

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

**ФІЗИКО-ХІМІЧНА  
МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ**

---

---

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ  
МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ**

---

---

**PHYSICOCHEMICAL  
MECHANICS OF MATERIALS**

---

---

Міжнародний науково-технічний журнал  
Заснований у січні 1965 року  
Виходить 6 разів у рік  
том 58, № 1, 2022  
січень – лютий  
ЛЬВІВ

## 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, О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ, В. М. ФЕДІРКО, С. О. ФІРСТОВ, О. Т. ЦИРУЛЬНИК

## 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. SKALSKYI, O. Z. STUDENT, M. S. KHOMA, O. E. CHYHYRYNETS', V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRUL'NYK

## 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.pcomm@gmail.com

**WWW-address:** <http://pcomm.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.pcomm@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. Копчак, Г. М. Кулик*

---

Підписано до друку 29.10.2021. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 180 прим. Замовлення 051121 від 05.11.2021. Ціна договірна.  
Реєстраційне свідоцтво серія ДК № 5068 від 22.03.2016

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

---

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,  
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2022

## ЗМІСТ

*Dzib-Perez L., Bilyy O., Leon-Gronimo A., Castano-Gonzalez J. G., Guintana P., Dominguez-Maldonado R., and Gonzalez-Sanchez J.* Вплив температурно-часових умов відпалу на корозійну тривкість хімічно осаджених

Ni–P покриттів.....5

Проаналізовано вплив різних температурно-часових умов відпалу на корозійну тривкість хімічно осаджених Ni–P (12 wt.% P) покриттів у 3,5%-му розчині NaCl. За відпалу при 400°C упродовж 4 h покриття кристалізуються з утворенням стабільних Ni<sub>3</sub>P та Ni фаз. Вони корозійно тривкіші у цьому розчині, ніж аморфний сплав та покриття, відпалені при 400 та 500°C упродовж 1 та 2 h. Корозійну тривкість оцінювали методом електрохімічної імпедансної спектроскопії, а мікроструктуру – методами рентгенівської дифракції і сканувальної електронної мікроскопії. Виявлено, що відпал при 400°C впродовж 4 h викликає переважну орієнтацію фази Ni<sub>3</sub>P у площині (112), внаслідок чого змінюється кінетика електрохімічних реакцій. Підвищена корозійна тривкість таких покриттів зумовлена утворенням текстурованої фази Ni<sub>3</sub>P, яка хімічно стабільніша і займає 80% об'єму покриття.

**Ключові слова:** покриття Ni–P, хімічне осадження, термічне оброблення, відпал, корозійна тривкість, текстура, мікроструктура, фаза Ni<sub>3</sub>P.

*Корній С. А.* Квантово-хімічний розрахунок стабільності цеоліт-фосфатних комплексів як пігментів лакофарбових покриттів.....15

За кластерним підходом та квантово-хімічними методами PM7, а також функціоналом густини (DFT) змодельовано цеолітні комплекси, модифіковані фосфатами цинку, кальцію та марганцю і розраховано їх геометричну та електронну структури. Розраховано теплоту їх утворення, повну енергію, потенціал йонізації, найвищу зайняту та найнижчу незайняту молекулярну орбітальну енергію, енергетичну щільність, електронну жорсткість та хімічну м'якість. Проаналізовано перерозподіл електронної густини на атомах кисню цеолітної ланки під час формування зв'язку з кластерами фосфатів. За результатами аналізу енергії зв'язку у кластерній системі цеоліт–фосфат оцінено стабільність та реакційну здатність комплексів. Зроблено висновок, що комбіновані квантово-хімічні розрахунки комплексів цеолітна ланка–фосфат металу задовільно описують зміни як геометричних параметрів кластерів залежно від типу катіона, так і різницю в енергетичній стабільності, що може свідчити про різну реакційну здатність.

**Ключові слова:** цеоліт, фосфати двовалентних металів, моделювання, квантово-хімічні методи PM7 та DFT, електронна структура, стабільність.

*Щербакова Л. Г., Мільман Ю. В., Єфімов М. О., Купрін В. В., Лук'янов О. І., Чугунова С. І., Гончарова І. В.* Механічні та корозійні властивості інтерметалідів на основі алюмінію.....22

Досліджено інтерметаліди Al<sub>3</sub>Sc, Al<sub>3</sub>Zr, Al<sub>3</sub>Hf, Al<sub>3</sub>V, які виконують роль зміцнювальної фази в алюмінієвих сплавах. Задіяно технологію швидкої кристалізації з рідкого стану. Отримано достатньо дрібне зерно для литого матеріалу розміром  $d \sim 15 \mu\text{m}$ . Методом рентгеноструктурного аналізу показано, що інтерметалід Al<sub>3</sub>Zr є однофазним, а інтерметаліди Al<sub>3</sub>Sc, Al<sub>3</sub>Hf, Al<sub>3</sub>V складаються з декількох фаз. Дослідження механічних характеристик методом індентування показало, що максимальні твердість  $HV = 6,75 \text{ GPa}$  та напруження плинності

$\sigma_{SH} = 4,86$  GPa має інтерметалід  $Al_3Hf$ , а мінімальні твердість  $HV = 2,0$  GPa та напруження плинності  $\sigma_{SH} = 0,86$  GPa –  $Al_3Sc$ , і ця фаза є найпластичніша:  $\delta_H = 0,88$ . Встановлено, що в 3% розчині NaCl потенціали корозії ( $E_{\text{кор}}$ )  $Al_3Sc$ ,  $Al_3Hf$  та  $Al_3V$  мають близькі значення ( $-0,52 \dots -0,57$  V). В області потенціалів, близьких до  $E_{\text{кор}}$ , швидкість розчинення інтерметалідних фаз у 3% розчині NaCl зростає в такій послідовності:  $Al_3Sc < Al_3Hf < Al_3V$ . Роль інтерметалідної фази під час корозійного розчинення алюмінієвого сплаву залежить від його хімічного складу, який визначає значення  $E_{\text{кор}}$  в агресивному середовищі. Доведено, що анодне розчинення сплаву Al–3,0 mass% Mg, легованого 0,3% Sc, відбувається в області потенціалів негативніших, ніж розчинення інтерметаліду  $Al_3Sc$ . Таким чином, інтерметалідні фази є катодними включеннями стосовно матриці сплаву Al–Mg і селективно не розчиняються в корозивних умовах.

**Ключові слова:** алюмінієві інтерметаліди, механічні, корозійні властивості.

Кусков Ю. М., Задорожна Х. Р., Макаренко В. Д., Тищенко В. А., Гордань Г. Н., Богайчук І. Л., Кайда Т. В. Імпульсно-дугове наплавлення корозійнотривких аустенітно-мартенситних сталей.....29

Подано результати корозійних випробувань аустенітно-мартенситної сталі, напавленої на зразки зі сталі 40X під шаром флюсу АН-26 порошковим дротом ПД-Нп-30X22МН  $\varnothing$  2,2 mm в один шар з перекриттям валиків на 50% за двох режимів подачі в зварювальну ванну (0,5 і 0,7 Hz). Встановлено, що найкращі експлуатаційні характеристики за впливу корозивного середовища є за наплавлення з імпульсом подачі електродного дроту 0,7 Hz.

**Ключові слова:** імпульсно-дугове наплавлення, аустенітно-мартенситна сталь, порошковий дріт, імпульс подачі дроту, корозія, мікроструктура.

Юхимець П. С., Ниркова Л. І., Гонкало О. П., Дмитриєнко Р. І., Литвиненко А. Є., Палієнко О. Л. Особливості корозії трубопроводів теплових мереж зі сталі 17Г1С.....35

Показано, що коливання внутрішнього тиску за температури експлуатації 40°C впливають несуттєво на швидкість виразкової корозії трубопроводів теплових мереж зі сталі 17Г1С, але вона зростає більш ніж в 2 рази за температури 80°C. Корозійний процес прискорюється зі зростанням робочого тиску і є суттєвіший, коли робочі напруження періодично підвищуються до рівня, що відповідає тиску гідравлічних випробувань. Швидкість рівномірної корозії стінки трубопроводу зростає з температурою й накопиченою деформацією. Після тривалого контакту з корозивним середовищем за температури  $\sim 80^\circ\text{C}$  метал трубопроводу зі залишковою деформацією 1...3% стає, згідно зі шкалою корозійної стійкості металів, малостійким, що підвищує ризик його руйнування. Схильність трубопроводу до корозійного руйнування після тривалої експлуатації в режимі поступового накопичення пластичної деформації підвищується зі зростанням температури.

**Ключові слова:** теплові мережі, трубопроводи, швидкість корозії, гідравлічні випробування.

Нарівський О. Е., Субботін С. А., Пуліна Т. В., Хома М. С. Оцінювання та прогнозування пітинготривкості пластинчастих теплообмінників зі сталі AISI304 під час їх експлуатації в оборотних водах.....41

Розроблено математичну модель залежності критичної температури пітингування (КТП) сталі AISI304 від її хімічного складу, структурної гетерогенності, а також рН і концентрації хлоридів оборотної води. Виявлено, що модельні оборотні води більш ніж удвічі інтенсивніше впливають на КТП сталі,

ніж її характеристики. Зокрема, встановлено, що КТП сталі зростає на 13,4°C зі зниженням концентрації хлоридів від 600 до 350 mg/l. Водночас підвищується лише на 5,8°C зі збільшенням у ній від 17 до 19,5 mass% хрому. Це пов'язано з утворенням щільної хромовмісної оксидної плівки, яка ефективно протидіє пітингоутворенню та зменшенню інтенсивності твердофазної дифузії атомів заліза до поверхні пітингів, що може сприяти їх репасивації. Визначено, що КТП сталі зростає на 5,2°C зі збільшенням середньої відстані між оксидами від 151 до 172  $\mu\text{m}$ . Таким чином, що більші середня відстань між оксидами в сталі та середній діаметр зерна аустеніту, то менша вірогідність їх перетину з межами зерен, де найчастіше формуються стабільні пітинги. Доведено, що вищий вміст хрому в сталі та дрібніші в ній оксиди, то більша її пітинготривкість. Розроблену математичну модель рекомендовано застосовувати для прогнозування пітинготривкості теплообмінників зі сталі AISI304 під час їх експлуатації в оборотних водах та вибору оптимальної плавки.

**Ключові слова:** теплообмінник, оборотна вода, хімічний склад, структура, пітинготривкість, прогнозування пітинготривкості сталі AISI304.

Даниляк М.-О. М., Різун Ю. Я. Гуміарабік як екологічно безпечний інгібітор для захисту сталі 09Г2С від корозії у нейтральному середовищі.....46

Електрохімічними методами досліджено інгібувальну здатність природного полісахариду – гуміарабіку як екологічно безпечного інгібітора корозії. Методом потенціодинамічної поляризації в 0,1% розчині NaCl з додаванням гуміарабіку вивчено корозійну тривкість сталі 09Г2С. Встановлено, що він зменшує струми корозії і максимально ефективний за концентрації 2 g/l. Виявлено, що результати електрохімічної імпедансної спектроскопії узгоджуються з даними поляризаційних вимірювань. Методом сканувальної електронної мікроскопії та EDX-аналізом досліджено поверхню сталі і визначено її хімічний склад. Встановлено, що вміст вуглецю та кисню на її поверхні після експозиції в інгібованому розчині зростає внаслідок збільшення концентрації гуміарабіку, що сприяє його протикорозійній дії як інгібітора корозії.

**Ключові слова:** корозія, сталь, екологічно безпечний інгібітор, гуміарабік, полісахарид.

Берека В. В., Руденко В. В., Заєць О. В., Пастушенко О. М. Радіолокаційний метод моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій.....52

Розроблено теоретичні засади і виведено рівняння радіолокаційного методу дистанційного моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій, в основі якого – електрохімічна модель кородованої поверхні металу арматури залізобетону. Запропоновано спосіб такого моніторингу та синтезовано структуру нелінійного радіолокатора для його реалізації. Зокрема, визначено його оптимальні робочі частоти для вікон прозорості атмосфери та розміри корозійних елементів. Оцінено загасання сигналу нелінійного радіолокатора під час проходження крізь бетон з урахуванням його електропровідності та діелектричної проникності.

**Ключові слова:** залізобетонна конструкція, електрохімічна корозія арматури, локальний корозійний елемент, рівняння радіолокаційного моніторингу корозійного стану металу, метод дистанційного моніторингу.

Труш В. С., Стоєв П. І., Лук'яненко О. Г., Погрелюк І. М., Федірко В. М.,  
Пилипенко М. М., Кравчишин Т. М. Вплив деформації на насичення  
воднем сплаву Zr-1%Nb після оксидування та азотування.....58

Подано характеристики зразків сплаву Zr-1%Nb, вирізаних з ТВЕЛ'них трубок, насичених у водні. Зразки заздалегідь обробляли: окиснювали при  $T = 580^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 3 \text{ h}$ ,  $P = 1,33 \text{ Pa}$ , азотували при  $T = 580^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 9 \text{ h}$ ,  $P_{\text{N}_2} = 10^5 \text{ Pa}$  та частину розтягували ( $0,8 \sigma_T$ ). У стані постачання і після оксидування чи азотування не виявлено відмінностей у характері зміни кривих виділення водню під час нагрівання порівняно зі зразками, навантаженими ( $0,8 \sigma_T$ ) безпосередньо перед насиченням. Встановлено незначне зростання границь плинності та міцності зі збереженням пластичності матеріалу.

**Ключові слова:** цирконій, насичення воднем, оксидування, азотування, приповерхневий шар, мікроструктура, границя міцності, пластичність.

Сухова О. В., Полонський В. А. Корозійна тривкість квазікристалічних  
сплавів Al-Cu-Co, Al-Ni-Co, Al-Ni-Fe у розчинах кислот.....64

Вивчено структуру та корозійні властивості литих квазікристалічних сплавів  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$ ,  $\text{Al}_{72}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{10}$  та  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  у кислих середовищах. Структуру – методами кількісної металографії, рентгеноструктурного аналізу, растрової електронної мікроскопії та рентгеноспектрального мікроаналізу, а корозійну тривкість – гравіметричним методом у водних розчинах кислот  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  та  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (рН 1). Встановлено утворення квазікристалічної декагональної D-фази, яка в сплаві  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$  співіснує з кристалічними фазами  $\text{Al}_4(\text{Co}, \text{Cu})_3$  і  $\text{Al}_3(\text{Cu}, \text{Co})_2$ , в сплаві  $\text{Al}_{72}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{10}$  – з фазою  $\text{Al}_9(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_2$ , а в сплаві  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  – з фазами  $\text{Al}_{13}(\text{Fe}, \text{Ni})_4$ ,  $\text{Al}_3(\text{Ni}, \text{Fe})_2$  і  $\text{Al}_3(\text{Ni}, \text{Fe})$ . Найбільш корозійнотривкі у розчині нітратної кислоти сплави  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  і  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$ , у розчинах хлоридної і ортофосфатної – сплави  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  і  $\text{Al}_{72}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{10}$ , у розчині сульфатної – сплав  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$ . В більшості розчинів кислот поверхня зразків розчиняється порівняно рівномірно, за винятком ділянок з дефектнішою структурою, які розчиняються з вищою швидкістю.

**Ключові слова:** декагональна квазікристалічна фаза, литі квазікристалічні сплави на основі алюмінію, водні розчини кислот, корозійна тривкість.

Ткачук О. В., Проскурняк Р. В., Головчук М. Я. Морфологія  
гідроксиапатитних покриттів, сформованих на титані VT1-0  
за комбінованого оброблення.....71

Досліджено формування гідроксиапатитних покриттів методом плазмо-електролітного оксидування в лужному електроліті (гідроксиапатит + 1 М гідроксид калію) за напруги 160 V та часу осадження 1 min на поверхні технічно чистого титану VT1-0 зі заздалегідь сформованими нітридними шарами. Встановлено, що пористий гідроксиапатит швидше утворюється на нітридному шарі з більшою кількістю вакансій у неметалевій підґратці мононітриду титану ( $\text{TiN}_{0,69}$ ), ніж з меншою ( $\text{TiN}_{0,81}$ ). Виявлено, що співвідношення елементів Ca/P для гідроксиапатитного покриття при цьому зменшується від 1,62 до 0,96.

**Ключові слова:** титан VT1-0, азотування, плазмо-електролітне оксидування, гідроксид калію, гідроксиапатит.

Прудіус С. В., Гес Н. Л., Іншина О. І., Хижун О. Ю. Синтез та дослідження  
оксиду  $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$ , допованого йонами Sn(IV).....75

Змішані потрійні  $ZrO_2-SiO_2-SnO_2$  оксиди синтезовано золь-гель методом за атомного співвідношення компонентів  $Zr:Si:Sn = 1:2:x$ , де  $x = 0,1 \div 4,0$ . Методами термогравіметрії та рентгенофазового аналізу встановлено, що в зразках, в яких  $x \leq 2$ , висока гомогенність розподілу катіонів  $Sn^{4+}$  ( $x = 4$ ). З подальшим збільшенням їх вмісту утворюється окрема фаза діоксиду олова, яка відповідає тетрагональній кристалічній структурі типу рутилу. Виявлено, що з введенням йонів олова в матрицю оксидів  $ZrO_2-SiO_2$  кислотність зразків також збільшується. Зокрема, максимальна сила кислотних центрів ( $H_0$ ) зростає з  $-11,35$  для  $ZrSi_2$  до  $-14,52$  за переходу від  $ZrSi_2Sn_{0,4}$  до  $ZrSi_2Sn$ . У РФ-спектрах високоенергетичні зсуви  $Zr 3d_{5/2}$ - і  $Sn 3d_{5/2}$ -рівнів вказують на зміщення електронної густини від атомів цирконію та олова до атомів кремнію. Зафіксовано октаедрично та тетраедрично координовані катіони  $Sn^{4+}$  на поверхні зразків  $ZrSi_2Sn_x$ , які відносять до бренстедівських та льюїсівських кислотних центрів. Центрами Бренстеда можуть бути місткові  $-OH$  групи на катіонах  $^{VIII}Zr^{4+}$  та  $^{IV}Sn^{4+}$ , а Льюїса – координаційно ненасичені центри цирконію та олова.

**Ключові слова:** *потрійний оксид, діоксид олова,  $ZrO_2-SiO_2$ , сила кислотних центрів, суперкислота.*

*Шеніда М. В., Кунтий О. І., Мазур А. С., Сухацький Ю. В.* Формування поруватого кремнію анодуванням в ультразвуковому полі.....83

Наведено результати досліджень електрохімічного розчинення кремнію за анодного потенціалу  $E = 3$  V у полі ультразвуку у розчинах флюоридної кислоти (HF) у диметилсульфоксиді (DMSO), диметилформаміді (DMF), ацетонітрилі (AN). Встановлено, що впродовж анодування на його поверхні формуються циліндричні пори зі середнім діаметром 150 нм, які рівномірно розподілені на підкладці. На їх геометрію і швидкість утворення впливають концентрація HF у розчині, тривалість електролізу, природа апротонного розчинника. Виявлено, що з підвищенням концентрації HF та анодних струмів збільшується швидкість формування поруватого кремнію (PSi). Пояснено вплив ультразвуку на анодування. Наведено результати сканівної електронної мікроскопії та гістограми розподілу частинок за розмірами залежно від умов анодного розчинення кремнію.

**Ключові слова:** *поруватий кремній, анодування кремнію, ультразвук.*

*Студент М. М., Маркович С. І., Гвоздецький В. М., Калахан О. С., Юськів В. М.* Абразивна зносостійкість та трибологічні характеристики електрометалізаційних композиційних покриттів.....90

Досліджено покриття, напилені електродуговим методом зі суцільних та порошкових дротів. Вивчено їх структуру, механічні та трибологічні характеристики. У покриттях із різнорідних дротів є краплини порошкового та суцільного дротів. Їх структура – це два різні каркаси із м'якої матриці суцільного ( $150 \dots 450 HV_{100}$ ) та твердої матриці із порошкового дротів ( $600 \dots 1000 HV_{100}$ ). В умовах граничного тертя пара порошкового дроту (Fe-Cr-B) + Св08 з контргілом із БрС-30 має найкращі трибологічні характеристики. Підвищена зносостійкість покриттів викликана великою кількістю оксидів заліза та бору. Проаналізовано властивості покриттів за граничного тертя. Коефіцієнт тертя для сталі зростає від 0,018 при 1 МПа та до 0,038 при 10 МПа. Це є на 50...70% вище, ніж для пари тертя покриття з електродних дротів Св08 та ПД (Fe-Cr-B) і БрС-30. Абразивна зносостійкість покриттів закріпленням абразивом з композиційних дротів зростає у 2,1 рази порівняно зі сталлю ШХ15.

**Ключові слова:** *електродугові покриття, композиційні покриття, порошкові дроти, коефіцієнт тертя, абразивна зносостійкість.*

Самотугіна Ю. С., Ткачова Є. А. Структура і механічні властивості білого чавуну після плазмового поверхневого модифікування.....98

Досліджено вплив поверхневого модифікування висококонцентрованим плазмовим струменем на механізми кристалізації і фазових перетворень у наплавленому білому чавуні 300X25H3C3. Залежно від режимів плазмового нагріву обробляли без оплавлення та з мікро- або макрооплавленням. Показано, що на поверхні чавуну утворюється модифікована зона з високодисперсною структурою, яку прийнято називати тонким конгломератом фаз. Встановлено одночасне підвищення твердості, зносо- та тріщиностійкості білого чавуну після плазмового модифікування, при цьому оптимальною виявилась обробка чавуну без оплавлення або з мікрооплавленням.

**Ключові слова:** білий чавун, плазмове модифікування, модифікований шар, зносостійкість, тріщиностійкість.

Посувайло В. М., Ковальчук І. В., Веселівська Г. Г., Івасенко І. Б. Властивості оксидокерамічних покриттів на сплаві АК9М2, синтезованих в електроліті, модифікованому пероксидом водню.....105

Досліджено вплив пероксиду водню на фазовий склад, товщину та поруватість оксидокерамічних покриттів, отриманих методом плазмоелектролітного оксидування на алюмінієвому сплаві АК9М2. Встановлено, що з додаванням в електроліт пероксиду товщина покриття порівняно з вихідним електролітом збільшується на 50%. Подальший ріст його концентрації призводить до зменшення поруватості та підвищення корозійної тривкості покриття. Максимальний вміст корунду 12 mass% одержано за концентрації пероксиду водню 5 g/l. Корозійна тривкість покриттів, отриманих в електроліті з 7 g/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, на два порядки вища, ніж вихідного сплаву, та на порядок – ніж сформованих у базовому електроліті. Кремній сприяє утворенню в оксидокерамічних покриттях силіманіту та кварцу.

**Ключові слова:** плазмоелектролітне оксидування, оксидокерамічні покриття, рентгеноструктурний аналіз, кристалічна структура, поруватість, силіманіт, корозійна тривкість.

Сидорчук О. М., Мисливченко О. М., Гогаєв К. О., Хонггуанг Є. Структура та властивості кованої сталі з регульованим аустенітним перетворенням.....112

Штампову сталь з регульованим аустенітним перетворенням (РАП) використовують для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву за температур експлуатації > 850°C (вище критичної точки  $A_3 = 850^\circ\text{C}$ ). Рекомендовано розширити температурний інтервал експлуатації кованої сталі з РАП (марки 4X4H5M4Ф2) та використовувати її в мартенситному стані за температур < 630°C. Для цього вивчено фазово-структурний стан цієї сталі після оптимізованих температурних режимів термічної обробки (гартування та відпуск). Встановлено зв'язок між параметрами кристалічної будови та механічними властивостями термічно-зміцненої сталі, температурний режим гартування, за якого відбувається первинна рекристалізація сталі з РАП. Порівняно параметр кристалічної будови та механічні властивості аналізованої сталі з відповідними характеристиками двох експлуатованих кованих штампових сталей – сталь для гарячого деформування марки H13 (ASTM, США, її аналог сталь 4X5MФ1С за ГОСТ 5950-2000 та SKD6 згідно з JIS, Японія) та сталь з РАП марки 4X4H5M4Ф2, з яких були виготовлені крупно-габаритні колеса (екструдери) для гарячого деформування міді. Обґрунтований



температурний режим відпуску, за якого відбувається знеміцнення кованої сталі з РАП. На основі встановленого зв'язку між параметрами кристалічної будови та твердістю показано, що за кімнатної температури твердість має бути нижчою за 40 HRC.

**Ключові слова:** штамова сталь, термічна обробка, твердість, міцність, мартенсит, карбід, період кристалічної ґратки.

*Рябцев І. О., Бабінець А. А., Студент О. З., Книш В. В., Соловей С. О.*

Обґрунтування вибору матеріалів для наплавлення на основі  
фрактографічного аналізу втомних зламів.....119

Фрактографічно проаналізовано вплив типу матеріалів для одно- і багатошарового наплавлення зразків на їх схильність до експлуатації за багатоциклової втоми. Показано, що втомна витривалість та характер руйнування наплавлених зразків залежить від проміжного підшару та його матеріалу. Однорідний в'язкий волокнистий рельєф зламу переважав у межах наплавлених шарів і основного металу на зразках з підшаром із пластичної маловуглецевої сталі типу 08кп та зносостійким функціональним шаром (за складом і властивостями його прототип інструментальна сталь 25Х5ФМС). Використання для підшару сталі 12Х1МФ спричинило кристалічний рельєф зламу у всьому наплавленому шарі та високу неоднорідність на межі сплавлення робочого шару з підшаром, що знизило втомну витривалість таких зразків. Щоб підвищити втомну витривалість наплавлених деталей, рекомендовано перед формуванням функціонального шару наносити підшар з низьковуглецевих пластичних сталей.

**Ключові слова:** дугове багатошарове наплавлення, пластичний підшар, руйнування, втомна витривалість, фрактографічний аналіз.

*Горбань В. Ф., Фіртсов С. О., Крапівка М. О., Самелюк А. В., Куриленко Д. В.*

Вплив різних чинників на властивості твердорозчинних  
високоентропійних сплавів на основі ОЦК і ГЦК фаз.....127

Досліджено вплив електронної концентрації, розмірної невідповідності і співвідношення фаз на твердість, модуль пружності і нормовану твердість високоентропійних двофазних сплавів. Виявлено, що відсотковий вміст фаз залежить від електронної концентрації. Різке збільшення кількості ГЦК фази зафіксовано за електронної концентрації вище 8 el/at. Встановлено пряmlinійну залежність нормованої твердості цих сплавів від розмірної невідповідності, яка збільшується від 0,025 до 0,043 за підвищення дисторсії від 2,3 до 4,3%.

**Ключові слова:** високоентропійні сплави, розмірна невідповідність, ентальпія змішування, твердість, модуль пружності.

*Масюк А. С., Левицький В. Є., Гуменецький Т. В., Білий Л. М.* Морфологія

і фізико-механічні властивості модифікованих поліамідів.....132

Вивчено вплив високомолекулярного модифікатора – полівінілпіролідону (ПВП), на особливості морфології поліаміду-6. На основі інструментальних досліджень виявлено зміну кристалічності та фазових переходів поліаміду-6, зокрема, отримані матеріали мають вищий ступінь кристалічності на 5...7%. Досліджено фізико-механічні властивості одержаних матеріалів. Виявлено, що додавання ПВП до поліаміду сприяє зростанню відносного видовження під час розривання і границі плинності, а також теплостійкості за Віка. При цьому відзначено незначне зменшення модуля пружності і поверхневої твердості одержаних матеріалів, а також зростання тангенса кута механічних втрат.

**Ключові слова:** поліамід-6, модифікування, полівінілпіролідон, міцність, кристалічність.

**ЮВІЛЕЇ**

**Олександр Євгенович Андрейків (до 80-річчя від дня народження).....139**

## CONTENTS

*Dzib-Perez L., Bilyy O., Leon-Gronimo A., Castano-Gonzalez J. G., Guintana P., Dominguez-Maldonado R., and Gonzalez-Sanchez J.* Effect of annealing time-temperature conditions on the corrosion resistance of electroless Ni-P coatings.....5

The purpose of this work is to analyze the effect of different annealing temperature-time processing conditions applied to electroless Ni-P (12 wt.% P) coatings to improve the corrosion resistance in a 3.5% NaCl solution. An annealing process at 400°C for 4 h applied to electroless Ni-P coatings (12 wt.% P) induces the crystallization of the coating with the formation of stable Ni<sub>3</sub>P and Ni phases. This crystalline Ni-P coating presents better corrosion resistance in the 3.5 wt.% NaCl solution than the amorphous alloy and the coatings annealed at 400 and 500°C for 1 and 2 h. The corrosion resistance of the Ni-P coatings is evaluated by electrochemical impedance spectroscopy for 4 h of immersion. The microstructure of the Ni-P coatings before and after annealing at 400 and 500°C for 1; 2 and 4 h, is studied by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy. Annealing at 400°C for 4 h induces the preferential orientation of the plane (112) of the Ni<sub>3</sub>P phase as revealed by XRD analysis which modifies the kinetics of the electrochemical reactions. The corrosion resistance of the Ni-P coatings annealed at 400°C for 4 h is related to the formation of texturized Ni<sub>3</sub>P phase which is chemically stable and comprises 80% of the coating volume.

**Keywords:** *Ni-P coatings, electroless deposition, heat treatment, annealing, corrosion resistance, texture, microstructure, Ni<sub>3</sub>P phase.*

*Korniy S. A.* Quantum chemical calculation of stability of zeolite-phosphate complexes as paint coating pigments.....15

Using the cluster approach and quantum chemical methods PM7 and density functional (DFT), complexes of modified zeolite with zinc, calcium and manganese phosphates were modeled, and their geometric and electronic structures were calculated. The values of their heat formation, total energy, ionization potential, its the highest occupied and the lowest unoccupied molecular orbital energy, energy gap, electronic hardness and chemical softness were calculated. The redistribution of electron density on the oxygen atoms of the zeolite unit during the formation of a bond with phosphate clusters was analyzed. The stability and reactivity of the complexes were evaluated based on the analysis of the binding energy in the zeolite-phosphate cluster system. It is concluded that the combined quantum chemical calculations of zeolite-metal phosphate complexes satisfactorily describe changes in both the geometric parameters of clusters depending on the type of cation and the difference in energy stability, which may indicate different reactivity.

**Keywords:** *zeolite, divalent metal phosphates, modeling, PM7 and DFT quantum chemical methods, electronic structure, stability.*

*Shcherbakova L. G., [Milman Yu. V.] Iefimov M. A., Kuprin V. V., Lukyanov A. I., Chugunova S. I., and Goncharova I. V.* Mechanical and corrosive properties of aluminum-based intermetallics.....22

The Al<sub>3</sub>Sc, Al<sub>3</sub>Zr, Al<sub>3</sub>Hf, Al<sub>3</sub>V intermetallic compounds used for strengthening of aluminum alloys were selected for the study. The technology of rapid crystallization from the liquid state developed by the authors for producing amorphous alloys was used for intermetallics production. Using this technology it is possible to obtain sufficiently fine grains for the as-cast materials in a molten state with a size of 15...20 μm.

X-ray analysis showed that the  $\text{Al}_3\text{Zr}$  intermetallic was a single-phase material, and the  $\text{Al}_3\text{Sc}$ ,  $\text{Al}_3\text{Hf}$ ,  $\text{Al}_3\text{V}$  intermetallic compound contains several phases. Studies of the mechanical characteristics by indentation showed that the  $\text{Al}_3\text{Hf}$  compound had the maximum hardness  $HV$  of 6.75 GPa and yield strength  $\sigma_{SH} = 4.86$  GPa and the  $\text{Al}_3\text{Sc}$  – the minimal hardness of 2.0 GPa and yield strength  $\sigma_{SH} = 0.86$  GPa and this material phase was the most plastic:  $\delta_H = 0.88$ . It was found that in a 3% NaCl solution the corrosion potentials ( $E_{\text{corr}}$ ) of  $\text{Al}_3\text{Sc}$ ,  $\text{Al}_3\text{Hf}$  and  $\text{Al}_3\text{V}$  compounds had close values ( $-0.52\dots-0.57$  V). In the field of potentials close to  $E_{\text{corr}}$  the dissolution rate of intermetallic phases in a 3% NaCl solution increase in the sequence:  $\text{Al}_3\text{Sc} < \text{Al}_3\text{Hf} < \text{Al}_3\text{V}$ . The role of the intermetallic phase in the process of corrosion dissolution of the aluminum alloy depends on its composition, which determines the value of  $E_{\text{corr}}$  in this aggressive environment. It is shown that the anodic dissolution of the Al – 3 mass% Mg alloy alloyed with 0.3 mass% Sc in the 3% NaCl solution proceeds in the potential region more negative than the dissolution of the  $\text{Al}_3\text{Sc}$  intermetallic. Thus, the intermetallic phases are cathodic inclusions relative to the Al–Mg alloy matrix and will not selectively dissolve from the alloy under corrosion conditions.

**Keywords:** *aluminum intermetallics, mechanical, corrosive properties.*

*Kuskov Yu. M., Zadorozhna Kh. R., Makarenko V. D., Tishchenko V. A., Gordan G. N., Bogaychuk I. L., and Kaida T. V. Pulsed arc deposit welding of corrosion-resistant austenitic-martensitic steels.....29*

The results of corrosion tests of austenitic-martensitic steel deposited on 40X steel samples under a layer of AH-26 flux-cored wire ПД-Нп-30X22MH with a diameter of 2.2 mm in one layer with 50% overlapping rollers under two modes of its supply to the welding bath (0.5 and 0.7 Hz) are presented. It is established that the best operational characteristics under the influence of the corrosive environment are obtained during surfacing with a pulse of an electrode wire supply of 0.7 Hz.

**Keywords:** *pulse-arc surfacing, austenitic-martensitic steel, flux-cored wire, pulse of wire supply, corrosion, microstructure.*

*Yukhymets P. S., Nyrkova L. I., Gopkalo O. P., Dmytryyenko R. I., Lytvynenko A. Ye., and Paliyenko O. L. Corrosion features of 17Г1С steel heating pipelines.....35*

It is shown that fluctuations of internal pressure at an operating temperature of 40°C do not have a significant effect on the rate of pitting corrosion of pipelines of heating networks made of 17Г1С steel, which increases more than 2 times at a temperature of 80°C. The acceleration of the corrosion process occurs with an increase in the working pressure, and is more significant in the case when the working stresses periodically increase to a level corresponding to the hydraulic tests pressure. The rate of uniform corrosion of the pipeline wall increases with temperature and the amount of accumulated deformation. After prolonged contact with a corrosive environment at a temperature of ~ 80°C, the pipeline metal with a residual deformation of 1...3% becomes, according to the scale of corrosion resistance of metals, unstable, which increases the risk of pipeline fracture. The tendency of the pipeline to corrosive fracture after long-term operation in the mode of gradual accumulation of deformation increases with temperature.

**Keywords:** *heating networks, pipelines, corrosion rate, hydraulic tests.*

*Narivskiy O. E., Subbotin S. A., Pulina T. V., and Khoma M. S. Assessment and prediction of pitting resistance of AISI304 steel plate-like heat-exchangers during their operation in circulating water.....41*

A mathematical model of the dependence of critical pitting temperature (CPT) of AISI304 steel on its parameters (chemical composition, structural heterogeneity) and

circulating water (pH, chloride concentration) has been developed. The analysis shows that the parameters of model circulating waters have more than twice intense influence on CPT steel to compare to its chemical composition and structural heterogeneity. In particular, it is found that the CPT of steel increases by 13.4°C with a decrease in the concentration of chlorides from 600 to 350 mg/l. At the same time it is found that it increases only by 5.8°C with increasing Cr content from 17 to 19.5 mass%. This is due to the formation on the steel surface of a dense chromium-containing oxide film, which effectively counteracts the appearance of pitting and reduces the intensity of solid-phase diffusion of Fe atoms on the pitting surface, which can promote their repassivation. It is determined that the CPT of steel increases by 5.2°C with an increase in the average distance between the oxides from 151 to 172 μm. Thus, the linear model shows that the higher the average distance between the oxides in the steel and the average grain diameter of austenite, the less likely they are to intersect with the grain boundaries where stable pittings are usually formed. Therefore, it is proved that the higher the Cr content in steel and the lower its oxides, the higher its pitting resistance. The developed mathematical model is recommended to be used for prediction of pitting resistance of heat exchangers from AISI304 steel during their operation in circulating waters and a choice of optimum melting concerning durability of pitting.

**Keywords:** *heat exchanger, circulating water, chemical composition, structure, pitting resistance, pitting resistance prediction of AISI304 steel.*

*Danyliak M.-O. M. and Rizun Yu. Ya. Gumiarabik as an environmentally safe inhibitor for corrosion protection of 09Г2С steel in a neutral environment.....46*

The inhibitory ability of a natural polysaccharide – gum arabic as an environmentally friendly corrosion inhibitor – has been studied by electrochemical methods. The corrosion strength of 09Г2С steel is investigated by the method of potentiodynamic polarization in 0.1% NaCl solution with the addition of gum arabic. It is established that the use of the studied polysaccharide helps to reduce corrosion currents and reaches maximum efficiency at a concentration of 2 g/l. It is shown that the results of electrochemical impedance spectroscopy are consistent with the data of polarization measurements. The surface of 09Г2С steel is studied by scanning electron microscopy and EDX analysis and its chemical composition is determined. It is shown that the carbon content on the surface of 09Г2С steel after exposure to the inhibited solution increases due to the increase in the concentration of gum arabic, which contributes to its anti-corrosion effect as a corrosion inhibitor.

**Keywords:** *corrosion, steel, environmentally friendly inhibitor, gum arabic, polysaccharide.*

*Bereka V. V., Rudenko V. V., Zayets O. V., and Pastushenko O. M. Radar method for remote monitoring of corrosion state of reinforced concrete structures.....52*

The theoretical principles of the radar method as well as the equation for remote monitoring of the corrosion state of reinforced concrete structures are developed. This equation is based on an electrochemical model of the corroded metal surface of reinforced concrete reinforcement. The method of such monitoring is proposed and the structure of nonlinear radar for its implementation is synthesized, in particular the optimal operating frequencies of the nonlinear radar for atmospheric transparency windows and the sizes of corrosive elements have been determined. The attenuation of the signal of a nonlinear radar when passing through concrete is estimated, taking into account its electric conductivity and dielectric permeability.

**Keywords:** reinforced concrete structure, electrochemical corrosion of reinforcement, local corrosion element, an equation for radar monitoring of the corrosion state of metal, method for remote monitoring.

Trush V. S., Stoev P. I., Luk'yanenko A. G., Pohrelyuk I. M., Fedirko V. M., Pylypenko M. M., and Kravchyslyn T. M. The influence of deformation on hydrogen saturation of Zr-1%Nb alloy after oxidation and nitriding.....58

The characteristics of samples of Zr-1% Nb zirconium alloy cut out from nuclear fuel claddings saturated in hydrogen with preliminary various treatments have been studied. Before hydrogenation, the samples were subjected to chemical-thermal treatment (oxidation –  $T = 580^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 3$  h,  $P = 1.33$  Pa, nitriding –  $T = 580^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 9$  h,  $P_{\text{N}_2} = 10^5$  Pa) and some of the samples subjected to tensile load ( $0.8 \sigma_T$ ). It has been shown that for the samples in the state of delivery and after oxidation or nitriding, there are no differences in the character of changes in the curves of hydrogen evolution under heating to compare to samples with a load ( $0.8 \sigma_T$ ) immediately before saturation. A slight increase in the yield strength and ultimate strength is revealed while maintaining the plasticity of the material.

**Keywords:** zirconium, hydrogenation, oxidation, nitriding, surface layer, micro-structure, tensile strength, plasticity.

Sukhova O. V. and Polonskyy V. A. Corrosion resistance of Al-Cu-Co, Al-Ni-Co, Al-Ni-Fe alloys in acid solutions.....64

The structure of as-cast quasicrystalline  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$ ,  $\text{Al}_{72}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{10}$  and  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  alloys and their corrosion properties in acidic media were studied. The structure was investigated by the methods of quantitative metallography, X-ray analysis, scanning electron microscopy, and energy-dispersive X-ray spectrometry. Corrosion resistance was evaluated by gravimetric method in aqueous solutions of HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{H}_3\text{PO}_4$  acids (pH 1). In the structure of the investigated alloys, quasicrystalline decagonal D-phase was established to coexist with  $\text{Al}_4(\text{Co}, \text{Cu})_3$  and  $\text{Al}_3(\text{Cu}, \text{Co})_2$  phases of the  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$  alloy, with  $\text{Al}_9(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_2$  phase of the  $\text{Al}_{72}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{10}$  alloy, and with  $\text{Al}_{13}(\text{Fe}, \text{Ni})_4$ ,  $\text{Al}_3(\text{Ni}, \text{Fe})_2$ ,  $\text{Al}_3(\text{Ni}, \text{Fe})$  phases of the  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  alloy. The  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  and  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$  alloys exhibited the highest corrosion resistance in the nitric acidic solution, the  $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{23}\text{Fe}_5$  and  $\text{Al}_{72}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{10}$  alloys – in the chloric and orthophosphoric acidic solutions, and the  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$  alloy – in the sulphuric acidic solution. In most solutions, relatively uniform dissolution of the alloys surface was observed, except for the more defective areas that dissolved at a higher rate.

**Keywords:** decagonal quasicrystalline phase, as-cast aluminum-based quasicrystal-forming alloys, aqueous acidic solutions, corrosion resistance.

Tkachuk O. V., Proskurnyak R. V., and Holovchuk M. Ya. Morphology of hydroxyapatite coatings formed on BT1-0 titanium by combined treatment.....71

The formation of hydroxyapatite coatings by the method of plasma electrolytic oxidation in an alkaline electrolyte (hydroxyapatite + 1 M potassium hydroxide) at a voltage of 160 V and deposition time of 1 min on the surface of commercially pure BT1-0 titanium with pre-formed nitride layers was investigated. It was established that the hydroxyapatite with porous structure was formed more quickly on nitride layer with more vacancies ( $\text{TiN}_{0.69}$ ) in non-metallic sublattice of titanium mononitride than with less ( $\text{TiN}_{0.81}$ ). It was revealed that the Ca/P ratio for the hydroxyapatite coating decreased from 1.62 to 0.96.

**Keywords:** titanium BT1-0, nitriding, plasma-electrolytic oxidation, potassium hydroxide, hydroxyapatite.

<i>Prudius S. V., Hes N. L., Inshina O. I., and Khyzhun O. Yu.</i> Synthesis and investigation of $ZrO_2-SiO_2$ oxide doped with $Sn(IV)$ ions.....	75
---	----

Mixed  $ZrO_2-SiO_2-SnO_2$  oxides have been synthesized by sol-gel method with atomic ratios of components  $Zr:Si:Sn = 1:2:x$ , where  $x = 0.1 \div 4.0$ . Using thermogravimetric and XRD analysis it is shown that for samples with  $x \leq 2$  high homogeneity of  $Sn^{4+}$  ( $x = 4$ ) cation distribution is observed. Further increase of their content leads to the formation of a separate phase of tin dioxide, which corresponds to tetragonal crystal structure of the rutile type. It is shown that introduction of tin ions in  $ZrO_2-SiO_2$  matrix leads to the increase in acidity of the obtained samples, too. Therefore, maximal strength of acid sites increases from  $-11.35$  for  $ZrSi_2$  to  $-14.52$  for  $ZrSi_2Sn_{0.4}$  and  $ZrSi_2Sn$ . In XPS spectra, high energy shifts of  $Zr 3d_{5/2}$  and  $Sn 3d_{5/2}$  core levels indicate the shift of electron density from zirconium and tin atoms to silica atoms. The presence of octahedral and tetrahedral coordinated  $Sn^{4+}$  on the surface of the  $ZrSi_2Sn_x$  samples, which refers to Brönsted and Lewis acid sites, is observed. The bridging  $-OH$  groups on  $^{VIII}Zr^{4+}$  and  $^{IV}Sn^{4+}$  cations could be Bronsted sites and coordinated-unsaturated zirconium and tin cations are Lewis sites.

**Keywords:** ternary oxide, tin dioxide,  $ZrO_2-SiO_2$ , acid sites strength, superacid.

<i>Shepida M. V., Kuntiyi O. I., Mazur A.S., and Sukhatskyi Yu.V.</i> Formation of porous silicon by anodizing in the ultrasonic field.....	83
---	----

The results of studies of electrochemical dissolution of silicon at the anodic potential  $E = 3$  V in the field of ultrasound in solutions of fluoric acid (HF) in dimethylsulfoxide (DMSO), dimethylformamide (DMF), acetonitrile (AN) are presented. It is shown that during anodizing, cylindrical pores with an average diameter of 150 nm are formed on the silicon surface, which are evenly distributed on the substrate. It is established that the geometry of silicon pores and the rate of their formation are influenced by the following main factors: the concentration of HF in solution, the duration of electrolysis, the nature of the aprotic solvent. It is shown that the rate of formation of porous silicon (PSi) increases with increasing HF concentration and anode value. The influence of US on the anodizing process is explained. The results of scanning electron microscopy and histograms of particle size distribution depending on the conditions of anodic dissolution of silicon are presented.

**Keywords:** porous silicon, silicon anodizing, ultrasound.

<i>Student M. M., Markovych S. I., Hvozdetzkyi V. M., Kalakhan O. S., and Yuskiv V. M.</i> Abrasive wear resistance and tribological characteristics of electrometallization composite coatings.....	90
--	----

The coatings sprayed by electric arc method made of solid and powder wires are investigated. Their structure, mechanical and tribological characteristics are studied. In the coatings made from different wires there are drops of powder and solid wires. The coating structure consists of two different frames made of a soft matrix of solid wire ( $150 \dots 450 HV_{100}$ ) and a hard matrix of powder wire ( $600 \dots 1000 HV_{100}$ ). Under conditions of boundary friction, the pair of powder wire (Fe-Cr-B) + CB08 with a counterbody of БрС-30 bronze has the best tribological characteristics. The improved wear resistance of coatings is caused by the large amount of oxygen, oxides of iron and boron. The properties of coatings under boundary friction are determined. The friction coefficient for steel increases from 0.018 for 1 MPa to 0.038 for 10 MPa, which is 50...70% higher than for the friction pair of the coating made of electrode wires CB08

and powder wire (Fe–Cr–B) and БpC-30 bronze. Abrasive resistance of coatings made of composite wires increases 2.1 times to compare with that of ИХХ15 steel.

**Keywords:** *electric arc coatings, composite coatings, powder wires, abrasion coefficient, abrasion resistance.*

*Samotugina Yu. S. and Tkachova Ye. A.* Structure and mechanical properties of white cast iron after plasma surface modification.....98

The influence of surface modification by a highly concentrated plasma jet on the mechanisms of crystallization and phase transformations in welded white 300X25H3C3 cast iron is investigated. Depending on the change of plasma heating modes, the processing is possible without melting or with micro- and macro-melting. As a result of processing a modified zone with a highly dispersed structure is formed on the surface of cast iron. It is called a thin conglomerate of phases. The tests reveal a simultaneous increase of hardness, wear resistance and crack resistance of white cast iron after plasma modification. The best processing of cast iron is without melting or with micro-melting.

**Keywords:** *white cast iron, plasma modification, modified layer, wear resistance, crack growth resistance.*

*Posuvailo V. M., Kovalchuk I. V., Veselivska H. H., and Ivashenko I. B.* Properties of oxide ceramic coatings on AK9M2 alloy synthesized in electrolyte modified with hydrogen peroxide.....105

The influence of hydrogen peroxide on the phase composition, thickness and porosity of oxide ceramic coatings obtained by plasma electrolytic oxidation on AK9M2 aluminum alloy is studied. It is found that the addition of hydrogen peroxide to the electrolyte increases the thickness of the coating compared to the original electrolyte by 50%. Further increase in the concentration of hydrogen peroxide leads to a decrease in its porosity and increase in corrosion resistance. The maximum corundum content of 12 mass% is obtained at a hydrogen peroxide concentration of 5 g/l. Corrosion resistance of coatings obtained in the electrolyte with 7 g/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is two orders of magnitude higher than of the original alloy and an order of magnitude higher than those obtained in the base electrolyte. Silicon promotes the formation of sillimanite and quartz in oxide ceramic coatings.

**Keywords:** *plasma electrolytic oxidation, oxide ceramic coatings, X-ray diffraction analysis, crystal structure, porosity, sillimanite, corrosion resistant.*

*Sydorchuk O. M., Myslyvcheko O. M., Gogaev K. O., and Hongguang Ye.* Structure and properties of forged steel with regulated austenitic transformation.....112

Pressed steel with an adjustable (regulated) austenitic transformation (steel RAT) is used for hot deformation of a copper-nickel alloy at operating temperatures > 850°C (above the critical point  $A_3 = 850^\circ\text{C}$ ). It is recommended to extend the temperature range of forged steel with RAT (4X4H5M4Φ2 grade) and to use it in a martensitic state at operating temperatures < 630°C. For this purpose the phase-structural state of this steel is studied after optimized temperature modes of heat treatment (hardening and tempering). The relationship between the parameters of the crystal structure and the mechanical properties of thermally hardened steel as well as the temperature mode of hardening, in which the process of primary recrystallization of steel with RAT are established. The parameter of crystal structure and mechanical properties of the analyzed steel with the corresponding characteristics of two operated forged die steels (steel for hot deformation of the grade H13 (ASTM, USA, its analogue – 4X5MΦ1C steel according to standard GOST 5950-2000 and SKD6 according to JIS, Japan) and 4X4H5M4Φ2 steel with RAT, from which large-sized extruder wheels for hot deformation of copper are manufactured, are compared. Tempering temperature mode, in which



the process of softening of forged steel with RAT occurs, is substantiated. Based on the established relationship between the parameters of the crystal structure and hardness, it is shown that at room temperature the hardness should be below 40 HRC.

**Keywords:** *die steel, heat treatment, hardness, strength, martensite, carbide, crystal lattice period.*

*Ryabtsev I. O., Babinets A. A., Student O. Z., Knysh V. V., and Solovej S. O.*

Substantiation of the choice of materials for deposition based on fractographic analysis of fatigue fracture surfaces.....119

The effect of the type of materials for single- and multilayer surfacing of specimens on their serviceability under fatigue loading is analyzed by the fractographic method. It is shown that the fatigue life and the fractographic features of the deposited specimens depend on the presence of an intermediate sublayer and the material used for its deposition. The homogeneous ductile fibrous-like relief of the fatigue fracture surface prevailed within the deposited layers and the base metal on specimens with a sublayer of 08kp plastic low-carbon steel and a wear-resistant functional layer (tool steel grade 25X5ΦMC is its prototype in terms of composition and properties). Using the 12X1MΦ steel for the sublayer leads to the emergence the crystal-like relief of the fracture surface inside all deposited layer and high inhomogeneity along the fusion line of the functional layer and sublayer, which causes low fatigue life of such specimens. To increase the fatigue life of the deposited parts, it is recommended to apply a sublayer of low-carbon plastic steels before the functional layer formation.

**Keywords:** *arc multilayer surfacing, plastic sublayer, fracture, fatigue life, fractographic analysis.*

*Gorban V. F., Firstov S. O., Krapivka M. O., Samelyuk A. V., and Kurylenko D. V.*

The influence of various factors on the properties of solid-soluble high-entropy alloys based on BCC and FCC phases .....127

The influence of such factors as electron concentration, lattice distortion and phase ratio on hardness, modulus of elasticity and normalized hardness of high-entropy two-phase alloys has been studied. The analysis shows that the percentage of phases depends on the electron concentration. A sharp increase in the fcc phase is observed at an electronic concentration above 8 el/at. For high-entropy two-phase alloys, a rectilinear dependence of the normalized hardness on the dimensional mismatch is observed. The values of normalized hardness increase from 0.025 to 0.043 with increasing distortion from 2.3 to 4.3%.

**Keywords:** *high-entropy alloys, lattice distortion, enthalpy of mixing, hardness, modulus of elasticity.*

*Masiuk A. S., Levytskyi V. Ye., Humenetskyi T. V., and Bilyi L. M.* Morphology

and physicomechanical properties of modified polyamides.....132

The influence of high molecular weight modifier – polyvinylpyrrolidone (PVP) on the morphology of polyamide-6 has been studied. The instrumental studies reveal a change in the degree of crystallinity and phase transitions of polyamide 6, in particular, the obtained materials have a higher degree of crystallinity by 5...7%. The physical and mechanical properties of the obtained mixtures have been studied. It is found that the addition of PVP to polyamide contributes to the increase of relative elongation during rupture and yield strength, as well as Vicat softening point. At the same time, there is a slight decrease in the modulus of elasticity and surface hardness of the obtained materials, as well as an increase in the tangent of the angle of mechanical losses.

**Keywords:** *polyamide-6, modification, polyvinylpyrrolidone, strength, crystallinity.*

JUBILEES

**Oleksandr Yevhenovych Andreikiv (to the 80<sup>th</sup> birthday).....139**