

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 57, № 1, 2021
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. ПОЛУТRENKO, В. І. ПОХМУРСЬКИЙ, Т. О. ПРИХНА, М. П. САВРУК, М. Д. САХНЕНКО, В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. З. СТУДЕНТ, М. С. ХОМА, В. Ф. ЧЕКУРИН, О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ, В. М. ФЕДІРКО, С. О. ФІРСТОВ, О. Т. ЦИРУЛЬНИК, П. В. ЯСНІЙ

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р. АКІД (Великобританія), Г. БОЛЗОН (Італія), М. ЕЛЬБОВДЖАІНІ (США–Канада), Е. ГДУТУС (Греція), В. КЕЙН (Індія), Т. ЛАГОДА (Польща), Г. ЛЕСЮК (Польща), П. МОРЕЙРА (Португалія), А. ПІХ (Німеччина), Г. ПЛЮВІНАЖ (Франція), Я. ПОКЛЮДА (Чехія), Г. ШМІТТ (Німеччина), А. СЕДМАК (Сербія), Х. ТОРІБІО (Іспанія), Л. ТОТ (Угорщина), П. ТРАМПУШ (Угорщина), В. ЯРТІСЬ (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, V. F. CHEKURIN, O. E. CHYHYRYNETS', V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRUL'NYK, P. V. YASNIY

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

Технічний редактор *І. В. Калинюк*

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

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

Підписано до друку 26.02.2021. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 050321 від 05.03.2021. 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", 2021

ЗМІСТ

<i>Лобанов Л. М., Пащин М. О., Міходуї О. Л., Черкашин О. В., Кондратенко І. П.</i> Вплив оброблення імпульсним електромагнетним полем на напружений стан алюмінієвого сплаву АМг6.....	5
--	---

Розроблено оригінальну експериментальну методику дослідження кінетики електродинамічного тиску $P_{РЕМФ}$ за оброблення імпульсним електромагнетним полем (ОІЕМП) металевих матеріалів. Використано пласкі диски $\varnothing 90$ mm і завтовшки $\delta = 1 \dots 5$ mm із алюмінієвого сплаву АМг6. Встановлено, що послаблення тиску імпульсного електромагнетного поля зі зменшенням товщини зразків обумовлено нерівномірним розподілом густини індукованих струмів за глибиною та зниженням активного об'єму електропровідного середовища. Показано, що в результаті ОІЕМП зразків за однакового режиму значення $P_{РЕМФ}$ підвищуються зі зростанням δ від 1 до 5 mm. Запропоновано підвищити ефективність ОІЕМП нанесенням додаткових шарів спорідненого матеріалу як струмопровідного екрану, за якого еквівалентна товщина буде оптимальною для досягнення найбільшого електромагнетного тиску $P_{РЕМФ}$. Для ефективної обробки тонких зразків необхідно зменшувати тривалість струмового імпульсу, що вимагає зміни параметрів розрядних контурів і потребує додаткових досліджень.

Ключові слова: імпульсне електромагнетне поле, напружено-деформований стан, сплав алюмінію, електромагнетний тиск.

<i>Адджамський С. В., Сазанішвілі З. В., Ткачов Ю. В., Кононенко Г. А.</i> Вплив часового інтервалу між нанесенням шарів за SLM-технологією на структуру і властивості сплаву INCONEL 718.....	13
--	----

Досліджено вплив одноразової зупинки під час виготовлення деталей за SLM-технологією на структуру і механічні властивості зразків зі сплаву Inconel 718, щоб встановити їх придатність до експлуатації. Зразки виготовлено на обладнанні різних виробників з зупинкою під час друку і без. Механічні властивості визначено під час випробувань на розтяг згідно з вимогами ГОСТ 1497 (ISO 6892-84) і встановлено, що за безперервного технологічного процесу і зі зупинкою під час виготовлення зразків вони поліпшуються.

Ключові слова: SLM-технологія, механічні властивості, мікроструктура, сплав Inconel 718, технологічний процес.

<i>Аболіхіна О. В., Знова В. А., Семенець О. І., Подрезов Ю. М.</i> Вплив мікроструктури сплавів системи Al–Zn–Mg–Cu на механізм руйнування авіаконструкцій.....	20
--	----

Досліджено високоміцні алюмінієві сплави В93Т1, В93пчТ3, 1933Т3 системи легування Al–Zn–Mg–Cu, які застосовують у високонавантажених елементах конструкцій літаків. Вивчено особливості їх мікроструктури та її вплив на опір руйнуванню під дією статичних і циклічних навантажень, а також агресивних середовищ.

Ключові слова: Al–Zn–Mg–Cu сплави, старіння, структура, сегрегації, зміцнювальні фази, корозійне розтріскування.

<i>Булик І. І., Кононюк О. П.</i> Властивості порошків індукційно витопленого сплаву на основі Sm_2Co_{17} залежно від умов помелу.....	28
--	----

Методами рентгенівського фазового аналізу та електронної сканівної мікроскопії досліджено вплив умов розмелювання індукційно витопленого сплаву на основі Sm_2Co_{17} на властивості порошків – фазово-структурний стан, анізотропію і

морфологію. Властивості порошків оцінено для подальшого їх здрібнення та спікання у водні за понижених температур методом диспропорціонування та рекомбінування. Встановлено, що з підвищенням частоти і тривалості помелу у водні і олеїновій кислоті збільшується дисперсність частинок порошків та кількість лускоподібних частинок, сплав частково аморфізується, а ступінь текстури знижується. Показано, що оптимальним є помел в олеїновій кислоті з частотою обертання камери млина $v = 300$ rpm і тривалістю $\tau = 60$ min.

Ключові слова: сплав КС25, помел, фазово-структурний стан, морфологія, анізотропні частинки.

Баглюк Г. А., Безимяний Ю. Г., Стасюк О. О. Вплив гарячого штампування на пружні властивості та характер анізотропії порошкових титаноматричних композитів.....35

Досліджено особливості структури та пружних характеристик порошкових титаноматричних композитів, армованих карбідом та боридом титану. Встановлено відмінність характеру залежності модуля пружності від вмісту високомодульного складника для спечених та гарячештампованих композитів. Виявлено, що модуль спечених матеріалів визначають як вміст армувальних додатків, так і поруватість сплаву, а для гарячештампованих він монотонно збільшується з підвищенням вмісту високомодульних складників. Встановлено, що для спечених композитів всіх складів та гарячештампованих, армованих карбідом титану, практично відсутня анізотропія, в той час як для гарячештампованих, армованих боридом титану, незначна (до 10%) анізотропія структури та пружних характеристик обумовлена переорієнтуванням голкоподібних часток монобориду титану в напрямку, перпендикулярному до напрямку прикладання активного зусилля під час гарячого штампування.

Ключові слова: титаноматричний композит, гаряче штампування, карбід, борид, модуль пружності, структура, анізотропія.

Погрелюк І. М., Лаврись С. М. Термічна стабільність деформованого поверхневого шару титанового сплаву VT22 в азотовмісному середовищі.....42

Досліджено термічну стабільність поверхневого деформованого шару на титановому сплаві VT22 у вакуумі та в середовищі молекулярного азоту. На основі мікроструктурного, дюрOMETричного та рентгеноструктурного аналізів підтверджено його термічну стабільність в умовах насичення азотом до температури 820°C. Виявлено, що під час нагрівання в азоті процеси рекристалізації деформаційно зміцненого шару пригнічуються через твердорозчинне зміцнення.

Ключові слова: титановий сплав VT22, обкочування, деформований поверхневий шар, азотовмісне середовище, термічна стабільність, структурно-фазовий стан.

Скальський В. Р., Рудацький Д. В., Шефер М. С., Канюк Ю. І. Вплив вагонних уповільнювачів на ріст тріщини у боковій рамі візка.....47

Запропоновано розрахункову методику оцінювання докритичного періоду росту втомної тріщини на поверхні бокової рами залізничного вантажного вагона за нерегулярного циклічно-змінного експлуатаційного навантаження із урахуванням перевантажень залізничних уповільнювачів на сортувальних гірках. Виявлено, що за таких перевантажень залишкова довговічність бокової рами із поверхневою тріщиною може зменшитись удвічі порівняно із нормованим режимом експлуатації без перевантажень.

Ключові слова: бокова рама, втомна тріщина, коефіцієнт інтенсивності напружень, функція розподілу імовірності, залишкова довговічність.

Завалій І. Ю., Березовець В. В., Ощановський І. В., Засадний Т. М.

Наноккомпозити Mg–TiN та Mg–ZrN як ефективні матеріали для акумулювання та генерування водню.....52

Синтезовано нанокристалічні композити на основі гідриду магнію методом механічного кульового помелу у водні порошку магнію з додатками TiN та ZrN. Показано, що механохімічний синтез гідриду магнію з названими додатками характеризується пришвидшеною сорбцією водню. Досліджено каталітичну активність додатків TiN та ZrN під час десорбції водню з MgH₂. Розраховано їх енергії активації за кривими термодесорбції водню у вакуумі з різною швидкістю нагрівання: 135 kJ/mol H₂ для композита з ZrN (дуже близька до такої для чистого MgH₂) та значно менша (65 kJ/mol H₂) для композита з додатком TiN. Синтезовані наноккомпозити гідриду магнію з додатками TiN та ZrN протестовані як матеріали для пристроїв генерування водню гідролізом. Показано, що за присутності каталізатора MgCl₂ композит з ZrN володіє дещо вишим ступенем конверсії, ніж чистий MgH₂.

Ключові слова: *гідрид магнію, нітрид титану, нітрид цирконію, сорбція-десорбція водню, механохімічний помел, гідроліз.*

Берднікова О. М., Максимов С. Ю., Прилипко О. О., Алексеєнко Т. О.,

Половецький Є. В., Алексеєнко І. І. Вплив зовнішнього електромагнетного поля на структуру з'єднань під час зварювання під водою.....60

Досліджено вплив зовнішнього електромагнетного поля під час зварювання під водою на мікроструктуру металу зварних з'єднань низьколегованої сталі. З використанням світлової та трансмісійної електронної мікроскопії вивчено мікроструктуру, фазовий склад і особливості дислокаційної структури металу зварних з'єднань, отриманих без та із застосуванням електромагнетного поля. Проаналізовано вплив структурних чинників на дислокаційному рівні на локальні внутрішні напруження, які визначають зони локалізації деформації в структурах верхнього та нижнього бейніту в металі зварних з'єднань. Встановлено умови одержання якісних зварних з'єднань під час зварювання низьколегованих сталей під водою, які забезпечують їх тріщиностійкість.

Ключові слова: *підводне зварювання, магнетне поле, зварні з'єднання, зона термічного впливу, мікроструктура, фазовий склад, дислокації, локальні внутрішні напруження.*

Студент О. З., Кречковська Г. В., Свірська Л. М., Соловей П. Р.

Відновлення властивостей теплотривкої сталі після тривалої експлуатації в паровій турбіні.....69

Проаналізовано особливості руйнування, структуру та механічні властивості теплотривкої сталі 25X2M1Ф після 21·10⁴ h експлуатації за жорстких температурно-силових умов роботи елементів кріплення корпусу циліндра високого тиску парової турбіни ТЕС. Оптимізовано режим її повторного термічного оброблення та продемонстровано відновлення твердості, міцності та пластичності до регламентованих рівнів і, що найважливіше, суттєве підвищення її ударної в'язкості. Таким чином, доведено можливість відновити механічні властивості і продовжити ресурс шпильок після тривалої експлуатації. Побудовано кореляційну залежність між ударною в'язкістю сталі і розміром зерна, яку запропоновано використовувати для діагностування зміни поточного технічного стану металу під час експлуатації.

Ключові слова: *теплотривка сталь, структура сталі, механічні властивості, термічне оброблення, відновлення властивостей.*

Журавель І. М., Мичуда Л. З. Використання закону Мандельброта–Ципфа для кількісного оцінювання усередненого розміру зерен сталі.....78

Запропоновано метод комп'ютеризованого обчислення усередненого діаметра зерен мікроструктури сталі за її металографічним зображенням, який враховує розподіл зерен за площею, що описує закон Мандельброта–Ципфа, забезпечуючи так вищу достовірність результатів проти одержаних подібними відомими підходами. Це важливо під час розв'язування задач неруйнівного контролю та вирішення проблем довговічності металоконструкцій.

Ключові слова: металографічне зображення, усереднений діаметр зерна металу, закон Мандельброта–Ципфа, неруйнівний контроль.

Čatagić I., Jović S., Makragić S., Živković P., Burzić Z. Вплив температури та часу експлуатації на втомну міцність і мікроструктуру зварних з'єднань сталі А-387Gr.B.....83

Проаналізовано вплив температури і часу експлуатації на опір руйнуванню компонентів зварних з'єднань неексплуатованої та експлуатованої низьколегованої сталі марки А-387Gr.B (типу Cr–Mo) за дії динамічного навантаження і зміни механічних властивостей. Частину експлуатованого металу оболонки реактора замінено новим матеріалом. Побудовано криві Велера: визначено опір матеріалу зародженню тріщини за кімнатної і робочої температур; виконано випробування зварного з'єднання і мікроструктурний аналіз вихідного металу зварного шва і зон термічного впливу. Порівняно опір руйнуванню, а також визначено мікроструктурні зміни характерних ділянок зварного з'єднання, і обґрунтовано обрану технологію зварювання.

Ключові слова: тріщина, низьколеговані сталі, зварні з'єднання, втомна міцність, механічні властивості.

Хома М. С., Винар В. А., Дацко Б. М., Івашків В. Р., Чучман М. Р., Максїшко Ю. Я., Буклів Р. Л. Корозія та механічне руйнування сталей для обсадних труб за впливу підвищених температур та тиску вуглекислого газу.....89

Досліджено вплив температури та тиску вуглекислого газу на корозію та корозійно-механічне руйнування сталей класів міцності Q-125 та P-110 у модельній пластовій воді (МПВ). Електрохімічними дослідженнями виявлено, що на початку експозиції у МПВ при 25°C і тиску $P_{CO_2} = 0,1$ МПа корозія протікає за катодного контролю з водневою деполаризацією. Гравіметричні випробування в автоклаві засвідчили, що за зростання температури до 60°C та тиску до 6 МПа швидкість корозії цих сталей більша, ніж за стандартних умов. Встановлено, що границі плинності та міцності сталей у повітрі та МПВ за тиску $P_{CO_2} = 0,1$ МПа відрізняються незначно, а відносні видовження та звуження зменшуються суттєвіше для сталі Q-125. Корозивне середовище мало впливає на пластичні властивості сталі P-110. Фрактографічний аналіз виявив, що у повітрі їй притаманне в'язке руйнування, а сталі Q-125 – в'язко-крихке. За впливу МПВ за $P_{CO_2} = 0,1$ МПа у зламах зростає вміст складників крихкого руйнування.

Ключові слова: сталь, модельна пластова вода, вуглекислий газ, корозія, механічні властивості, структура, руйнування.

Воробйова В. І., Чигиринець О. Е., Фатєєв Ю. Ф. Оцінка протикорозійної

ефективності екстракту вичавок абрикоса в нейтральному водному середовищі.....95

Як новий екологічно безпечний інгібітор корозії сталі в нейтральному водному середовищі досліджено екстракт вичавок абрикоса (ЕВА). Встановлено, що ефективність його протикорозійного захисту у 0,5 М розчині NaCl зростає з підвищенням концентрації ЕВА та часу експозиції. Масометричними та електрохімічними методами виявлено, що плівка на поверхні сталі формується поступово з часом (~48 h), її товщина – понад 800 nm. Морфологію захисної плівки вивчено методами растрової електронної та атомно-силової мікроскопії. Хімічний склад досліджено методом ІЧ-спектроскопії.

Ключові слова: корозія, сталь, “зелені” інгібітори, ізопропанольний екстракт, вичавки абрикоса.

Корній С. А., Зінь І. М., Хлопик О. П., Головчук М. Я., Даниляк М.-О. М., Галайчак С. А. Модифікування синтетичного цеоліту катіонами металів для підвищення його протикорозійної ефективності.....103

Обґрунтовано вибір катіонів Ca^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} для йонообмінного синтезу комплексних протикорозійних пігментів на основі синтетичного цеоліту. Встановлено ступінь та особливості впливу природи цих катіонів на структуру, морфологію та дисперсність цеоліту, оцінено його йонообмінну ємність. Відпрацьовано методичні підходи для рідкофазної йонообмінної модифікації цеоліту та визначено її оптимальні умови – температуру та тривалість процесу, тип солей металів. Виявлено, що цеоліт, модифікований йонами двовалентних металів, – перспективний базовий матеріал для нових протикорозійних екологічно безпечних пігментів для лакофарбових ґрунтувальних покриттів.

Ключові слова: цеоліт, двовалентні метали, сорбція, десорбція, протикорозійний екологічно безпечний пігмент.

Сиза О. І., Кващук Ю. В., Корольов О. О., Дмитрієв В. А., Павленко А. Г., Савченко О. М. Корозія конструкційних сталей за дії N, S-вмісних мінеральних добрив.....111

Встановлено, що водні розчини N, S-вмісних мінеральних добрив спричиняють інтенсивні корозійні пошкодження сталей 20 та Ст3, що впливає на термін експлуатації конструкційних елементів техніки загального і спеціального призначення. Швидкість корозії сталі зростає у 6,9–11,3 разів порівняно з корозією у водогінній воді. Визначено, що зі збільшенням вмісту сульфуру у складі добрива до 5,32...5,34% і зниженням частки нітрогену корозійне руйнування сталі зменшується. Запропоновано підвищити протикорозійний захист сталевих конструкцій та техніки у середовищі N, S-вмісних мінеральних добрив, використавши екологічно безпечний інгібітор РС-ЧДТУ, виготовлений на основі продуктів переробки рослинної сировини України.

Ключові слова: корозія, N, S-вмісні мінеральні добрива, рослинний інгібітор.

Ming Wei, Чепіль О. Я., Гембара Н. Т. Комп’ютерне моделювання впливу наводнювання на довговічність елементів труб.....119

Побудовано математичну модель для оцінювання впливу наводнювання і корозійного розтріскування на довговічність конструктивних елементів. За використання розроблених комп’ютерних програм відтворено наводнення і деформування елементів конструкцій. Визначено довговічність прямолінійної ділянки теплообмінних труб парогенераторів атомних електростанцій за експлуатаційних умов.

Ключові слова: *корозивне середовище, повзучість, енергія деформування, пошкодження, довговічність, водневмісне середовище.*

Скачков В. О., Іванов В. І., Бережна О. Р., Нестеренко Т. М.

Функціональні характеристики піролітичного графіту..... 125

Виконано експериментальні дослідження функціональних характеристик об'ємного та пластинчатого піролітичного графіту. Встановлено вплив швидкості потоку реакційних газів під час осадження високотемпературного піролітичного графіту на швидкість його зростання, міжплощинну відстань і висоту кристалітів. За експериментальними результатами побудовано залежності границі міцності на згин від мікроструктурних деформацій, міжплощинної відстані та висоти кристалітів. Досліджено ерозійну стійкість піролітичного графіту у високоенергетичних газових потоках за відновного, окиснювального та нейтрального потенціалів.

Ключові слова: *піролітичний графіт, мікроструктурна деформація, міжплощинна відстань, висота кристалітів, границя міцності на вигин, ерозійна стійкість.*

CONTENTS

Lobanov L. M., Pashchin M. O., Mikhodui O. L., Cherkashyn O. V., and Kondratenko I. P. The influence of pulse electromagnetic field treatment on the stress state of AMg6 aluminum alloy.....5

The original experimental technique for the study of kinetics the electrodynamic pressure force P_{PEMF} under treatment by pulsed electromagnetic field (TPEMF) of metallic materials is developed. As a subject of research flat disks of AMg6 aluminum alloy with a diameter of 90 mm and a thickness $\delta = 1...5$ mm are used. It is found that the pressure force of the pulsed electromagnetic field is reduced with the sample thickness decrease due to the uneven distribution of the density of induced currents in depth and the decrease of the active volume of the conductive medium. It is shown that as a result of the TPEMF of samples in the same mode, the P_{PEMF} values increase with increasing δ from 1 to 5 mm. The method of increasing the efficiency of the TPEMF is proposed by installing additional layers of related material, at which the equivalent thickness will be optimal to achieve the highest value of the electromagnetic pressure force P_{PEMF} . For the efficient processing of thin samples, it is necessary to reduce the duration of the current pulse, which requires a change in the parameters of the discharge circuits and requires additional research.

Keywords: *pulsed electromagnetic field, stress-strain state, aluminum alloy, electromagnetic pressure.*

Adjamsky S. V., Sazanishvili Z. V., Tkachov Yu. V., and Kononenko G. A. The influence of time interval between application of layers by SLM-technology on the structure and properties of INCONEL 718 alloy.....13

The effect of a single stop in the process of production of parts by SLM-technology on the structure and mechanical properties of Inconel 718 alloy samples is investigated to determine the suitability of parts with such a feature for operation. Samples are made on the equipment of different manufacturers with a stop during printing and without it. Mechanical properties are determined under tensile tests in accordance with the requirements of standard ГОСТ 1497 (ISO 6892-84). It is established that the mechanical properties of samples by a continuous process and a stop during manufacture are improved.

Keywords: *SLM-technology, mechanical properties, microstructure, Inconel 718 alloy, technological process.*

Abolikhina O. V., Znova V. A., Semenets O. I., and Podrezov Yu. M. The influence of microstructure of Al–Zn–Mg–Cu alloys on fracture mechanism of aircraft constructions.....20

High-strength aluminum alloys B93T1, B93пчT3, 1933T3 of the Al–Zn–Mg–Cu alloying system, used in aircraft structural elements, subjected to high concentration of stresses, are investigated. The peculiarities of the alloys microstructure and its influence on the resistance to crack propagation under the action of long-term static and cyclic loads and also aggressive media are studied.

Keywords: *Al–Zn–Mg–Cu alloys, ageing, structure, segregations, strengthening phases, stress corrosion cracking.*

Bulyk I. I. and Kononiuk O. P. Properties of powders of induction-melted $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ based alloy depending on milling conditions.....28

The influence of milling conditions of induction melted $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ based alloy on the powder properties – phase-structural state, anisotropy and morphology is studied by

X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy. The powder properties are evaluated according to requirements for further grinding of their microstructure and sintering in hydrogen at low temperatures by the disproportionation and recombination method. It is established that with increasing frequency and duration of milling in hydrogen and oleic acid the dispersion of powder particles and the number of flake-shape particles increases, alloy becomes partially amorphized, and the degree of texture decreases. It is shown that the milling in oleic acid with $v = 300$ rpm and $\tau = 60$ min is the optimum condition.

Keywords: *KC25 alloy, grinding, phase-structural state, morphology, anisotropic particles.*

Bagliuk G. A., Bezimyanniy Yu. G., and Stasiuk O. O. The influence of hot stamping on elastic properties and anisotropy of titanium-based powder composites.....35

The peculiarities of the structure and elastic characteristics of powder titanium-matrix composites reinforced with titanium carbide and boride is studied. The difference in the nature of the dependence of the modulus of elasticity on the content of the high-modulus component for sintered and hot-forged composites is established. It is found that the modulus of sintered materials determines both the content of reinforcing additives and the porosity of the alloy, and for hot-forged composites it increases monotonically with increasing content of high-modulus components. It is found that for sintered composites of all compositions and hot-forged ones reinforced with titanium carbide that there is almost no anisotropy, while for hot-forged titanium boride reinforced materials insignificant (up to 10%) anisotropy of structure and elastic characteristics is due to reorientation of the needle-shaped particles of titanium monoboride in the direction perpendicular to the direction of application of active force during hot forging.

Keywords: *titanium matrix composite, hot forging, carbide, boride, modulus of elasticity, structure, anisotropy.*

Pohrelyuk I. M. and Lavrys S. M. Thermal stability of the deformed surface layer of Ti-5Al-5Mo-5V-1.5Cu-Fe titanium alloy in nitrogen-containing medium.....42

Thermal stability of the surface deformed layer on Ti-5Al-5Mo-5V-1.5Cu-Fe titanium alloy in vacuum and in molecular nitrogen was studied. Based on microstructural, durometric and X-ray diffraction analyses, thermal stability under conditions of nitrogen saturation up to a temperature of 820°C was confirmed. It was shown that when heated in a nitrogen medium, the recrystallization of the deformed strengthened layer was retarded due to the solid solution strengthening by nitrogen.

Keywords: *BT22 titanium alloy, ball burnishing, deformed surface layer, nitrogen-containing medium, thermal stability, phase-structural state.*

Skalskyi V. R., Rudavskiy D. V., Shefer M. S., and Kanyuk Yu. I. Effect of car retarders on crack growth at the side frame of freight car bogie.....47

A calculation method for estimating the subcritical period of fatigue crack growth on the surface of the side frame of a railway freight car under irregular cyclic-variable operating load taking into account the overloads of railway decelerators on the gravity yard is proposed. It is found that under such overloads the residual durability of the side frame with a surface crack can be reduced by half compared to the normalized mode of operation without overloads.

Keywords: *side frame, fatigue crack, stress intensity factor, probability distribution function, residual life.*

<i>Zavaliy I. Yu., Berezovets V. V., Oshchapovsky I. V., and Zasadnyy T. M.</i> Mg–TiN and Mg–ZrN nanocomposites as efficient hydrogen storage and generation materials.....	52
--	----

Magnesium hydride-based nanocomposites are synthesized by mechanical ball milling in hydrogen of magnesium powder with TiN and ZrN additives. It is that the mechanochemical synthesis of the magnesium hydride with the mentioned additives is characterized by accelerated hydrogen absorption rate. The catalytic activity of TiN and ZrN additives on the hydrogen desorption processes from MgH₂ is studied. Their activation energies are calculated from the thermal desorption curves with different heating rates: 135 kJ/mol H₂ for composite with ZrN additive (very close to that for pure MgH₂) and much less (65 kJ/mol H₂) for a composite with TiN. The synthesized nanocomposites of magnesium hydride with TiN and ZrN additives are tested as materials for hydrogen generation by hydrolysis. It is shown that in the presence of the MgCl₂ catalyst, the ZrN composite has a slightly higher degree of conversion than pure MgH₂.

Keywords: *magnesium hydride, titanium nitride, zirconium nitride, hydrogen sorption-desorption, mechanochemical grinding, hydrolysis.*

<i>Berdnikova O. M., Maksimov S. Yu., Prilipko O. O., Alekseienco T. O., Polovetskyi Ye. V., and Alekseienco I. I.</i> The influence of external electromagnetic field on welded joints structure during underwater welding.....	60
---	----

The influence of the external electromagnetic field during underwater welding on the metal microstructure of low-alloy steel welds is investigated. Using light and transmission electron microscopy, the microstructure, phase composition and the features of the dislocation structure in the metal of welded joints obtained without application and with the use of electromagnetic field are studied. At the dislocation level, the influence of structural factors on local internal stresses, which determine the localization zones of deformation in the structures of upper and lower bainite in the metal welded joints, is analyzed. The conditions for obtaining high-quality welded joints during underwater welding of low-alloy steels, which ensures their crack resistance, are established.

Keywords: *underwater welding, magnetic field, welded joints, heat-affected zone, microstructure, phase composition, dislocations, local internal stresses.*

<i>Student O. Z., Krechkovska H. V., Svirska L. M., and Solovei P. R.</i> Restoration of heat-resistant steel properties after long-term operation in a steam pipeline.....	69
---	----

The fracture features, structure and mechanical properties of 25X2M1Φ heat-resistant steel after 21·10⁴ h of operation in severe temperature-force operation conditions of the fastening elements of the high-pressure cylinder body of a steam turbine of a TPP are analyzed. The mode of the reheat thermal treatment of exploited steel has been optimized. The restoration of hardness, strength and ductility to the regulated levels and, most importantly, a significant increase in its impact toughness is demonstrated. Thus, the ability of restoring the mechanical properties and extending the studs lifetime after their long-term operation has been proved. The correlation dependence between is the impact toughness and the grain size in steel structure is plotted, which proposed to be used to diagnostic the changes in the current technical state of the steel during its long-term operation.

Keywords: *heat-resistant steel, steel structure, mechanical properties, reheat thermal treatment, restoration of steel properties.*

<i>Zhuravel I. M. and Michuda L. Z. Use of the Mandelbrot–Zipf law for quantitative assessment of averaged grain size of steel</i>	78
--	----

A method of computerized calculation of the average grain diameter of the metal microstructure based on its metallographic images that considers grain distribution by area, described by the Mandelbrot–Zipf law, is proposed. This method provides a higher reliability of calculations obtained by known approaches. This is very important in solving problems of non-destructive testing and durability of metal structures.

Keywords: *metallographic image, average metal grain diameter, Mandelbrot–Zipf law, non-destructive testing.*

<i>Čamagić I., Jović S., Makragić S., Živković P., and Burzić Z. Influence of temperature and exploitation time on fatigue strength and microstructure of welded joints of A-387Gr.B steel.....</i>	83
---	----

The main goal of the paper was to analyze the influence of temperature and exploitation time on fracture resistance of welded joint constituents of a new and exploited low-alloyed A-387Gr.B steel (Cr–Mo type) under action of dynamic load and change of mechanical properties. The exploited parent metal, as a part of a reactor mantle, is in the damage repair stage, i.e. a part of its mantle is being replaced with a new material. Wohler’s curves were constructed, i.e. fatigue strength as material resistance to crack initiation was determined at the room and working temperature, testing of welded joint and microstructural analysis of parent metal, weld metal and heat affected zones was carried out. Based on the testing results, analysis of the fracture resistance as well as the microstructural changes represent the comparison of values obtained for characteristic areas of the welded joint and the justification of the selected welding technology.

Keywords: *crack, low-alloyed steels, welded joints, fatigue strength, mechanical properties.*

<i>Khoma M. S., Vynar V. A., Datsko B. M., Ivashkiv V. R., Chuchman M. R., Maksishko Yu. Ya., and Bukliv R. L. Corrosion and mechanical fracture of steel for casing pipes under influence of higher temperatures and carbon dioxide pressure.....</i>	89
--	----

The influence of carbon dioxide temperature and pressure on corrosion and corrosion-mechanical fracture of steel elements of two steels of grades Q-125 and P-110 in model stratal water (MSW) are studied. Electrochemical studies show that at the beginning of exposure to MSW and at $t = 25^{\circ}\text{C}$ and $P_{\text{CO}_2} = 0.1 \text{ MPa}$ corrosion occurs under cathodic control with hydrogen depolarization. Gravimetric studies in the autoclave show that with increasing temperature and pressure to $t = 60^{\circ}\text{C}$ and $P_{\text{CO}_2} = 6 \text{ MPa}$, the corrosion rate of these steels is higher than under standard conditions. It is found that the yield strength and strength of P-110 and Q-125 steels in air and in model stratal water at $P_{\text{CO}_2} = 0.1 \text{ MPa}$ differs slightly, and the relative elongations and narrowings decrease more significantly for Q-125 steel. For P-110 steel the corrosive environment has little effect on the plastic properties. Fractographic analysis shows that in air it is characterized by viscous fracture and for Q-125 steel mixed – viscous-brittle fracture. Under the influence of MSW at $P_{\text{CO}_2} = 0.1 \text{ MPa}$ the component of brittle fracture in fractures increases.

Keywords: *steel, model stratal water, carbon dioxide, corrosion, mechanical properties, structure, fracture.*

- Vorobyova V. I., Chygyrynets O. E., and Fateev Y. F. Evaluation of the anti-corrosion efficiency of apricot pomace extract in neutral aqueous medium.....95

An apricot pomace extract (APE) has been studied as a novel and eco-friendly inhibitor of steel corrosion in sodium chloride solution. It has been found that the effectiveness of corrosion protection of steel in the 0.5 M NaCl solution with APE increases with its concentration and immersion time. Gravimetric measurements and electrochemical methods show that the process of film formation on the steel surface has a prolonged character (~48 h), the thickness of the protective film is more than 800 nm. The morphology of the protective film is investigated by scanning electron microscopy and atomic force microscopy (AFM). The chemical composition of the protective film is investigated by FT-IR spectroscopy.

Keywords: *corrosion, steel, "green" inhibitor, isopropanol extract, apricot pomace.*

- Korniy S. A., Zin I. M., Khlopyk O. P., Holovchuk M. Ya., Danyliak M.-O. M., and Halaichak S. A. Modification of synthetic zeolite with metal cations to increase its corrosion efficiency.....103

The choice of Ca^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} cations for ion exchange synthesis of complex anti-corrosive synthetic zeolite-based pigments is substantiated. The degree and features of the influence of the nature of the mentioned cations on structure, morphology dispersion and the ion-exchange capacity of the zeolite are established. Methodical approaches to liquid-phase ion exchange modification of zeolite are developed. The optimal conditions of zeolite modification – temperature and time exposure of the process and type of metal salts are determined. According to obtained results it is shown that zeolite modified by divalent metal ions is a promising base material for the development of new anti-corrosion environmentally-friendly pigments for paint primers and varnishes.

Keywords: *zeolite, divalent metals, sorption, desorption, anti-corrosion environmentally-friendly pigment.*

- Sizaya O. I., Kvashuk Yu. V., Korolyov O. O., Dmytriiev V. A., Pavlenko A. H., and Savchenko O. N. Structural steels corrosion under action of N, S-containing mineral fertilizers.....111

It is established that aqueous solutions of N, S-containing mineral fertilizers cause intensive corrosion damage of steels 20 and Ст3, which affects the service life of communications and structural elements of general and special purpose equipment. The corrosion rate of steel increases in 6.9–11.3 times compared to corrosion in tap water. It is determined that with the increase of the sulfur content in the fertilizer composition to 5.32...5.34% and the decrease of the Nitrogen content, the corrosion fracture of steel decreases. It is proposed to increase the corrosion protection of steel communications, structures and equipment in the environment of N, S-containing mineral fertilizers through the use of environmentally friendly inhibitor PC-ЧДТУ, made on the basis of processed vegetable raw materials of Ukraine.

Key words: *corrosion, N, S-containing mineral fertilizers, plant inhibitor.*

- Ming Wei, Chepil O. Ya., and Hembara N. T. Computer modeling of the influence of hydrogen saturation on the durability of pipe elements.....119

A mathematical model has been built to assess the effect of hydrogen saturation and stress corrosion cracking on the durability of structural elements. Using the developed computer programs, the process of hydrogenation and deformation of structural elements is reproduced. The indicators of the durability of a straight section of heat exchange tubes of steam generators of nuclear power plants for operating conditions have been determined.

Keywords: *corrosive environment, creep, deformation energy, damage, durability, hydrogen-containing medium.*

Skachkov V. O., Ivanov V. I., Berezhna O. R., and Nesterenko T. M. Functional characteristics of pyrolytic graphite.....125

Structural features of lamellar and volume pyrolytic graphite are considered. The influence of reaction gas flow rate during deposition of high temperature pyrolytic graphite in the flow-type thermochemical reactors on its growth rate, size of interplanar spacing and height of crystallines is determined. Dependences of ultimate bending strength of pyrolytic graphite on microstructural deformations, interplanar spacing and height of crystallites are obtained. Erosion resistance of pyrolytic graphite in high-power gas flows in the conditions of reducing, oxidizing and neutral potentials is investigated.

Keywords: *pyrolytic graphite, microstructural deformation, interplanar distance, height of crystallites, bending strength, erosion resistance.*