

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

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

Міжнародний науково-технічний журнал
Заснований у січні 1965 року
Виходить 6 разів у рік
том 60, № 1, 2024
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, Л. М. ЛОБАНОВ, П. О. МАРУЩАК, О. П. ОСТАШ, І. М. ПОГРЕЛЮК, М. С. ПОЛУТРЕНКО, Т. О. ПРИХНА, М. П. САВРУК, М. Д. САХНЕНКО, А. М. СИРОТЮК, В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. З. СТУДЕНТ, Г. Т. СУЛИМ, 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), Ж. КОРЕЙЯ (Португалія), 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. DURLAGINA, I. Yu. ZAVALIY, O. I. ZVIRKO, I. M. ZIN, R. M. KUSHNIR, D. B. KURYLIAK, L. M. LOBANOV, P. O. MARUSCHAK, O. P. OSTASH, I. M. POHRELYUK, M. S. POLUTRENKO, T. O. PRIKHNA, M. P. SAVRUK, M. D. SAKHNENKO, A. M. SYROTYUK, V. R. SKALSKYI, O. Z. STUDENT, H. T. SULYM, M. S. KHOMA, O. E. CHYHYRYNETS, V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRULNYK

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

R. AKID (Great Britain), G. BOLZON (Italy), M. ELBOUJDAINI (USA–Canada), E. GDOUTOS (Greece), V. KAIN (India), J. CORREIA (Portugal), 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. (Eng.), Prof. H. M. Nykyforchyn

Прийняття до друку статей та коротких викладів здійснюється на підставі незалежного анонімного рецензування

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 27.02.2024. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12. Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 180 прим. Замовлення 070324-22 від 07.03.2024. Ціна договірна. Реєстраційне свідоцтво серія ДК № 5068 від 22.03.2016

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

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,

<i>Андрейків О. Є., Долінська І. Я., Любчак М. О., Настасяк С. В.</i> Визначення залишкового ресурсу труби нафтопроводу з урахуванням деградації матеріалу.....	5
---	---

Запропоновано метод для оцінювання залишкового ресурсу труби зі сталі Х70 нафтопроводу зі зовнішньою поверхневою півеліптичною тріщиною, в якій є ламінарний потік нафти під тиском 12 МПа, а в тріщину проникає ґрунтове корозивне середовище. Досліджували залишковий ресурс такої труби після 33 років її експлуатації, коли відбувається корозійно-воднева деградація її матеріалу. На основі відомих у літературі експериментальних результатів деградації сталі Х70 побудовано наближено базову діаграму росту корозійно-механічної тріщини в такому матеріалі. Для реалізації сформульованої нової задачі застосовано раніше розроблений енергетичний підхід для визначення залишкового ресурсу труби нафтопроводу з корозійною тріщиною, коли базова діаграма росту такої тріщини враховує одночасну деградацію сталі Х70 з ростом дефекту. Побудовано графічні залежності залишкового ресурсу труби від початкового розміру тріщини за одночасної деградації її матеріалу для труби запасу і експлуатованої 33 роки та порівняно результати.

Ключові слова: *деградація матеріалів, залишковий ресурс, труба нафтопроводу, енергетичний підхід, базова діаграма росту корозійно-механічної тріщини.*

<i>Осташ О. П., Чепіль Р. В., Аболіхіна О. В., Семенець О. І., Знова В. А., Ковальчук Л. Б.</i> Оцінювання схильності до експлуатаційної деградації алюмінієвого сплаву 1161АТ.....	12
---	----

Вивчено структуру, фізико-механічні характеристики і мікромеханізми руйнування за статичного і циклічного навантажень зразків, вирізаних з плакованих листів товщиною 2 mm зі сплаву 1161АТ системи Al–Cu–Mg–Mn–Zr з пониженим вмістом Si і Fe (до 0,1 wt% кожного). Сплав досліджено у вихідному стані (гартування і природне старіння) та після впливу температурно-силових чинників у лабораторних умовах, які моделюють експлуатаційні. Встановлено практично однакові його службові характеристики у вихідному стані та після модельної деградації проти таких для подібних сплавів з підвищеним вмістом домішок Si і Fe (до 0,5 wt% кожного).

Ключові слова: *алюмінієвий сплав, модельна деградація, мікроструктура, фізико-механічні властивості.*

<i>Скальський В. Р., Дмитрах І. М., Почапський Є. П., Мокрий О. М., Сиротюк А. М., Клим Б. П., Канюк Ю. І., Романишин І. М., Великий П. П., Долішній П. М.</i> Дослідження впливу поверхневої обробки та гартування сталі 60С2А на її об’ємну пошкодженість методами акустичного контролю.....	18
--	----

Проаналізовано вплив поверхневої обробки та гартування циліндричних виробів, виготовлених із середньовуглецевої сталі 60С2А, на зародження та розвиток у них об’ємної пошкодженості. Застосовано три методи акустичного контролю: акустичну та магнетопружну акустичну емісію, а також ультразвуковий поверхневими хвилями. Встановлено задовільну їх кореляцію і найкраще співвідношення ефективність/ собівартість під час виконання робіт.

Ключові слова: *середньовуглецева сталь, об’ємна пошкодженість, акустична емісія, магнетопружна акустична емісія, ультразвуковий метод поверхневими хвилями.*

Звірко О. І., Цирульник О. Т., Кречковська Г. В., Греділь М. І., Никифорчин Г. М., Венгринюк О. І., Цибайло І. О. Вплив структурно-механічного стану сталі транзитного газопроводу на схильність до водневого окрихчення.....26

Обґрунтовано різні режими катодної поляризації зразків трубної сталі за густиною струму, які зумовлюють її помірне та інтенсивне наводнювання. Визначено опір водневій крихкості сталі 17Г1С у вихідному та експлуатованому станах за зміною її пластичності залежно від інтенсивності наводнювання та орієнтації зразків до осі труби. Неексплуатована сталь не схильна до водневого окрихчення за помірного наводнювання, тоді як експлуатована її проявила. Металографічним та фрактографічним аналізами встановлено важливу роль неметалевих включень у водневому окрихченні сталі, яке залежало від її структурно-механічного стану та умов наводнювання. За помірного окрихчення проявилось міжзеренними, тоді як за інтенсивного – кризьзеренними фрагментами руйнування. Ці відмінності пов'язано з різними шляхами транспортування абсорбованого металом водню.

Ключові слова: *трубна сталь, мікроструктура, тривала експлуатація, режими наводнювання, механізм водневого окрихчення.*

Кузьмов А. В., Вдовиченко О. В., Кіркова О. Г., Штерн М. Б. Нелінійно-пружна поведінка та ефективні параметри матеріалів з порами та щілиноподібними дефектами.....34

Сформульовано нелінійно-пружну ізотропну модель та визначено ефективні характеристики матеріалу з дефектами у вигляді щілин та пор. За основу моделі взято вираз для питомої енергії деформування, що є однорідною функцією другого ступеня стосовно інваріантів тензора деформації. Зв'язок між макроскопічними параметрами моделі, вмістом дефектів та їх морфологією в матеріалі визначено методами обчислювальної мікромеханіки. Модель дала змогу врахувати пружну дилатансію, а її граничний стан відповідає умові Cam–Clay.

Ключові слова: *нелінійна пружність, пружний потенціал, пори, дефекти типу щілин.*

Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Сафронова О. А., Сафронов О. Л., Дементьєва Ж. А. Дослідження зв'язку між хімічним і фазовим складом та в'язкістю руйнування сталі залізничних коліс.....42

Досліджено вплив структурного стану на комплекс властивостей металу залізничного колеса. Встановлено кореляційні зв'язки між його характеристиками. Виявлено негативний вплив структурної неоднорідності на в'язкість руйнування K_{1C} вуглецевої сталі залізничних коліс ($C \sim 0,47 \text{ mass\%}$). Показано, що бейніт у структурі сталі в кількості від 10 до 15% призводить до зниження в'язкості руйнування K_{1C} на 25...36% порівняно з рівномірною феритно-перлітною структурою (підвищення кількості бейніту в структурі в середньому на 1% викликає зниження в'язкості руйнування на 2,7%).

Ключові слова: *залізничні колеса, механічні властивості, мікроструктура, хімічний склад.*

Синиця А. О., Сич О. Є., Євич Я. І., Ведель Д. В., Бабутина Т. Є., Кондратенко І. Г., Перекося А. О. Механічні та магнетні властивості біокомпозитів на основі гідроксиапатиту, модифікованого магнетитом та хітозаном.....49

Вивчено механічні та магнетні властивості композитів на основі біогенного гідроксиапатиту, модифікованого магнетитом (1; 5; 25 і 50 wt%) і хітозаном. Встановлено, що зі збільшенням вмісту магнетиту від 1 до 50 wt% пористість композиту знижується незначно (від 45 до 38%) і суттєво підвищуються міцність на

стиск та модуль Юнга (у 7 разів та втричі з введенням магнетиту, отриманого методом хімічного осадження та термолізом, відповідно), порівняно з чистим гідроксиапатитом. Виявлено, що з ростом кількості магнетиту, незалежно від його типу (методу синтезу), поліпшуються і магнетні властивості композитів. Композити біогенний гідроксиапатит–магнетит–хітозан перспективні у біомедицині, оскільки їх механічні властивості близькі до властивостей пористих кісток людини, а магнетні достатні для гіпертермії, магнетотерапії.

Ключові слова: біогенний гідроксиапатит, магнетит, хітозан, композит, магнетні і механічні властивості.

Виноградова О. П., Васильчук О. С., Майстренко А. Л., Загора А. П., Ткач В. М., Ваннічна В. В., Ільницька Г. Д., Олійник Н. О., Білорусець В. В., Людвіченко О. П., Бологова Л. М. Дослідження зони заглиблення індентора в частинці зношування матриці алмазовмісного породоруйнівного інструмента.....57

Розглянуто зону взаємодії гірської породи з поверхнею матричного матеріалу Ni (94%)–Sn (6%) породоруйнівного інструмента, оснащеного алмазами зі зернистістю 500/400 і відносною концентрацією 100%, у частинці зношування матричного матеріалу. У зоні заглиблення індентора у цій частинці виявлено систему мікротріщин, яка бере початок у місці безпосереднього контакту індентора з поверхнею матриці та розгалужується у напрямку його заглиблення у поверхню матриці. Встановлено, що матеріал матриці зношується крихко, а одним із способів мікроіндентування поверхні крихкої алмазовмісної матриці за динамічного навантаження є “мікроудари” об її поверхню елементів шорсткості гірської породи, з подальшим відшаруванням дискретних частинок, проекція яких подібна до “ластівчиного хвоста”.

Ключові слова: частинка крихкого зношування, шлам, алмазовмісна матриця, породоруйнівний інструмент, зона заглиблення індентора.

Чуйко І. М., Парусов Е. В., Бобирь С. В., Сагура Л. В., Парусов О. В. Порівняльний аналіз кінетики мартенситного перетворення у низьколегованій конструкційній сталі дилатометричним і розрахунковим методами.....63

Здійснено порівняльний аналіз кінетики атермічного мартенситного перетворення у низьколегованій конструкційній сталі 30CrMnSi за допомогою дилатометричного і розрахункового методів. Показано, що на початковому етапі крива перебігу зсувного перетворення за моделлю Koistinen–Marburger добре узгоджується з експериментальними дилатометричними результатами, однак за подальшого зниження температури математичне моделювання зумовлює істотну похибку у визначенні об’ємної частки утвореного мартенситу. При цьому помилка розрахунків кількості мартенситної фази може досягати 20 vol.%. Запропоновано методика, яка враховує температури початку і завершення зсувного перетворення аустеніту та дає змогу отримати тісніший кореляційний зв’язок з дилатометричними даними сталі 30CrMnSi порівняно з моделлю Koistinen–Marburger. Одержані результати можна використати для вдосконалення існуючих режимів термічного оброблення, зокрема перерваного гартування, для підвищення точності прогнозування фазового складу низьколегованих конструкційних сталей.

Ключові слова: мартенсит, аустеніт, перетворення, фаза, моделювання.

Вербовицький Ю. В. Фазові та структурні дослідження сплавів Ce–Zn–Ga.....70

Досліджено фазовий склад литих та відпалених за температури 400°C сплавів системи Ce–Zn–Ga в області до 33,3 at.% Ce з використанням рентгенівської порошкової дифракції та сканувальної електронної мікроскопії. Підтверджено іс-

нування двох твердих розчинів на основі бінарних сполук $CeZn_2$ та $CeGa_2$, трьох тернарних фаз складу $Ce_5Zn_2Ga_{17}$, $CeZnGa_4$, $CeZn_2Ga_2$ та вперше синтезовано сім нових фаз, для трьох з них повністю досліджено кристалічну структуру. Фаза $CeZn_{3.5}Ga_{0.5}$ кристалізується в структурному типі $LaZn_4$ (просторова група $Cmcm$), сполука $Ce_7Zn_{20}Ga_3$ ізоструктурна до $Ce_7Zn_{21}Si_2$ (просторова група $Pbam$), а фаза $Ce_3Zn_{32}Ga_4$ поповнює ряд структур похідних від типу Th_2Ni_{17} (просторова група $R\bar{6}_3/mmc$).

Ключові слова: *потрійна система, Ce–Zn–Ga, спікання, рентгенівський дифракційний аналіз, інтерметаліди, тернарні фази, кристалічна структура.*

Литошенко Н. В., Матвійчук О. О. Залишкові термічні напруження у твердих сплавах з мезоструктурою.....78

Аналітичними методами досліджено залишкові термічні напруження в твердих сплавах з мезоструктурою типу $(WC-Co)^{gran}-Co$, які суттєво залежать від складу сплаву і об'ємного вмісту фаз. Напруження розтягу в прошарках матриці нижчі, ніж у стандартних твердих сплавах аналогічних марок.

Ключові слова: *залишкові термічні напруження, твердий сплав, мезоструктура, фазовий склад.*

Ben Nengjun, Гураль Т. О., Василів О. М., Витязь О. Ю., Неспляк Ю. М., Кравчук С. І. Вплив корозійно-активних неметалевих включень на корозійну тривкість сталей колтюбінгових труб.....84

Вплив корозійно-активних неметалевих включень (КАНВ) на корозійну тривкість сталей колтюбінгових труб досліджено у 3%-му водному розчині $NaCl$ і модельній пластовій воді (МПВ), яка за хімічним складом відповідає воді Яблунівського нафтогазоконденсатного родовища і насичена вуглекислим газом. Встановлено, що швидкість корозії сталі HS-90 у МПВ приблизно вдвічі вища, ніж сталі GT-90, а в 3%-му розчині $NaCl$ – утричі. Після експозиції у ньому при $20^\circ C$ упродовж 72 h на поверхні сталі GT-90 виявлено рівномірну корозію без пітингів, а на сталі HS-90 – виразкову, яка розвивається на КАНВ. Густина включень ~ 6 pcs/mm². Від них вглиб металу поширюються розгалужені корозійні пошкодження.

Ключові слова: *сталь, модельна пластова вода, корозія, корозійно-активні неметалеві включення, мікроструктура, пітинг.*

Воробйова В. І., Чигиринець О. Е. Закономірності та механізм протикорозійної дії “зелених” інгібіторів у нейтральних водних середовищах.....90

Встановлено, що екстракти продуктів перероблення плодово-ягідних культур діють як “проінгібітори” корозії сталі в нейтральному водному розчині. У результаті хімічного перетворення в об'ємі електроліту формуються флаванол-антоцианові та флаванол-альдегідні аддукти, що адсорбуються на поверхні сталі та блокують доступ корозивного середовища до поверхні металу, додатково гальмуючи корозію. Продукти полімеризації містять збільшену кількість атомів вуглецю в скелетній структурі, розташованих за ароматичною схемою, полярні та ароматичні функціональні групи. Квантово-хімічними методами виявлено, що такі сполуки здатні взаємодіяти із металевою поверхнею через гетероатоми кисню та π -взаємодію.

Ключові слова: *проінгібітори, природні вторинні метаболіти, адсорбція, корозійна тривкість.*

<i>Гвоздецький В. М., Студент М. М., Погрелюк І. М., Студент О. З., Задорожна Х. Р.</i> Механічні властивості та корозійна тривкість електродугових покриттів з порошкових дротів.....	98
--	----

Досліджено механічні властивості, хімічну мікрогетерогенність та корозійну тривкість у 3%-му водному розчині NaCl електродугових покриттів з порошкових дротів (ПД) з різним складом шихти. Встановлено, що покриття з ПД суттєво неоднорідні за хімічним складом проти отриманих зі суцільних дротів. Адже подрібнені повітряним струменем краплини розплаву ПД, з яких формується покриття, різняться за хімічним складом. Такий градієнт спричинений неповним розплавленням і змішуванням складників шихти та сталеві оболонки в дузі між торцями ПД під час електродугового напилювання покриттів. Запропоновано додавати до шихти ПД порошки, які забезпечили би в краплинах розплаву необхідну кількість хрому, бору та вуглецю. Зокрема, порошки ферохрому, карбіду бору (B_4C), ферохромбору, феросплавів (FeSi, FeMn) та самофлюсу ПГ-10Н-01, які підвищують гомогенність розплаву ПД та активізують утворення евтектик між складниками шихти ПД 90Х17РГС та ПД 90Х17РЗГС. Це забезпечить нижчу мікрогетерогенність та високу корозійну тривкість покриттів, яка наблизатиметься до властивості нержавній сталі Х18Н9Т.

Ключові слова: *дугове напилювання, порошкові дроти, покриття, мікрогетерогенність, мікротвердість, корозійна тривкість.*

<i>Дацко Б. М., Хлопик О. П., Зінь І. М., Сободош Н. Й., Головчук М. Я., Корній С. А.</i> Захисні властивості епоксидного покриття з цеоліт-фосфатним протикорозійним пігментом на алюмінієвому сплаві.....	105
---	-----

Досліджено вплив комплексного цеоліт-фосфатного протикорозійного пігменту, отриманого механохімічним модифікуванням синтетичного цеоліту катіонами кальцію з подальшим рідкофазним осадженням цинк-фосфатної фази, на захисні властивості епоксидного покриття на алюмінієвому сплаві. Методами електрорхімічної імпедансної спектроскопії, оптичної 3D профілометрії та випробуваннями у камері вологи і тепла встановлено, що додавання такого пігменту до епоксидного покриття забезпечує суттєве підвищення корозійної тривкості алюмінієвого сплаву. При цьому збільшується опір переносу заряду металу та зменшується кількість продуктів корозії в місцях дефектів лакофарбового шару.

Ключові слова: *алюмінієвий сплав, епоксидне покриття, протикорозійний комплексний цеоліт-фосфатний пігмент, двостадійна модифікація, електрохімічна імпедансна спектроскопія, 3D профілометрія.*

<i>Сніжної Г. В., Сніжної В. Л.</i> Магнетометрична оцінка впливу хімічних елементів на корозію аустенітних сплавів Fe–Cr–Ni.....	112
---	-----

Досліджено роль індивідуальних (P, C, Mn, Cr) і комбінованих (Q_2 (S + P), Q_4 (S + P + N + C), Q_6 (S + P + N + C + Si + Mn), Q_8 (S + P + N + C + Si + Mn + Ni + Cr)) елементів в п'яти плавках сплаву 06ХН28МДТ. Отримано кореляційний зв'язок між швидкістю корозії K у хлоридовмісних середовищах, питомою магнетною сприйнятливістю χ_0 аустеніту (матриці) і вмістом елементів, а також встановлено множину різної форми графічних моделей таких залежностей. Виявлено позитивний і негативний вплив індивідуальних і комбінованих елементів на пінгготривкість плавки сплаву.

Ключові слова: *аустеніт, корозія, магнетна сприйнятливість, сплав, вуглець, хром.*

<i>Кочубей В. В., Яремчук Я. В., Ягольник С. Г., Даниляк М.-О. М. Сорбційна здатність активованого ультразвуком природного бентоніту щодо йонів купруму.....</i>	<i>119</i>
--	------------

Досліджено сорбційні властивості бентоніту Ільницького родовища (Україна) щодо йонів купруму за його активації ультразвуком. Методами X-променевого дифрактометричного та комплексного термічного аналізів встановлено, що фракція бентоніту з розміром частинок $\leq 10 \cdot 10^{-6}$ м представлена Са, Mg-монтморилонітом. Виявлено, що активований ультразвуковими хвилями бентоніт має підвищену сорбційну здатність щодо йонів купруму. Насичення йонами Cu^{2+} природного та активованого бентоніту відбувається за механізмом йонного обміну. Моделюванням експериментальних результатів ізотерм сорбції рівнянням Ленгмюра порівняно сорбційні характеристики природного та активованого бентонітів. Окреслено перспективи використання активованого ультразвуком бентоніту для очищення стічних вод від йонів важких металів.

Ключові слова: *бентоніт, монтморилоніт, сорбент, важкі метали, фізико-хімічні методи дослідження, ізотерми сорбції.*

<i>Масюк А. С., Левицький В. Є., Білий Л. М., Левицький Б. В., Гуменецький Т. В. Закономірності одержання високоадгезивних наповнених полімерномомерних композицій.....</i>	<i>128</i>
---	------------

Досліджено вплив природи модифікованих наповнювачів (Ni- та Cu-вмісних полімер-силікатних матеріалів) на кінетику емульсійної полімеризації метилметакрилату в присутності прищеплених співполімерів полівінілпіролідону. Оцінено особливості полімероутворення поліметилметакрилатних матеріалів залежно від природи наповнювача та умов процесу. Виявлено, що полімеризація відбувається у декілька стадій з індукційним періодом. Розробленим матеріалам, отриманим на основі наповнених композицій, притаманні високі поверхнева твердість та теплотривкість за Віка.

Ключові слова: *метилметакрилат, полівінілпіролідон, співполімер, полімер-силікатний наповнювач.*

У НАУКОВИХ КОЛАХ

<i>VII Міжнародна конференція “Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи діагностування і прогнозування”.....</i>	<i>133</i>
---	------------

CONTENTS

- Andreikiv O. Ye., Dolinska I. Ya., Liubchak M. O., and Nastasiak S. V.*
Determination of the residual life of the oil pipe taking into account material degradation.....5
- A method for estimating the residual life of X70 steel pipe of an oil pipeline with an external surface semi-elliptical crack, in which there is a laminar flow of oil under a pressure of 12 MPa, and a soil corrosive medium penetrates into the crack, is proposed. The residual life of such a pipe after 33 years of its operation, when corrosion-hydrogen degradation of its material takes place, was studied. Based on the experimental data of the degradation of X70 steel known in the literature, an approximate basic diagram of the corrosion-mechanical crack growth in such a material was constructed. The energy approach previously formulated by the authors to determine the residual life of an oil pipeline pipe with a corrosion crack is applied to the new problem obtained in this way, when the basic diagram of such crack growth includes the simultaneous degradation of X70 steel. Graphical dependences of the residual life of the pipe on the initial size of the crack based on the simultaneous degradation of its material as well as for the cases of the reserve pipe and the pipe operated for 33 years are constructed and results are compared.
- Keywords:** *degradation of materials, residual life, oil pipeline pipe, energy approach, basic diagram of corrosion-mechanical crack growth.*
- Ostash O. P., Chepil R. V., Abolikhina O. V., Semenets O. I., Znova V. A., and Kovalchuk L. B.* Assessment of 1161AT aluminum alloy susceptibility to operational degradation.....12
- Structure, physico-mechanical characteristics, and fracture micromechanisms under static and cyclic loading of samples cut from clad 2 mm thick sheet made of 1161A alloy of the Al–Cu–Mg–Mn–Zr system with a reduced content of Si and Fe (up to 0.1 wt% of each) were studied. This alloy in the initial state (quenching and natural aging) and after the influence of termomechanical factor in laboratory conditions which simulate the effects of operational ones were investigated. It is established that the 1161AT alloy shows practically the same service characteristics in the initial state and after model degradation, in comparison to similar alloys with an increased content of Si and Fe impurities (up to 0.5 wt% of each).
- Keywords:** *aluminum alloy, model degradation, microstructure, physical and mechanical properties.*
- Skalskyi V. R., Dmytrakh I. M., Pochapskyi Ye. P., Mokryy O. M., Syrotyuk A. M., Klym B. P., Kaniuk Yu. I., Romanyshyn I. M., Velykyi P. P., and Dolishniy P. M.* Investigation of the influence of surface treatment and hardening of 60C2A steel on its volumetric damage by the acoustic test method.....18
- The effect of mechanical and thermal treatment of cylindrical products made of medium-carbon steel 60C2A on the nucleation and development of volumetric damage in them is considered. Three types of acoustic control methods were used: acoustic emission, magnetoelastic acoustic emission, and ultrasonic surface waves, which controlled the dynamics of its nucleation and development. Research results have shown that these methods can provide a satisfactory correlation between them and have the best efficiency/cost ratio.
- Keywords:** *medium carbon steel, volumetric damage, acoustic emission, magnetoelastic acoustic emission, ultrasonic surface waves method.*

Zvirko O. I., Tsyruynyk O. T., Krechkovska H. V., Hredil M. I., Nykyforchyn H. M., Venhryniuk O. I., and Tsybailo I. O. The influence of the structural-mechanical state of the transit gas pipeline steel on the susceptibility to hydrogen embrittlement	26
---	----

Different modes of cathodic polarization of pipe steel specimens based on current density, which determine its moderate and intense hydrogen charging, are substantiated. The hydrogen embrittlement resistance of 17Г1С steel in the as-delivered and post-operated states was determined by the change in plasticity depending on the hydrogen charging intensity and the direction of cutting the samples relative to the pipe axis. Unexploited steel is not prone to hydrogen embrittlement under moderate hydrogen charging, while exploited steel has shown this feature. Using metallographic and fractographic analyses, the important role of non-metallic inclusions in the hydrogen embrittlement of steel, which depended on its structural-mechanical and hydrogen charging conditions, was determined. Under moderate hydrogen charging the intergranular embrittlement takes place while under intense transgranular embrittlement; the differences are due, obviously, to different mechanisms of transport of hydrogen absorbed by the metal.

Keywords: *pipeline steel, microstructure, long-term operation, hydrogen charging regimes, hydrogen embrittlement mechanism.*

Kuzmov A. V., Vdovychenko O. V., Kirkova O. G., and Shtern M. B. Non-linear- elastic behavior and effective parameters of materials containing pores and slit- like defects.....	34
--	----

A nonlinear-elastic isotropic model is formulated and effective characteristics of the material containing defects in the form of cracks and pores are determined. The expression for deformation specific energy, which is the second degree homogeneous function with respect to the invariants of the deformation tensor is the model base. The relationship between the macroscopic parameters of the model, the content of defects and the morphology of the material is established by the methods of computational micromechanics. The model allows taking into account elastic dilatancy, and its limiting state corresponds to the Cam–Clay condition.

Keywords: *nonlinear elasticity, elastic potential, pores, slit-like defects.*

Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podolskyi R. V., Safronova O. A., Safronov O. L., and Dementieva Zh. A. Study of correlation of the chemical and phase composition and fracture toughness of railway wheel steel.....	42
--	----

The influence of the structural state on the set of properties of the railway wheel metal was studied. Correlation between metal characteristics was established. The negative impact of structural heterogeneity on the fracture toughness of K_{1C} of carbon steel for railway wheels ($C \sim 0.47$ mass%) was established. It is shown that bainite in the steel structure in the amount of 10 to 15% leads to a decrease in the fracture toughness of K_{1C} by 25...36% in comparison with this characteristic for the steel with a uniform ferrite-pearlite structure (an increase in the amount of bainite in the structure on average by 1% causes a decrease in fracture toughness by 2.7%).

Keywords: *railway wheels, mechanical properties, microstructure, chemical composition.*

Synytzia A. O., Sych O. Ye., Yevich Ya. I., Vedel D. V., Babutina T. Ye., Kondratenko I. H., and Perekos A. O. Mechanical and magnetic properties of biocomposites based on hydroxyapatite modified with magnetite and chitosan.....	49
--	----

The mechanical and magnetic properties of composites based on biogenic hydroxyapatite modified with magnetite (1; 5; 25 and 50 wt%) and chitosan are studied. An

increase in the content of magnetite in the composite from 1 to 50 wt% leads to a slight decrease in porosity (from 45 to 38%) and to a significant increase in compressive strength and Young's modulus (in 7 times with the addition of magnetite obtained by chemical precipitation and in 3 times with the addition of magnetite obtained by thermolysis), compared to pure hydroxyapatite. It was shown that with an increase in the amount of magnetite, regardless of its type (synthesis method), the magnetic properties of composites also increase. Taking into account the mechanical properties close to porous human bone and magnetic properties sufficient for hyperthermia treatment, magneto therapy or targeted drug delivery, the obtained biogenic hydroxyapatite–magnetite–chitosan composites are promising in biomedicine.

Keywords: *biogenic hydroxyapatite, magnetite, chitosan, composite, magnetic and mechanical properties.*

Vynohradova O. P., Vasylchuk O. S., Maystrenko A. L., Zakora A. P., Tkach V. M., Vapnichna V. V., Ilnitska G. D., Oliinyk N. O., Belorusets V. V., Liudvichenko O. P., and Bologova L. M. Investigation of the indenter penetration zone in the wear particle of the matrix of a diamond-containing rock-cutting tool.....57

The zone of interaction of the rock roughness element with the surface of the matrix material Ni (94%)–Sn (6%) of the rock-csushing element, equipped with diamonds of grain size 500/400 and their relative concentration of 100%, in the wear particle of the matrix material is considered. In the zone of indenter penetration in the wear particle a system of microcracks originating at the place of direct contact of the indenter with the surface of the matrix and branching in the direction of indenter penetration into the matrix surface was found. The material of the matrix wears out brittle and one of the methods of microindentation of the surface of a brittle diamond-containing matrix under dynamic loading is “micro-impacts” of the rock roughness elements to its surface with the subsequent delamination of discrete particles, the projection of which is similar to the projection of “swallow tail”.

Keywords: *brittle wear particle, slurry, diamond-containing matrix, rock-cutting tool, zone of indenter introduction.*

Chuiko I. M., Parusov E. V., Bobyr S. V., Sahura L. V., and Parusov O. V. Comparative analysis of the kinetics of martensitic transformation in low-alloy structural steel by dilatometric and calculation methods.....63

A comparative analysis of the kinetics of athermal martensitic transformation in low-alloy 30CrMnSi structural steel using dilatometric and calculative methods has been carried out. It is shown that at the initial stage the evolution curve of shear transformation according to the Koistinen–Marburger model corresponds well to the experimental dilatometric data, but with further temperature decrease the mathematical modeling causes a significant error in determining the volume fraction of formed martensite. At the same time, the error in the calculations of the amount of the martensitic phase can reach 20 vol.%. The proposed method, which takes into account the temperatures of the beginning and completion of the shear transformation of austenite, allowed us to obtain a closer correlation with the dilatometric data of 30CrMnSi steel compared to the Koistinen–Marburger model. The obtained results can be used for the improvement of existing modes of heat treatment, including interrupted quenching, in order to increase the accuracy of predictive determination of phase composition in low-alloyed structural steels.

Keywords: *martensite, austenite, transformation, phase, modeling.*

Verbovytskyy Yu. V. X-ray phase and structural study of Ce–Zn–Ga alloys.....70

The phase composition of cast and annealed of Ce–Zn–Ga alloys up to 33.3 at.% Ce at a temperature of 400°C was studied using X-ray powder diffraction and scanning

electron microscopy. The existence of two solid solutions based on the binary compounds $CeZn_2$ and $CeGa_2$, and three ternary phases with the composition $Ce_5Zn_2Ga_{17}$, $CeZnGa_4$, and $CeZn_2Ga_2$ were confirmed. Additionally, seven new phases were synthesized for the first time, with the crystal structures of three fully determined. The $CeZn_{3.5}Ga_{0.5}$ phase crystallizes in the $LaZn_4$ structure type (space group $Cmcm$), the $Ce_7Zn_{20}Ga_3$ compound is isostructural to $Ce_7Zn_{21}Si_2$ (space group $Pbam$), and the $Ce_3Zn_{32}Ga_4$ phase completes the series of structures derived from the Th_2Ni_{17} type (space group $P6_3/mmc$).

Keywords: ternary system, Ce–Zn–Ga, sintering, X-ray diffraction analysis, intermetallics, ternary phases, crystal structure.

Lytoshenko N. V. and Matviichuk O. O. Residual thermal stresses in hard alloys with a mesostructure.....78

Residual thermal stresses in cemented carbides with a mesostructure of the $(WC-Co)^{gran}-Co$ type with the help of analytical methods and which significantly depend on the composition and volume content of the phases are investigated. The tensile stress in the matrix layers is lower than the stress in standard cemented carbides of similar grades.

Keywords: residual thermal stresses, cemented carbides, mesostructure, phase composition.

Ben Nengjun, Gural T. O., Vasylyv O. M., Vytyaz O. Yu., Nespliak Yu. M., and Kravchuk S. I. The influence of corrosion-active non-metallic inclusions on the corrosion resistance of coiled tubing steels.....84

The influence of corrosion-active non-metallic inclusions (CANI) on corrosion resistance of coiled tubing steels was studied in a 3% NaCl aqueous solution and model stratal water (MSW), chemical composition of which corresponds to water of Yabluniv oil and gas condensate field and is saturated with carbon oxide. It is shown that the corrosion rate of HS-90 steel in MSW is ~2 times higher than of GT-90 steel and in 3 times higher in NaCl solution. After exposure to this solution at 20°C for 72 h a uniform corrosion without pitting was observed on GT-90 steel surface, while on HS-90 steel – pitting corrosion was observed which developed on CANI. Inclusions density is ~ 6 pcs/mm². Branched corrosion damages propagate deep into the metal from inclusions.

Keywords: steel, model stratal water, corrosion, corrosion-active non-metallic inclusions, microstructure, pitting.

Vorobyova V. I. and Chyhyrynets O. E. Regularities and mechanism of anti-corrosion action of “green” inhibitors in neutral water environments.....90

By-products extracts of the fruits processing act as steel corrosion “pro-inhibitors in a neutral aqueous solution. As a result of the chemical transformation in the volume of the electrolyte, flavanol-anthocyanin and flavanol-aldehyde adducts are formed, which are adsorbed on the steel surface and block the access of corrosive medium to the metal surface, thereby causing secondary inhibition of the corrosion process. The polymerization products have a greater number of carbon atoms in the skeletal structure, located according to the aromatic scheme, polar and aromatic functional groups. Using quantum chemical methods, it was established that such structures have an increased ability to interact with the metal surface through oxygen heteroatoms and due to π -interaction.

Keywords: pro-inhibitors, natural secondary metabolites, adsorption, corrosion resistance.

- Hvozdetzkyi V. M., Student M. M., Pohrelyuk I. M., Student O. Z., and Zadorozhna Kh. R.* Mechanical properties and corrosion resistance of electric arc coatings made of flux cored wires.....98

Mechanical properties, chemical microheterogeneity and corrosion resistance of arc sprayed coatings made of cored wires (CW) with different charge compositions in a 3% aqueous NaCl solution were studied. The CW coatings are characterized by high heterogeneity in chemical composition, which distinguishes them from coatings obtained by spraying with solid wires. The chemical composition of molten drops of CW, crushed by an air jet, and forming a coating, varies significantly. This gradient is caused by incomplete fusion and mixing of the components of the charge and the steel shell of the CWs in the arc between their ends during arc spraying of coatings. To ensure the required amount of chromium, boron, and carbon in the melt drops, it is suggested to add certain powders to the CW charge. In particular, the addition of various powders to the CW charge (namely ferrochrome, boron carbide (B_4C), boron ferrochrome, ferroalloys (FeSi, FeMn) and self-flux PG-10N-01) makes the CW melt more homogeneous and creates conditions for the formation of eutectic between the components charge in CWs 90Cr17BMnSi and 90Cr19B3MnSi. This made it possible to obtain arc sprayed coatings with less microheterogeneity and high corrosion resistance, close to the corresponding characteristics of Cr18Ni9T stainless steel.

Keywords: *arc spraying, cored wires, coatings, microheterogeneity, microhardness, corrosion resistance.*

- Datsko B. M., Khlopyk O. P., Zin I. M., Sobodosh N. Yo., Holovchuk M. Ya., and Korniy S. A.* Protective properties of epoxy coating with zeolite-phosphate anti-corrosion pigment on aluminum alloy.....105

The effect of complex zeolite-phosphate anti-corrosion pigment obtained by mechanochemical modification of synthetic zeolite with calcium cations followed by liquid-phase deposition of zinc-phosphate phase on the protective properties of epoxy coating on aluminum alloy was investigated. Using the methods of electrochemical impedance spectroscopy, optical 3D profilometry, and tests in a humidity and heat chamber, it was established that the addition of such pigment to an epoxy coating provides a significant increase in its anti-corrosion properties. As a result, the metal charge transfer resistance increases and the amount of corrosion products in the sites of defects in the paint layer decreases.

Keywords: *aluminium alloy, epoxy coating, anti-corrosion complex zeolite-phosphate pigment, two-stage modification, electrochemical impedance spectroscopy, 3D profilometry.*

- Snizhnoi G. V. and Snizhnoi V. L.* Magnetometric assessment of the influence of chemical elements on corrosion of austenitic Fe–Cr–Ni alloys.....112

The role of individual (P, C, Mn, Cr) and combined ($Q_2 (S + P)$, $Q_4 (S + P + N + C)$, $Q_6 (S + P + N + C + Si + Mn)$, $Q_8 = Q (S + P + N + C + Si + Mn + Ni + Cr)$) elements in five melts of the 06XH28MДТ alloy was studied. A correlation was established between the corrosion rate K in chloride-containing environments and the specific magnetic susceptibility χ_0 of austenite (matrix) and percentage content of elements was established. A set of various graphical models of such dependences was revealed. The positive and negative role of individual and combined elements on the pitting resistance of melts was revealed.

Keywords: *austenite, corrosion, magnetic susceptibility, alloys, carbon, chromium.*

Kochubei V. V., Yaremchuk Ya. V., Yaholnyk S. G., and Danyliak M.-O. M. Sorption capacity of ultrasound-activated natural bentonite regarding copper ions.....119

The adsorption properties of bentonite from the Ilnytskyi deposit (Ukraine) regarding the copper ions under conditions when bentonite is activated with ultrasound are investigated. Based on the methods of X-ray diffraction and complex thermal analysis, it was determined that a bentonite fraction with a particle size $\leq 10 \cdot 10^{-6}$ m is mainly represented by Ca, Mg-montmorillonite. Ultrasound-activated bentonite was found to have an increased sorption capacity of copper ions. Saturation of natural bentonite and bentonite activated with Cu^{2+} ions occurs according to ion exchange mechanism. By modeling the experimental data of sorption isotherms using the Langmuir equation, the sorption characteristics of both natural and activated bentonites were compared. The prospects of the use of ultrasound-activated bentonite for wastewater treatment from heavy metal ions are shown.

Keywords: *bentonite, montmorillonite, sorbent, heavy metals, physicochemical methods of research, sorption isotherms.*

Masiuk A. S., Levytskyi V. Ye., Bilyi L. M., Levytskyi B. V., and Humenetskyi T. V. Regularities of obtaining highly adhesive filled polymer-monomer compositions....128

The influence of the nature of modified fillers (Ni- and Cu-containing polymer-silicate materials) on the kinetics of emulsion polymerization of methyl methacrylate in the presence of polyvinylpyrrolidone graft copolymers was investigated. The features of polymer formation of polymethylmethacrylate materials depending on the nature of the filler and process conditions are considered. It was found that the polymerization process occurs through several stages and is characterized by an induction period. The developed materials obtained on the basis of filled compositions are characterized by high surface hardness and Vicat softening point.

Keywords: *methylmethacrylate, polyvinylpyrrolidone, copolymer, polymer-silicate filler.*

IN SCIENTIFIC CIRCLES

The VII-th International Conference “Damage of materials during operation, methods of diagnostics and prediction”.....133