer.

**Keywords:** frame of boom sprayer; low-carbon structural steel; liquid working environments; cyclic loading; fatigue crack; crack growth rate; stress intensity factor.

*Kostin V. A., Pozniakov V. D., Berdnikova O. M., Zhukov V. V., Alekseyenko T. O., and Alekseyenko I. I.* The influence of structural transformations on mechanical properties of welded joints of armoured steels.....36

**РЕЗЮМЕ.** Експериментально побудовано і розраховано термодіаграми розпаду переохолодженого аустеніту броньових сталей Ramor 500 та Armoх 500. Визначено температури фазових перетворень, мікроструктуру та механічні властивості металу зони термічного впливу завдяки імітації термодіаграми зварювання за різних швидкостей охолодження на установці Gleeble 3800. Встановлено граничні значення швидкості охолодження, коли можливе знеміцнення навколошовної зони зварних з'єднань цих сталей нижче мінімально гарантованих показників міцності основного металу.

**Ключові слова:** високоміцні броньові сталі, Ramor 500, Armoх 500, мікроструктура, термодіаграми, моделювання перетворення аустеніту, мартенсит, бейніт.

**SUMMARY.** The thermokinetic transformation diagrams of the super-cooled austenite of the armor Ramor 500 and Armoх 500 steels were experimentally constructed and mathematically calculated. The temperatures of phase transformations, microstructure and mechanical properties of metal of the heat-affected zone, simulating the thermal deformation processes of welding at different cooling rates at the Gleeble 3800 installation were determined. The limits of the cooling rate at which it is possible to spread the weld around the weld joints of these steels below the minimum guaranteed indices of the strength of the base metal are established.

**Keywords:** high-strength alloyed armor steels, Ramor 500, Armoх 500, microstructure, thermokinetic CCT diagrams, modeling of austenite transformation, martensite, bainite.

*Myshlyuchenko O. M., Bondar A. A., Tsyganenko N. I., Petyukh V. M., Lugovskiy Yu. F., and Gorban V. F.* The influence of thermal treatment on microstructure and mechanical properties of Ti–Nb–Mo titanium alloys.....44

**РЕЗЮМЕ.** Наведено результати дослідження структури та властивостей чотирьох титанових сплавів системи Ti–Nb–Mo після їх субсолідусного відпалу і відпалу та гартування від 870°C. Отримані результати показують, що термообробка суттєво впливає на фазовий склад, мікроструктуру, мікротвердість, модуль Юнга та пружні властивості досліджених зразків. Відпалені сплави двофазні  $\alpha' + \beta$ , їх модуль Юнга близький до чистого титану (87...100 GPa). Гартування призводить до утворення

$\alpha'$ -фази, кількість  $\beta$ -фази стає незначною. В результаті дещо знижується мікротвердість і  $\sim$  в 1,5 рази – модуль Юнга.

**Ключові слова:** титанові сплави, модуль пружності, ромбічний мартенсит.

**SUMMARY.** The results of study of the structure and properties of four titanium Ti–Nb–Mo alloys after their subsolidus annealing and annealing with hardening from 870°C are presented. The obtained results show that heat treatment has a significant effect on phase composition, microstructure, microhardness, Young's modulus and elastic properties of the investigated samples. The annealed alloys are two-phase  $\alpha' + \beta$ , their Young modulus is similar to pure titanium (87...100 GPa). Quenching promotes the formation of the  $\alpha'$ -phase, the amount of the  $\beta$  phase becomes insignificant. As a result, microhardness decreases slightly and Young's modulus decreases in about 1.5 times.

**Keywords:** titanium alloys, elastic modulus, orthorhombic martensite.

*Fedyna L. O., Fedorchuk A. O., Mykhalichko V. M., and Fedyna M. F.*

Phase formation and crystal structure of  $\text{LaCu}_{13-x}\text{Si}_x$  compounds at 870 K.....53

**РЕЗЮМЕ.** Методами рентгенофазового і рентгеноструктурного аналізів досліджено фазові рівноваги на розрізі 7,14 at.% La у потрійній системі La–Cu–Si при 870 K. Встановлено існування двох нових тернарних сполук  $\text{LaCu}_{9,61}\text{Si}_{3,39}$  і  $\text{LaCu}_{8,37}\text{Si}_{4,63}$  та рентгенівським методом порошку вивчено їхню кристалічну структуру. Обидві сполуки є першими представниками структурного типу  $\text{NaZn}_{13}$  та його тетрагонально-деформованої надструктури  $\text{CeNi}_{8,5}\text{Si}_{4,5}$  у системах R–Cu–Si. Проаналізовано структурні перетворення на базі структурного типу  $\text{NaZn}_{13}$  та спорідненість досліджених сполук зі структурами бінарних і тернарних силіцидів лантану і купруму відповідно до найближчого координаційного оточення навколо найменш електронегативних атомів. Проілюстровано структурний взаємозв'язок досліджених сполук з простими речовинами – міддю та кремнієм, з якими вони перебувають у рівновазі в системі La–Cu–Si.

**Ключові слова:** лантан, купрум, силіцій, потрійна система, фазові перетворення, тернарна сполука, кристалічна структура, структурний тип.

**SUMMARY.** The phase equilibria on the section of 7.14 at.% of La in the ternary system La–Cu–Si at 870 K was investigated using X-ray phase and structural methods of analysis. The existence of two new ternary compounds  $\text{LaCu}_{9,61}\text{Si}_{3,39}$  and  $\text{LaCu}_{8,37}\text{Si}_{4,63}$  was established and their crystal structures were studied by X-ray powder diffraction method at the temperature of investigation. Both compounds are the first representatives of the  $\text{NaZn}_{13}$  structure and its deformed superstructure  $\text{CeNi}_{8,5}\text{Si}_{4,5}$  in the R–Cu–Si systems. The structural transitions on the base of  $\text{NaZn}_{13}$  structure as well as structure relations of investigated compounds with binary compounds and ternary silicides of lanthanum and copper were analyzed. Also the structural interrelations of investigated compounds with crystal structures of copper and silicon, with which they are in the phase equilibria in the La–Cu–Si system, were illustrated.

**Keywords:** lanthanum, copper, silicon, ternary system, phase transitions, ternary compound, crystal structure, structural type.

*Tolochyn O. I., Bagliuk G. A., Tolochyna O. V., Yevych Ya. I., Podrezov Yu. M., and Molchanovska H. M.* Structure and physicochemical properties

of  $\text{Fe}_3\text{Al}$  intermetallide obtained by impact sintering.....60

**РЕЗЮМЕ.** Вивчено вплив режимів ударного ущільнення та термообробки на фізико-механічні властивості і структуру інтерметаліду. Виконано ущільнення імпульсним гарячим пресуванням інтерметаліду Fe–14Al (mass%) із порошків заліза та алюмінію за температур 1050 і 1150°C, а також відпал спресованих зразків при

1250°C упродовж 60 min, а при 1350 і 1450°C протягом 20 min. Показано, що імпульсне гаряче пресування дає змогу отримувати практично безпористі зразки за температур ущільнення 1050 і 1150°C. Досягнуто якісний контакт між частинками інтерметаліду і поліпшено механічні характеристики завдяки відпалу за температури 1350°C.

**Ключові слова:** *інтерметаліди, невпорядкована структура, пористість, імпульсне гаряче пресування, відпал, міцність, тріщиностійкість.*

**SUMMARY.** The influence of impact compaction and heat treatment on the physical, mechanical properties and structure of intermetallic is studied. Compaction is carried out by impact consolidation of Fe–14Al intermetallic compound (mass%) made of iron and aluminum powders at temperatures of 1050 and 1150°C, as well as annealing of consolidated samples at 1250°C for 60 min, at 1350 and 1450°C for 20 min. It is shown that impact consolidation makes it possible to obtain practically non-porous samples at compaction temperatures of 1050°C and 1150°C. A high-quality contact between intermetallic particles and increase of mechanical properties is obtained by annealing at a temperature of 1350°C.

**Keywords:** *intermetallic compound, disordered structure, porosity, impact sintering, annealing, strength, fracture toughness.*

*Voyevodin V. N., Fedirko V. N., Trush V. S., Lukyanenko O. H., Stoev P. I., Panov V. A., and Tikhonovsky M. A. The influence of thermochemical treatment on oxidation of fuel cladding tubes made of Zr–1% Nb alloy.....69*

**РЕЗЮМЕ.** Вивчено вплив режимів хіміко-термічної обробки (ХТО) кільцевих зразків, вирізаних з труби паливної оболонки зі сплаву Zr–1% Nb, на окиснення у повітрі за температури  $T = 550^\circ\text{C}$  і тривалості до  $\tau = 100$  h. Показано, що режими ХТО в контрольованому кисневмісному газовому середовищі знижують приріст маси за окиснення порівняно з необробленими зразками. Встановлено, що режими, які призводять до більшого зниження приросту маси зразків за окиснення, показують і мінімальну суму реєстрованих сигналів акустичної емісії під час їх деформування. Виявлено, що ХТО не знижує механічні характеристики трубок і при цьому уповільнює їх погіршення за окиснення. За результатами дослідження, а саме, уповільнення швидкості окиснення на повітрі за збереження механічних характеристик сплаву Zr–1% Nb, можна зробити висновок про перспективність ХТО в технологічному процесі остаточної термічної обробки ТВЕЛ'них трубок.

**Ключові слова:** *цирконієвий сплав, оболонки тепловідільних елементів, хіміко-термічна обробка, окиснення, механічні характеристики, акустична емісія.*

**SUMMARY.** The effect of chemical-thermal treatment (CTT) on the oxidation of ring samples cut out from a fuel cladding tube from the Zr–1% Nb alloy in air at a temperature of  $T = 550^\circ\text{C}$  and duration up to  $\tau = 100$  h is studied. It is shown that the CCT modes in a controlled oxygen-containing gas medium reduce the mass gain during oxidation compared with untreated samples. The conditions that lead to a greater decrease in the mass gain of the samples during oxidation and show the minimum amount of recorded acoustic emission signals during their deformation are established. It is found that CTT does not reduce mechanical properties of the tubes and at the same time slows down the deterioration of the mechanical characteristics during oxidation. According to the results obtained in the CCT effect study in the oxygen-containing gas medium, namely, a decrease in the oxidation rate in air while maintaining the mechanical properties of the Zr–1% Nb alloy, it can be concluded that CTT is promising in the process of final heat treatment of the fuel cladding tubes.

**Keywords:** *zirconium alloy, fuel cladding tubes, chemical-thermal treatment, oxidation, mechanical properties, acoustic emission.*



*Kravchyshyn T. M., Pohrelyuk I. M., and Lavrys S. M.* Physicomechanical characteristics of BT6 titanium alloy after surface deformation-diffusion treatment.....76

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено вплив обкочування на якість поверхні, поверхневе зміцнення та структуру поверхневих шарів титанового сплаву BT6. Виявлено, що зі збільшенням навантаження під час деформаційного оброблення підвищується його поверхнева міцність. Оцінено ступінь зміцнення та якість поверхні сплаву після оброблення, яке охоплює попередню холодну поверхневу пластичну деформацію і подальше термодифузійне насичення поверхні азотом. Встановлено, що поверхнева мікротвердість зростає на 2,5 GPa, а глибина зміцненої зони – на 30%.

**Ключові слова:** титановий сплав BT6, деформаційно-дифузійне оброблення, холодне поверхневе пластичне деформування, термодифузійне азотування, поверхневе зміцнення, шорсткість, мікротвердість.

**SUMMARY.** The influence of ball burnishing on the surface quality, the level of surface hardening and the surface layers structure of the Ti–6Al–4V (BT6) titanium alloy was investigated. It was shown that the increase of load during deformation treatment increased the level of subsurface hardening of the alloy. The level of its hardening and surface quality of titanium alloy were evaluated after previous cold surface plastic deformation and subsequent thermodiffusion saturation of the surface by nitrogen. It was established that the surface microhardness increased by 2.5 GPa and the depth of the hardened zone by 25 μm.

**Keywords:** BT6 titanium alloy, deformation-diffusion treatment, cold surface plastic deformation, thermodiffusion saturation of the surface by nitrogen, surface hardening, roughness, microhardness.

*Maksymiv O. V., Kyryliv V. I., Chaikovskiy B. P., Tsih B. R., Kostruba A. M., and Hurei V. I.* The influence of surface nanostructuring on wear resistance of seeding machine ploughshare disks made of 65Г steel.....82

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено зносостійкість дисків сошників сівалок зі сталі 65Г з поверхневою нанокристалічною структурою, сформованою механоімпульсною обробкою, в умовах сухого абразивного тертя. Показано, що поверхнева наноструктуризація підвищує зносостійкість сталі порівняно із вихідним станом за випробувань незакріпленим та закріпленим абразивом відповідно у 5,4 та 8,8 разів. Термічне оброблення сталі перед поверхневою наноструктуризацією збільшує її зносостійкість ефективніше за випробувань закріпленим абразивом.

**Ключові слова:** сталь 65Г, диски сошників сівалок, нанокристалічна структура, зносостійкість, незакріплений абразив, жорстко закріплений абразив.

**SUMMARY.** Wear resistance of seeding machines furrow-openers disks made from 65Г steel with surface nanocrystalline structure formed by mechanical-pulse treatment was studied in conditions of dry abrasive friction. It was shown that surface nanostructuring increased wear resistance of steel under tasting by unfixed and fixed abrasive in 5.4 and 8.8 times correspondingly, compared with as-received state. Thermal treatment of the steel before surface nanostructuring considerably increased its wear resistance under tasting by fixed abrasive.

**Keywords:** 65Г steel, seeding machines furrow-openers disk, nanocrystalline structure, abrasive wear, unfixed abrasive, rigidly fixed abrasive.

<i>Povstianoi O. Yu., Rud V. D., Imbirovych N. Yu., Halchuk T. N., Chetverzhuk T. I., Smal M. V., and Dziubynskyi A. V. Optimization of the properties of multi-layer porous penetrating materials.....</i>	88
---	----

**РЕЗЮМЕ.** Розроблено математичну модель отримання багат шарових фільтрувальних поруватих проникних матеріалів (ППМ) зі змінною пористістю методом сухого радіально-ізостатичного пресування порошку ШХ15 з пороутворювачем. Обчислено розподіл густини за радіусом пустотілого ППМ, отриманого методом радіально-ізостатичного пресування. Завдяки теоретичним розрахункам проаналізовано фактори, які сприяють неоднорідності розподілу пористості у ППМ. Встановлено та підтверджено комп'ютерним моделюванням, що за пресування ППМ циліндричної форми розподіл пористості нерівномірний. Виявлено, що зі збільшенням радіуса пористість зростає.

**Ключові слова:** поруватий матеріал, радіально-ізостатичне пресування, математичне моделювання, відходи промислового виробництва.

**SUMMARY.** A mathematical model of the process of obtaining multilayer filtering PPM with variable porosity by dry radial-isostatic pressing of SHX15 powder with a pore former was developed. The density distribution along the radius of hollow PPM, obtained by radial-isostatic pressing was analyzed and calculated. In the theoretical calculations the result was obtained, which allowed us to analyze the factors that contribute to the heterogeneity of the porosity distribution in the PPM. It was established and confirmed by computer simulations that the distribution of the porosity value was uneven when pressing a cylindrical PPM. It was found that the porosity increased with the increase of the radius.

**Keywords:** porous material, radial-isostatic pressing, mathematical modeling, industrial waste.

<i>Znak Z. O., Korniy S. A., Mashtaler A. S., and Zin O. I. Preparation of nanoporous zeolite modified by silver ions with antibacterial properties.....</i>	93
--	----

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено вплив активування зразків клиноптилоліту розчинами HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH та NH<sub>4</sub>Cl з подальшим їх термічним обробленням на сорбційну ємність за йонами срібла. Показано, що найбільша сорбційна ємність притаманна клиноптилоліту, активованому розчином натрію гідроксиду. Встановлено, що у всіх випадках приріст сорбційної ємності після досягнення температури 200°C незначний. Швидкість сорбції йонів срібла клиноптилолітом, попередньо активованого реагентами, на порядок більша, ніж неактивованого. Встановлено вплив температури оброблення хімічно активованого клиноптилоліту на швидкість сорбції йонів срібла. Показано, що їх поглинання клиноптилолітом відбувається за механізмами йонного обміну та сорбції.

**Ключові слова:** корозія, біокорозія, клиноптилоліт, йони срібла, модифікування, хімічна активація, термоактивація.

**SUMMARY.** The effect of activation of clinoptilolite samples with HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH and NH<sub>4</sub>Cl solutions with their subsequent heat treatment on the sorption capacity for silver ions is studied. It is shown that the greatest sorption capacity is inherent to clinoptilolite, activated by sodium hydroxide solution. It is established that in all cases the increase of sorption capacity after reaching the temperature of 200°C is insignificant. The sorption rate of silver ions by clinoptilolite, previously activated by reagents, is an order of magnitude higher than the initial one. The influence of the processing temperature of chemically activated clinoptilolite on the sorption rate of silver ions is established. It is shown that the absorption of silver ions by clinoptilolite occurs by the mechanisms of ion exchange and sorption.

**Keywords:** corrosion, biocorrosion, clinoptilolite, silver ions, modification, chemical activation, thermal activation.

*Khoma M. S., Ivashkiv V. R., Ratska N. B., Datsko B. M., and Chuchman M. R.*  
Corrosion-electrochemical properties of 17Г1СУ steel in chloride-acetate  
solution with different hydrogen sulphide concentration..... 100

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено корозійно-електрохімічні властивості сталі 17Г1СУ у хлоридно-ацетатних розчинах за різної концентрації сірководню. Встановлено, що зі зростанням його вмісту потенціал корозії сталі зміщується у бік від'ємніших значень та майже лінійно пришвидшується корозія. Присутність сірководню не впливає на коефіцієнти Тафеля катодних та анодних реакцій. Показано, що швидкість катодних реакцій може зростати внаслідок безпосереднього відновлення водню із молекули  $H_2S$ . За концентрацій сірководню  $> 1500 \text{ mg/dm}^3$  знижується швидкість катодних процесів через дифузійні ускладнення, які можуть бути викликані адсорбцією молекул сірководню і зниженням швидкості каталітичної рекомбінації адсорбованих атомів водню. Воднем ініційоване розтріскування ненапруженої сталі проявляється за концентрації сірководню  $\geq 500 \text{ mg/dm}^3$ .

**Ключові слова:** *вольтамперні залежності, швидкість корозії, сульфіди, сірководень, коефіцієнти Тафеля, воднем ініційоване розтріскування.*

**SUMMARY.** The corrosion-electrochemical properties of 17Г1СУ steel in chloride-acetate solutions for different hydrogen sulfide concentrations are studied. When concentration increases, the corrosion potential of steel shifts toward more negative values and the corrosion rate increases almost linearly. The presence of hydrogen sulfide does not affect the values of the Tafel coefficients of cathodic and anodic reactions. It is shown that the rate of cathodic reactions can increase due to the direct reduction of hydrogen from the  $H_2S$  molecule. The cathodic processes rate decreases when hydrogen sulfide concentration exceeds  $>1500 \text{ mg/dm}^3$  due to diffusion complications that can be caused by adsorption of hydrogen sulfide molecules and a decrease in the rate of catalytic recombination of adsorbed hydrogen atoms. Hydrogen-initiated cracking of unstressed steel is found at concentration of hydrogen sulfide  $\geq 500 \text{ mg/dm}^3$ .

**Keywords:** *current-voltage dependences, corrosion rate, sulfides, hydrogen sulfide, Tafel coefficients, hydrogen-initiated cracking.*

*Student M. M., Veselivska H. H., Kalakhan O. S., Hvozdet'skyi V. M., Zadorozhna Kh. R., and Sirak Ya. Ya.* The influence of the conditions of plasma-electrolytic treatment of Д16Т aluminium alloy on its corrosion resistance in 3% NaCl solution..... 105

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено вплив складу електроліту та параметрів плазмо-електролітного оксидування сплаву Д16Т на корозійну тривкість у 3%-му водному розчині NaCl синтезованих покриттів. Встановлено, що оксидокерамічні покриття на порядок зменшують густину корозійних струмів порівняно з вихідним сплавом. Найнижчі корозійні струми зафіксовано в покриттях, синтезованих за співвідношення  $j_c/j_a$  катодного та анодного складників струму 15/10 та 10/10. Виявлено, що з підвищенням вмісту перекису гідрогену ( $H_2O_2$ ) в електроліті струми корозії зростають, що зумовлено збільшенням розмірів наскрізних пор у синтезованих покриттях, крізь які корозивне середовище проникає до основи, а отже, пришвидшується розчинення алюмінію.

**Ключові слова:** *сплав Д16Т, плазмо-електролітне оксидування, оксидокерамічні покриття, корозійна тривкість.*

rameters of the Д16Т alloy on the corrosion resistance of synthesized coatings in a 3% NaCl aqueous solution was studied. It was found that oxide-ceramic coatings reduce the density of corrosion currents by an order of magnitude in comparison with the initial alloy. The lowest corrosion currents were observed in coatings synthesized at a ratio of the cathodic and anodic components of current  $j_c/j_a$  of 15/10 and 10/10. It was revealed that with the increase in the content of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) in the electrolyte, corrosion

currents increased, which was due to the increase in the size of through pores in the synthesized coatings through which the corrosive medium penetrated to the base, and as a result, the dissolution of aluminum was enhanced.

**Keywords:** *Д16Т alloy, plasma electrolyte oxidation, oxide-ceramic coatings, corrosion resistance.*

*Posuvailo V. M. and Kovalchuk I. V.* The influence of hydrogen on synthesis of oxide-ceramic coatings in electrolytic plasma on aluminium alloys.....114

**РЕЗЮМЕ.** Розраховано енергії Гіббса реакцій взаємодії оксидів алюмінію з нейтральним та іонізованим воднем у плазмових каналах під час синтезу оксидокерамічних покриттів. Показано, що іонізований атомарний та молекулярний водень відновлюють оксиди алюмінію та сповільнюють швидкість зростання оксидокерамічного покриття. Запропоновано методи для пришвидшення утворення покриттів.

**Ключові слова:** *плазмоелектролітне оксидування, водень, енергія Гіббса, оксиди алюмінію, оксидокерамічні покриття.*

**SUMMARY.** The Gibbs energies of the reactions of the interaction of aluminum oxides with neutral and ionized hydrogen in plasma channels during synthesis of ceramic oxide coatings are calculated. It has been shown that ionized atomic and molecular hydrogen reduces aluminum oxides and slows down the growth rate of the ceramic oxide coating. Methods for increasing the coating formation rate are proposed.

**Keywords:** *plasma electrolytic oxidation, hydrogen, Gibbs energy, aluminum oxides, oxide ceramic coatings.*

*Ostash O. P., Polyvoda S. Ya., Narivskyi A. V., Chepil R. V., Podhurska V. Ya., and Kulyk V. V.* The influence of chemical composition on structure and mechanical and corrosion properties of cast Al–Mg–Sc alloys.....122

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено вплив зниження вмісту магнію і легування скандієм, цирконієм, марганцем та хромом на структуру, фазовий склад, міцність і пластичність, а також потенціал і струм корозії сплавів систем Al–Mg і Al–Mg–Sc, отриманих за використання магнетогідродинамічної ливарної установки. Встановлено позитивний вплив зниження вмісту магнію та заміни марганцю хромом у сплавах системи Al–Mg–Sc.

**Ключові слова:** *алюмінієві сплави, структура, фазовий склад, міцність, корозійна тривкість.*

**SUMMARY.** The effect of magnesium content reduction and alloying with scandium, zirconium, manganese and chromium on the structure, phase composition, strength and ductility, corrosion potential and also current of Al–Mg and Al–Mg–Sc alloys obtained using magnetohydrodynamic foundry was studied. The positive effect of magnesium content reduction and replacement of manganese with chromium in Al–Mg–Sc alloys was established.

**Keywords:** *aluminium alloys, structure, phase composition, strength, corrosion resistance.*

*Zhbadynskyi I. Ya. and Butrak I. O.* Dynamic stresses in the elastic matrix with singly-periodic array of compliant disk inclusions.....128

**РЕЗЮМЕ.** Розглянуто симетричну задачу гармонічного хвильового навантаження безмежної пружної матриці з однопериодичним масивом дискових податливих включень. За допомогою періодичної функції Гріна її зведено до граничного інтегрального рівняння для функції, яка характеризує стрибок переміщень на одному

репрезентативному включенні. Функцію Гріна, що описує взаємодію включень, адаптовано до ефективного обчислення її подання у формі експонентно-збіжних інтегралів Фур'є. Для розв'язування граничного інтегрального рівняння використано метод колокацій. Отримано та проаналізовано числові результати для коефіцієнта інтенсивності динамічних напружень відриву в околі точок контуру включення залежно від хвильового числа та відстані між включеннями.

**Ключові слова:** *тривимірна пружна матриця, дискове включення, гармонічна хвиля, метод граничних інтегральних рівнянь, періодична функція Гріна, коефіцієнт інтенсивності динамічних напружень.*

**SUMMARY.** The symmetric problem of time-harmonic wave load of the infinite elastic matrix with singly-periodic system of compliant disk inclusions is numerically investigated. The problem is reduced to a boundary integral equation for the inclusion-opening-displacement in a unit cell by means of 3D periodic Green's function which describes inclusion interaction. This function is adopted for the effective calculation by its representation in the form of exponentially-convergent Fourier integrals. A collocation method is used for the solution of the boundary integral equation. Numerical results for the mode-I dynamic stress intensity factor in the inclusion vicinity depending on the wave number and the lattice size are obtained and analyzed.

**Keywords:** *three-dimensional elastic matrix, disk inclusion, harmonic wave, boundary integral equations method, periodic Green's function, dynamic stress intensity factor.*

## IN SCIENTIFIC CIRCLES

*Nykyforchyn H. M.* European Conference on Fracture..... 133