

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 53, № 1, 2017  
січень – лютий  
ЛЬВІВ

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

*В. В. ПАНАСЮК* (головний редактор), *В. М. ФЕДІРКО* (заст. головного редактора), *Р. Р. КОКОТ* (відповідальний секретар), *О. Є. АНДРЕЙКІВ*, *С. А. БИЧКОВ*, *Л. О. ВАСИЛЕЧКО*, *Р. Є. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ*, *І. М. ДМИТРАХ*, *І. Ю. ЗАВАЛІЙ*, *І. М. ЗІНЬ*, *Г. С. КІТ*, *Р. М. КУШНІР*, *Л. М. ЛОБАНОВ*, *З. Т. НАЗАРЧУК*, *Г. М. НИКИФОРЧИН*, *І. В. ОРІНЯК*, *О. П. ОСТАШ*, *В. І. ПОХМУРСЬКИЙ*, *О. В. РЕШЕТНЯК*, *М. П. САВРУК*, *З. А. СТОЦЬКО*, *О. В. СУБЕРЛЯК*, *Г. Т. СУЛИМ*, *В. В. ФЕДОРОВ*, *С. О. ФІРСТОВ*, *М. С. ХОМА*, *П. В. ЯСНІЙ*

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

*Р. АКІД* (Великобританія), *С. ВОДЕНІЧАРОВ* (Болгарія), *І.-Р. ГАРРІС* (Великобританія), *Г. ГЛІНКА* (Канада), *В. ДІЦЕЛЬ* (Німеччина), *О. М. ЛОКОЩЕНКО* (Росія), *Е. ЛУНАРСЬКА* (Польща), *М. А. МАХУТОВ* (Росія), *М. Ф. МОРОЗОВ* (Росія), *А. НЕЙМІЦ* (Польща), *Дж.-Ф. НОТТ* (Великобританія), *Г. ПЛЮВІНАЖ* (Франція), *Я. ПОКЛЮДА* (Чехія), *Р.-О. РІЧІ* (США), *Д.-М.-Р. ТЕПЛІН* (Великобританія), *Л. ТОТ* (Угорщина), *Є. ТОРІБІО* (Іспанія)

## EDITORIAL BOARD

*V. V. PANASYUK* (Editor-in-Chief), *V. M. FEDIRKO* (Deputy Editor-in-Chief), *R. R. KOKOT* (Secretary), *O. Ye. ANDREIKIV*, *S. A. BYCHKOV*, *I. M. DMYTRAKH*, *V. V. FEDOROV*, *S. O. FIRSTOV*, *R. Ye. GLADYSHEVSKII*, *M. S. KHOMA*, *H. S. KIT*, *R. M. KUSHNIR*, *L. M. LOBANOV*, *Z. T. NAZARCHUK*, *H. M. NYKYFORCHYN*, *I. V. ORYNIAK*, *O. P. OSTASH*, *V. I. POKHMURSKII*, *O. V. RESHETNYAK*, *M. P. SAVRUK*, *Z. A. STOTSKO*, *O. V. SUBERLYAK*, *H. T. SULYM*, *L. O. VASYLECHKO*, *P. V. YASNII*, *I. Yu. ZAVALIY*, *I. M. ZIN'*

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

*R. AKID* (Great Britain), *W. DIETZEL* (Germany), *I. R. HARRIS* (Great Britain), *H. HLINKA* (Canada), *J. F. KNOTT* (Great Britain), *A. M. LOKOSHCHENKO* (Russia), *E. LUNARSKA* (Poland), *N. A. MAKHUTOV* (Russia), *N. F. MOROZOV* (Russia), *A. NEIMITZ* (Poland), *G. PLUVINAGE* (France), *Ya. POKLUDA* (Czech Republic), *R. O. RITCHIE* (USA), *D. M. R. TAPLIN* (Great Britain), *J. TORIBIO* (Spain), *L. TÓTH* (Hungary), *S. VODENICHAROV* (Bulgaria)

Відповідальний за випуск чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф. В. М. Федірко  
Responsible for issue corr.-member NASU, Dr. (Engn.), Prof. V. M. Fedirko

**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: pcmm@ipm.lviv.ua

**WWW-address:** <http://www.ipm.lviv.ua/journal/Journal.htm>

**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: pcmm@ipm.lviv.ua

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

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

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 02.03.2017. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 060317 від 06.03.2017. Ціна договірна.  
Реєстраційне свідоцтво серія КВ №203 від 10.11.93

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

---

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,  
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2017

## ЗМІСТ

<i>Лобанов Л. М., Пащин М. О., Міходуй О. Л., Черкашин О. В.</i> Вплив параметрів електродинамічних дій на напружений стан зварних з'єднань листів зі сплаву АМгб.....	7
<i>Книш В. В., Соловей С. О., Кадишев А. А., Ниркова Л. І., Осадчук С. О.</i> Вплив високочастотного проковування на корозійну втому зварних з'єднань.....	12
<i>Лисенков Е. А., Гаголкіна З. О., Лобко С. В., Ткаліч М. Г., Кленко В. В.</i> Вплив вуглецевих нанотрубок на механічні властивості сітчастих поліуретанів.....	18
<i>Підгайчук С. Я., Яворська Н. М., Абрамов О. О.</i> Визначення оптимальних режимів відпаалу композиційних електролітичних покривів на основі нікелю.....	25
<i>Цеханов Ю. О., Шейкін С. Є., Погрелюк І. М., Каріх Д. В., Сергач Д. А.</i> Модифікування поверхні куль з титану ВТ1-0 комбінуванням холодного пластичного деформування і термодифузійного насичення азотом.....	29
<i>Губенко С. І.</i> Вплив лазерної обробки на міцність міжфазних меж вклучення–матриця сталі під час пластичної деформації.....	35
<i>Глотка О. А., Мороз О. М.</i> Вплив розподілу карбідів на зношування сталі 110Х18М-ШД (440°С).....	40
<i>Штефан В. В., Єпіфанова А. С., Ковальова А. А., Байрачний Б. І.</i> Електролітичне осадження високотвердих покривів сплаву кобальт–молібден.....	44
<i>Остап О. П., Чепіль Р. В., Грибовська В. І.</i> Про визначальні параметри роботоздатності пружних клем рейкових скріплень.....	50
<i>Букетов А. В., Сапронов О. О., Браїло М. В., Зінченко Д. О., Нігалатій В. Д.</i> Дослідження гідроабразивного зношування епоксидних композитів з двокомпонентним наповнювачем.....	56
<i>Єфременко В. Г., Зурнаджи В. І., Чабак Ю. Г., Цветкова О. В., Джеренова А. В.</i> Застосування Q-n-P-обробки для підвищення зносотривкості низьколегованої сталі з 0,75% С.....	61
<i>Mahmood R. M., Akinlabi E. T.</i> Вплив швидкості сканувальної обробки на мікроструктуру, мікротвердість, зношування та корозію композиту Ti–6Al–4V/TiC, отриманого лазерним осадженням.....	69
<i>Yuanli Di, Мольков Ю. В., Ленковський Т. М., Ковальчук Р. А.</i> Аналіз напружено-деформованого стану зони передруйнування за двовісного навантаження пластини з центральною тріщиною.....	78
<i>Острик В. І.</i> Закрита півнескінченна тріщина на межі пружної смуги і жорсткої стінки.....	84
<i>Гембара О. В., Чепіль О. Я., Гембара Т. В.</i> Застосування енергетичного підходу до оцінювання роботоздатності барабана парового котла за термоцикування та наводнювання.....	90
<i>Марущак П. О., Коноваленко І. В., Чаусов М. Г., Біцак Р. Т., Пилипенко А. П.</i> Оцінка пошкодженості матеріалу за результатами тензометрії та комп'ютерного аналізу стану поверхневого деформаційного рельєфу.....	96
<i>Акунья Гонсалес Н. А., Білій О. Л., Гонзалес Санчес Х. А.</i> Моніторинг критичної довжини тріщиноподібного дефекту у пластинах лікувального цементу за різної їх геометрії.....	102
<i>Знак З. О., Зінь О. І.</i> Зниження корозійної агресивності рідких відходів виробництва хлору та каустичної соди.....	108
<b>У НАУКОВИХ КОЛАХ</b>	
<i>Стацук М. Г.</i> Проблеми механіки крихкого руйнування.....	113
<i>Лук'яненко О. Г.</i> Проблеми матеріалознавства та інженерії поверхні металів.....	115
<i>Червінська Н. Р.</i> Корозія. Захист металів від корозії.....	118

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Миходуй О. Л., Черкашин А. В.</i> Влияние параметров электродинамических воздействий на напряженное состояние сварных соединений листов из сплава АМгб .....	7
<i>Кныш В. В., Соловей С. А., Кадышев А. А., Ныркова Л. И., Осадчук С. А.</i> Влияние высокочастотной проковки на коррозионную усталость сварных соединений .....	12
<i>Лисенков Э. А., Гаголкина З. А., Лобко Е. В., Ткалич М. Г., Клепко В. В.</i> Влияние углеродных нанотрубок на механические свойства сетчатых полиуретанов .....	18
<i>Пидгайчук С. Я., Яворская Н. М., Абрамов А. А.</i> Определение оптимальных режимов отжига композиционных электролитических покрытий на основе никеля .....	25
<i>Цеханов Ю. А., Шейкин С. Е., Погрелюк И. Н., Карих Д. В., Сергач Д. А.</i> Модифицирование поверхности шаров из титана ВТ1-0 комбинированием холодного пластического деформирования и термодиффузионного насыщения азотом .....	29
<i>Губенко С. И.</i> Влияние лазерной обработки на прочность межфазных границ включение–матрица стали при пластической деформации .....	35
<i>Глотка А. А., Мороз А. Н.</i> Влияние распределения карбидов на износ стали 110Х18М-ШД (440°С) .....	40
<i>Штефан В. В., Епифанова А. С., Ковалева А. А., Байрачный Б. И.</i> Электролитическое осаждение высокотвердых покрытий сплава кобальт–молибден .....	44
<i>Осташ О. П., Чепиль Р. В., Грибовская В. И.</i> Об определяющих параметрах работоспособности упругих клем рельсовых скреплений .....	50
<i>Букетов А. В., Сапронов А. А., Браило Н. В., Зинченко Д. А., Нигалатий В. Д.</i> Исследование гидроабразивного изнашивания эпоксидных композитов с двухкомпонентным наполнителем .....	56
<i>Ефременко В. Г., Журнаджи В. И., Чабак Ю. Г., Цветкова Е. В., Джеренова А. В.</i> Применение Q-p-R-обработки для повышения износостойкости низколегированной стали с 0,75% С .....	61
<i>Mahatood R. M., Akinlabi E. T.</i> Влияние скорости сканирующей обработки на микроструктуру, микротвердость, износ и коррозию композита Ti–6Al–4V/TiC, полученного лазерным осаждением .....	69
<i>Yuanli Di, Мольков Ю. В., Ленковский Т. М., Ковальчук Р. А.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния зоны предразрушения при двухосном нагружении пластины с центральной трещиной .....	78
<i>Острик В. И.</i> Закрытая полубесконечная трещина на границе упругой полосы и жесткой стенки .....	84
<i>Гембара О. В., Чепиль О. Я., Гембара Т. В.</i> Использование энергетического подхода к оцениванию работоспособности барабана парового котла при термоциклировании и наводороживании .....	90
<i>Маруцак П. О., Коноваленко И. В., Чаусов Н. Г., Бицак Р. Т., Пилипенко А. П.</i> Оценка поврежденности материала по результатам тензометрии и компьютерного анализа состояния поверхностного деформационного рельефа .....	96
<i>Акунья Гонсалес Н. А., Билый О. Л., Гонсалес Санчес Х. А.</i> Мониторинг критической длины трещинообразного дефекта в пластинах лечебного цемента при разной их геометрии .....	102
<i>Знак З. О., Зинь О. И.</i> Снижение коррозионной агрессивности жидких отходов производства хлора и каустической соды .....	108
<b>В НАУЧНЫХ КРУГАХ</b>	
<i>Стацук Н. Г.</i> Проблемы механики хрупкого разрушения .....	113
<i>Лукьяненко А. Г.</i> Проблемы материаловедения и инженерии поверхности металлов .....	115
<i>Червинская Н. Р.</i> Коррозия. Защита металлов от коррозии .....	118

## CONTENTS

*Lobanov L. M., Pashchyn N. A., Mikhodui O. L., and Cherkashyn A. V.* Effect of parameters of electrodynamic actions on the stressed state of AMg6 alloy sheets welded joints ..... 7

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив параметрів, що визначають різну тривалість ефектродинамічної дії, на зниження залишкових напружень зварних з'єднань листів з алюмінієвого сплаву Амг6 після ефектродинамічної обробки (ЕДО). Виявлено, що за зростання тривалості ефектродинамічної дії через збільшення індуктивності розрядного контуру для ЕДО за сталих амплітудних значень імпульсного електричного струму (ІЕС) період загасання ІЕС триваліший проти періоду наростання. При цьому підвищується ефективність ЕДО. Встановлено, що за тривалості  $t_{\Sigma} \geq 4,5$  ms зниження залишкових напружень залежить від інтенсивності ефектродинамічної дії і локальної термообробки внаслідок джоулевого розігріву поверхні пластини.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние параметров, определяющих различную длительность электродинамического воздействия, на снижение остаточных напряжений сварных соединений листов из алюминиевого сплава AMg6 после электродинамической обработки (ЭДО). Выявлено, что при возрастании длительности электродинамического воздействия вследствие увеличения индуктивности разрядного контура для ЭДО при постоянстве амплитудных значений импульсного электрического тока (ИЭТ) период затухания ИЭТ более продолжительный, нежели период нарастания. При этом повышается эффективность ЭДО. Установлено, что при длительности  $t_{\Sigma} \geq 4,5$  ms снижение остаточных напряжений определяется как интенсивностью электродинамического влияния, так и локальной термообработкой вследствие джоулевого разогрева поверхности пластины.

*SUMMARY.* The effect of parameters determining different duration of an electrodynamic effect on reduction of the level of residual stresses of welded joints of aluminium alloy AMg5 after electrodynamic treatment (EDT) is investigated. The results of investigations showed that an increased duration of the electrodynamic effect, due to increase in inductance of the discharge contour for EDT at constant amplitude values of pulsed electric current (PEC) is characterized by a longer period of PEC damping as compared with the period of its increment. In this case the increase in duration of the electrodynamic effect leads to the increase of the EDT efficiency because of the reduction of the residual stresses level of AMg6 alloy welded joints. It was noted that at EDT of duration  $t_{\Sigma} \geq 4.5$  ms the decrease in residual stresses is determined not only by the intensity of electrodynamic effect but also by local heat treatment due to Joule heating of the surface plate.

*Knysh V. V., Solovei S. A., Kadishev A. A., Nyrkova L. I., and Osadchuk S. A.* The influence of high-frequency peening on corrosion fatigue of welded joints ..... 12

*РЕЗЮМЕ.* Обґрунтовано ефективність височастотного механічного проковування (ВМП) для підвищення характеристик корозійної втоми зварних з'єднань і оцінено його вплив на корозійну тривкість основного металу. Досліджена циклічна довговічність стикових і таврових зварних з'єднань сталі 15ХСНД у вихідному і зміцненому ВМП станах у повітрі і корозивному середовищі (3% NaCl) за частоти 5 Hz. Використано зразки основного металу після шліфування і після шліфування з подальшим зміцненням ВМП. Встановлено, що обробка ВМП суттєво підвищує втомні характеристики зварних з'єднань у повітрі і в 3% NaCl. Виявлено її вплив на

швидкість загальної корозії поверхні зразків основного металу після випробувань 1300; 2200; 4700 і 8760 h у дистильованій воді і 3% NaCl.

*РЕЗЮМЕ.* Обоснована ефективність высокочастотной механической проковки (ВМП) для повышения характеристик коррозионной усталости сварных соединений и оценено ее влияние на коррозионную стойкость основного металла. Исследована циклическая долговечность стыковых и тавровых сварных соединений стали 15XCHД в исходном и упрочненном ВМП состояниях на воздухе и в коррозионной среде (3% NaCl) при частоте 5 Hz. Используются образцы основного металла после шлифования и после шлифования с последующим упрочнением ВМП. Установлено, что обработка ВМП существенно повышает усталостные характеристики сварных соединений как на воздухе, так и в 3% NaCl. Выявлено ее влияние на скорость общей коррозии поверхности образцов основного металла после испытаний 1300; 2200; 4700 и 8760 h в дистиллированной воде и 3% NaCl.

*SUMMARY.* The effectiveness of high-frequency mechanical peening (HFMP) for improving the resistance to corrosion fatigue of welded joints and corrosion resistance of base metal is substantiated. Fatigue life of as-welded and treated by HFMP joints of weatherproof 15XCHД steel joints in air and in corrosive environment (3% NaCl solution) was investigated. Fatigue testing was carried out on the butt and T-shared welded joints with frequency 5 Hz. Corrosion resistance behavior of base metal was investigated after polishing and after polishing with consequent applying HFMP in the distilled water and 3% solution NaCl. It was experimentally established that the HFMP considerably improves fatigue life of welded joints both in air and in the 3% NaCl solution. The influence of HFMP on the corrosion speed of the base metal sample surfaces after 1300, 2200, 4700 and 8760 h in the distilled water and in the 3% NaCl solution was investigated.

*Lysenkov E. A., Gagolkina Z. O., Lobko E. V., Tkulich M. G., and Klepko V. V.*

The influence of carbon nanotubes on mechanical properties of the cross-linked polyurethanes..... 18

*РЕЗЮМЕ.* З використанням методів електронної мікроскопії, динамічного механічного аналізу та проходження ультразвуку досліджено основні механічні характеристики систем на основі сітчастих поліуретанів та вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Виявлено, що вони мають перколяційну поведінку і на ділянці перколяційного переходу (0,4...1%) їх механічні характеристики різко змінюються. Вирішальний вплив тут мають агрегати з ВНТ. З досягненням порога перколяції утворюється розгалужена сітка з ВНТ та у досліджуваних матеріалах значно підвищуються міцність на розрив, модуль пружності та швидкість поширення ультразвуку.

*РЕЗЮМЕ.* С помощью методов электронной микроскопии, динамического механического анализа и прохождения ультразвука исследованы основные механические характеристики систем на основе сетчатых полиуретанов и углеродных нанотрубок (УНТ), проявляющих перколяционное поведение. Установлено, что в области перколяционного перехода (0,4...1%) их механические характеристики резко изменяются, что вызвано образованием агрегатов из УНТ. При достижении порога перколяции образуется разветвленная сетка из УНТ и в исследуемых материалах значительно повышаются прочность на разрыв, модуль упругости и скорость распространения ультразвука.

*SUMMARY.* The basic mechanical characteristics of the systems based on cross-linked polyurethane and carbon nanotubes (CNT) are investigated using the methods of electronic microscopy, dynamic mechanical analysis and passing of ultrasound. It is found that these systems show a percolation behavior. It is established that the mechanical characteristics change rapidly in the area of percolation transition (0.4...1%). It is shown that the formation of aggregates from CNT has a decisive influence on the mechanical properties of the system. The extensive net of CNT appears and tensile strength, elasticity modulus and

ultrasonic velocity are considerably improved in the investigated materials when reaching the percolation threshold.

*Pidgaichuk S. Ya., Yavorska N. M., and Abramov O. O.* Determination of the optimal modes of annealing of composite electrolytic nickel-based coatings..... 25

*РЕЗЮМЕ.* Обґрунтовано вибір режимів термічної обробки композиційних електролітичних покриттів (КЕП) на основі нікелю з наночастинками BN і суміші TiN+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Результати регресійного аналізу та експериментальних досліджень перерозподілу компонентів у відпалених покриттях покладені в основу побудови номограм для експрес-визначення оптимальних режимів термічної обробки КЕП. На основі термодинамічних розрахунків встановлені рівноважні температури відпалу зразків з досліджуваними покриттями у вакуумі.

*РЕЗЮМЕ.* Обоснован выбор режимов термической обработки композиционных электролитических покрытий (КЭП) на основе никеля с наночастицами BN и композиции TiN + Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Результаты регрессионного анализа и экспериментальных исследований перераспределения компонентов в отожженных покрытиях положены в основу построения номограмм для экспресс-определения оптимальных режимов термической обработки КЭП. Термодинамическими расчетами определены равновесные температуры отжига образцов с исследованными покрытиями в вакууме.

*SUMMARY.* The selection of parameters of the composite electrolytic coating (CEC) heat treatment on the basis of nickel with BN nanoparticles and mixture of the TiN + Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> is substantiated. The results of the regression analysis and experimental researches of components redistribution in the annealed coatings are taken as basic to make up the nomograms for the determination of the optimum parameters of CEC thermal processing. On the basis of thermodynamic calculations the equilibrium temperatures of annealing of the investigated specimen coatings in vacuum are determined.

*Tsekhanov Yu. A., Sheykin S. E., Pohrelyuk I. M., Karikh D. V., and Sergach D. A.*

Modification of the surface of spheres from BT1-0 titanium by combining cold plastic deformation and thermodiffusion saturation with nitrogen..... 29

*РЕЗЮМЕ.* Подано результати моделювання методом скінченних елементів у програмному комплексі Deform-3D холодного поверхневого пластичного деформування за накочування інструментальними площинами сферичних заготовок з чистого титану. Виконано експериментальну та комп'ютерну оцінки напружено-деформованого стану заготовки. Виявлено залежності ступеня зміцнення її поверхні від кількості циклів обробки і зусилля притиску. Оцінено вплив термодифузійного насичення азотом на поверхневе зміцнення деформованих заготовок.

*РЕЗЮМЕ.* Приведены результаты моделирования методом конечных элементов в программном комплексе Deform-3D холодного поверхностного пластического деформирования при накатывании инструментальными плоскостями сферических заготовок из чистого титана. Проведены экспериментальная и компьютерная оценки напряженно-деформированного состояния заготовки. Выявлены зависимости степени упрочнения поверхности заготовки от количества циклов обработки и усилия прижатия. Оценено влияние термодиффузионного насыщения азотом на поверхностное упрочнение деформированных заготовок.

*SUMMARY.* The results of simulations of the cold surface plastic deformation under rolling by instrumental planes of the spherical workpieces of pure titanium using the finite element software package Deform-3D are presented. The problems of experimental and computer analysis of the stress-strain state of the workpiece are analyzed. The dependences of the degree of hardening of the workpiece on the number of cycles and compression force are revealed. The influence of thermodiffusion saturation by nitrogen on the level of surface strengthening of the deformed workpieces is evaluated.

<i>Gubenko S. I.</i> The influence of laser treatment on the strengthening of inclusion–steel matrix interphase under plastic deformation .....	35
---	----

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив лазерної обробки на механізм формування мікро-руйнувань на межах включення–матриця під час пластичної деформації ряду сталей. Показано, що вона сприяє підвищенню когезійної міцності цих меж залежно від енергії і часу імпульсу та температури і швидкості деформації.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние лазерной обработки на механизм образования микроразрушений на границах включение–матрица при пластической деформации ряда сталей. Показано, что она способствует повышению когезивной прочности этих границ в зависимости от энергии и времени импульса, а также температуры и скорости деформации.

*SUMMARY.* The influence of laser treatment on the mechanism of microcracks formation at the inclusion-matrix boundaries under plastic deformation of some steels was investigated. It was shown that it promotes the increase of the cohesive strength of these boundaries in dependence on the pulse energy and time and also on the temperature and speed of deformation.

<i>Glotka A. A. and Moroz A. H.</i> The influence of distribution of carbides wear on 110X18M-ШД (440°C) steel .....	40
--	----

*РЕЗЮМЕ.* Виявлено закономірності зміни зносу сталі 110X18M залежно від кількісних характеристик зміцнювальної фази. Рекомендовано інтервал об'ємного вмісту карбідів 18...21% за середньої відстані між ними більше 8  $\mu\text{m}$ , що призводить до мінімального зносу.

*РЕЗЮМЕ.* Выявлены закономерности изменения износа стали 110X18M в зависимости от количественных характеристик упрочняющей фазы. Рекомендован интервал объемного содержания карбидов в пределах 18...21% при среднем расстоянии между ними более 8  $\mu\text{m}$ , что обуславливает минимальный износ.

*SUMMARY.* The regularities of changes in the amount of wear of 110H18M steel depending on quantitative factors of a strengthening phase are established. The recommended interval of carbides volume content is 18...21%, with an average distance between carbides more than 8  $\mu\text{m}$  which causes the minimal wear.

<i>Shtefan V. V., Yepifanova A. S., Kovaliov A. A., and Bairachnyi B. I.</i> Electrodeposition of very hard coatings of cobalt–molybdenum alloy .....	44
---	----

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено електролітичне осадження сплаву Co–Mo з аміачно-трилонатного електроліту. Показано вплив рН електроліту та густини струму на вихід за струмом та вміст молибдену в сплаві, досліджено структуру та мікротвердість покриттів. У результаті запропоновано режими електролізу, за яких одержано покриття з вмістом молибдену до 85% та твердістю до 429  $\text{kg/mm}^2$ .

*РЕЗЮМЕ.* Изучено электролитическое осаждение сплава Co–Mo из аммиачно-трилонатного электролита. Показано влияние рН электролита и плотности тока на выход по току и содержание молибдена в сплаве, исследована структура и микротвердость покрытий. В результате предложены режимы электролиза, при которых получено покрытие с содержанием молибдена до 85% и твердостью до 429  $\text{kg/mm}^2$ .

*SUMMARY.* The process of electrodeposition of Co–Mo alloy with ammonium trilonate electrolyte was investigated. The influence of electrolyte pH and the current density on the current efficiency and molybdenum content of the alloy was shown, the structure and microhardness of coatings was studied. As a result of the electrolysis modes with the coating containing molybdenum to 85% and hardness to 429  $\text{kg/mm}^2$  are proposed.

<i>Ostash O. P., Chepil R. V., and Hrybovska V. I.</i> On the determining parameters of serviceability of elastic clamps of railway joints.....	50
---	----

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено, що пружні клеми типу КП-5 рейкових скріплень типу КПП-5 зі сталі 65Г менш витривалі, ніж зі сталі 60С2, незважаючи на вищі її характеристики міцності і витривалості, встановлені окремо за розтягу, згину і закруту лабораторних зразків. Виявлено, що втомна довговічність клем у першу чергу залежить від здатності матеріалу релаксувати механічні напруження. Запропоновано параметр, за яким слід вибрати матеріал клем.

*РЕЗЮМЕ.* Выявлено, что упругие клеммы типа КП-5 рельсовых скреплений типа КПП-5 из стали 65Г менее выносливы, чем из стали 60С2, несмотря на ее высокие характеристики прочности и выносливости, установленные отдельно при растяжении, изгибе и кручении лабораторных образцов. Обнаружено, что усталостная долговечность клем в первую очередь зависит от способности материала к релаксации механических напряжений. Предложен параметр, по которому следует выбирать материал клемм.

*SUMMARY.* It is established that the KP-5 type elastic clamps of rail fasteners KPP-5 made from 65Г steel have lower endurance value comparing to clamps from 60С2 steel, despite of the high strength and durability characteristics of 65Г steel determined under tension, bending and torsion of laboratory specimens. It is found that clamps fatigue durability primarily depends on the material ability to mechanical stress relaxation. A parameter for clamp material selection is proposed.

*Buketov A. V., Sapronov O. O., Brailo M. V., Zinchenko D. O., and Nigalatii V.*

<i>D.</i> Investigation of hydro-abrasive wear of epoxy composites containing a two-component filler.....	56
---	----

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив вмісту двокомпонентного наповнювача ( $Al_2O_3 + B$ ) на інтенсивність зношування епоксикомпозитних покриттів. Розроблено покриття з оптимальними показниками зношування, які можна використовувати в умовах гідроабразивного середовища. Встановлено, що мінімальною інтенсивністю зношування  $I = 0,36\%$  та коефіцієнтом зносотривкості  $K_{wr} = 3,66$ , порівняно з епоксидною матрицею, характеризуються матеріали із вмістом оксиду алюмінію (60 м.р.) та бору кристалічного (40 м.р.) на 100 м.р. епоксидного олігомера ЕД-20 та 10 м.р. твердника поліетиленполіаміна.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние содержания двухкомпонентного наполнителя ( $Al_2O_3 + B$ ) на интенсивность износа эпоксикомпозитных покрытий. Разработаны покрытия с оптимальными показателями износа, которые могут эксплуатироваться в условиях гидроабразивной среды. Установлено, что минимальной интенсивностью износа  $I = 0,36\%$  и коэффициентом износостойкости  $K_{wr} = 3,66$ , по сравнению с эпоксидной матрицей, характеризуются материалы с содержанием оксида алюминия (60 м.р.) и бора кристаллического (40 м.р.) на 100 м.р. эпоксидного олигомера ЭД-20 и 10 м.р. отвердителя полиэтиленполиамины.

*SUMMARY.* The dependence of the content of the two-component filler ( $Al_2O_3 + B$ ) on the wear rate of the epoxy composite coatings is investigated. Coatings with optimal wear properties, which can be used in the water-jet environment, are developed. It is found that the minimum intensity of wear is  $I = 0.36\%$  and the coefficient of wear  $K_{wr} = 3.66$ , compared with an epoxy matrix, is typical for the material, containing aluminum oxide (60 m.p.) and boron crystal (40 m.p.) per 100 m.p. epoxy oligomer ED-20 and 10 m.p. polyethylenpoliamin hardener.

*Efremenko V. G., Zurnadzy V. I., Chabak Yu. G., Tsvetkova E. V., and*

<i>Dzherenova A. V.</i> Application of Q-n-P-treatment for improving wear resistance of low-alloyed steel with 0.75% C.....	61
---	----

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено вплив Q-n-P-обробки, яка полягає у перерваному гартуванні з подальшою витримкою при 250...350°C, на мікроструктуру, твердість і абразивну зносотривкість сталі 75XГ2С. Встановлено, що Q-n-P-обробка призводить до формування структури з підвищеним (до 27,5%) вмістом залишкового аустеніту. Обробка з призупиненням гартувального охолодження при 100°C з подальшою витримкою при 250°C (10 min) підвищує абразивну тривкість на 8% порівняно з повністю загартованим станом за значно нижчої твердості (57 і 63 HRC, відповідно).

*РЕЗЮМЕ.* Изучено влияние Q-n-P-обработки, которая заключается в прерванной закалке с последующей выдержкой при 250...350°C, на микроструктуру, твердость и абразивную износостойкость стали 75XГ2С. Установлено, что Q-n-P-обработка приводит к формированию структуры с повышенным (до 27,5%) содержанием остаточного аустенита. Обработка с приостановлением закалочного охлаждения при 100°C с последующей выдержкой при 250°C (10 min) повышает абразивную износостойкость стали на 8% относительно полностью закаленного состояния при значительно более низкой твердости (57 и 63 HRC, соответственно).

*SUMMARY.* The influence of Q-n-P-treatment, which consists in interrupted quenching followed by holding at 250...350°C, on the microstructure, hardness and abrasion resistance of 75XГ2С steel is investigated. It is found that Q-n-P-treatment leads to the formation of structure with an increased (27.5%) content of retained austenite. Processing with quenching interruption at 100°C followed by holding at 250°C for 10 min increases the abrasion wear resistance of the steel by 8% as compared to the fully quenched state at a significantly lower hardness (57 and 63 HRC, respectively).

*Mahamood R. M. and Akinlabi E. T.* Effect of scanning speed treatment on the microstructure, microhardness, wear and corrosion behaviour of laser metal deposited Ti-6Al-4V/TiC composite ..... 69

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив швидкості сканувальної обробки на мікроструктуру, мікротвердість, зношування та корозію композиту Ti-6Al-4V/TiC, отриманого лазерним осадженням. Для приготування зразків застосовано лазер компанії Rofin Sinar Md-YAG потужністю 2,5 kW зі швидкістю заповнення порошком 2 g/min та швидкістю газового потоку 2 l/min. Швидкість напилювання змінювалася від 0,005 до 0,050 m/s. Для мікроструктурних досліджень використано оптичну та сканівну електронну мікроскопію. Мікротвердість виміряно давачем Вікерса за навантаження 500 g та часу витримки 5 s. Зношування композиту за сухого тертя досліджено методом потенціодинамічного поляризаційного вимірювання за принципом "кулька по диску" за навантаження 25 N. Корозійну поведінку вивчено у 3,5% NaCl потенціодинамічним поляризаційним методом. Використано нерозплавлені частинки карбиду, а також дендритні частинки TiC. Процентний склад та розподіл цих частинок змінювався зі швидкістю напилення, зокрема мікротвердість зростала, а об'єм зношування зменшувався. Крім того, з її підвищенням корозійний потенціал та швидкість корозії композитів зменшуються.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние скорости сканирующей обработки на микроструктуру, микротвердость, износ и коррозию композита Ti-6Al-4V/TiC, полученного лазерным осаждением. Для приготовления образцов применен лазер компании Rofin Sinar Md-YAG мощностью 2,5 kW со скоростью заполнения порошком 2 g/min и скоростью газового потока 2 l/min. Скорость напыления изменялась от 0,005 до 0,050 m/s. Для микроструктурных исследований использована оптическая и сканирующая электронная микроскопия. Микротвердость измерена датчиком Викерса при нагрузке 500 g и времени выдержки 5 s. Износ композита при сухом трении исследован методом потенциодинамического поляризационного измерения по принципу "шарик по диску" при нагружении 25 N. Коррозионное поведение изучено в 3,5% NaCl потенциодинамическим поляризационным методом. Используются нерасплавленные частицы карбида, а также дендритные частицы TiC. Процентный состав и распределение

этих частиц изменялся со скоростью напыления, в частности, микротвердость увеличивалась, а объем износа уменьшался. Кроме того, с ее увеличением коррозионный потенциал и скорость коррозии композитов уменьшались.

*SUMMARY.* The influence of scanning speed on the microstructure, microhardness, wear and corrosion resistance behaviour of titanium alloy composite (Ti-6Al-4V/TiC composite) produced using laser metal deposition process was investigated. Rofin Sinar Nd-YAG laser was used to produce the samples at a laser power of 2.5 kW, powder flow rate of 2 g/min, and gas flow rate of 2 l/min. The scanning speed was varied between 0.005 and 0.050 m/s. The microstructural studies were carried out using optical microscope and scanning electron microscope. The microhardness profiling was done using Vickers microhardness tester at a load of 500 g and a dwell time of 15 s. The dry sliding wear of the composite was investigated using a ball-on-disk tribometer at a load range of 25 N. The corrosion behaviour was evaluated in 3.5% NaCl solution using potentiodynamic polarization measurement method. Unmelted carbide particles, as well as dendritic TiC were used. The percentage composition and distribution of all these particles were found to change as the scanning speed was varied. The microhardness was found to increase with increasing scanning speed. The wear volume produced was found to decrease as the scanning speed increased. The electrochemical behaviour of the composites showed that, as the scanning speed was increased, the corrosion potential and corrosion rate was found to be reduced.

*Yuanli Du, Molkov Yu. V., Lenkovskiy T. V., and Kovalchuk R. A.* Stress-strain state analysis of the process zone under biaxial loading of a plate with a central crack ..... 78

*РЕЗЮМЕ.* Виконано порівняння розподілів деформацій у зоні передруйнування хрестоподібних зразків за двовісного навантаження, одержаних методами скінченних елементів і цифрової кореляції зображень. Показано, що використання істинної діаграми деформування в алгоритмі розрахунку методом скінченних елементів забезпечує коректність числових розв'язків. Встановлено вплив двовісного навантаження та отримано добру збіжність розрахункових і експериментальних результатів визначення локальних деформацій в околі вершини тріщини.

*РЕЗЮМЕ.* Проведено сравнение распределений деформации в зоне предразрушения крестообразных образцов при двухосном нагружении, полученных методами цифровой корреляции изображений и конечных элементов. Показано, что использование истинной диаграммы деформирования в алгоритме расчета методом конечных элементов значительно повышает точность моделирования. Установлено влияние двухосного нагружения на распределение деформаций и получена хорошая сходимость экспериментальных и расчетных результатов определения локальных деформаций перед вершиной трещины.

*SUMMARY.* Comparison of strain maps in the process zone of a cruciform specimen under biaxial loading obtained by digital image correlation technique and finite element analysis is performed. It is shown that the use of true stress-strain curve in the algorithm of the finite element method significantly improves the accuracy of the simulation. The influence of biaxial loading ratio on local strain distribution is established. Good convergence between experimental and simulation results of local strains determining at the crack tip is obtained.

*Ostryk V. I.* A closed semi-infinite crack at the boundary of an elastic strip and a rigid wall ..... 84

*РЕЗЮМЕ.* Проаналізовано стиск і зсув пружної смуги з півнескінченною тріщиною на межі смуги і жорсткої стінки. Тріщина повністю закрита, а її береги знаходяться в умовах фрикційного проковзування. Методом Вінера-Гопфа отримано аналітичний розв'язок задачі. Знайдено розподіли нормальних і дотичних напружень на лінії тріщини та її продовженні, коефіцієнт інтенсивності зсувних напружень.

*РЕЗЮМЕ.* Проанализированы сжатие и сдвиг упругой полосы с полубесконечной трещиной на границе полосы и жесткой стенки. Трещина полностью закрыта, а ее берега находятся в условиях фрикционного проскальзывания. Методом Винера–Хопфа получено аналитическое решение задачи. Найдены распределения нормальных и касательных напряжений на линии трещины и ее продолжении, а также коэффициент интенсивности напряжений.

*SUMMARY.* The compression and shear of an elastic strip with a semi-infinite crack at the edge of a strip and a rigid wall are considered. The crack is completely closed and crack surfaces are in the state of friction sliding. By means of the Wiener–Hopf method the analytical solution is obtained. The distributions of normal and tangential stresses on the crack line and on the crack continuation are presented as well as the stress intensity factor.

*Hembara O. V., Chepil O. Ya., and Hembara T. V.* Application of energy approach to the evaluation of serviceability of a steam boiler drum under thermal cycling and hydrogenation..... 90

*РЕЗЮМЕ.* Розроблено метод для оцінювання впливу водню на міцність та довговічність барабана парового котла високого тиску за термоцикування і наводнювання. Проаналізовано дію водню на нагромадження пошкоджуваності металу та тривалість експлуатації барабана за різних режимів пошкодження. Встановлено, що водень пришвидшує нагромадження пошкоджуваності і зменшує час експлуатації металу за планової зупинки котла на 25...30%, а за аварійної – на 40...50%.

*РЕЗЮМЕ.* Разработан метод для оценки влияния водорода на прочность и долговечность барабана парового котла высокого давления при термоциклировании и наводороживании. Проанализировано влияние водорода на накопление повреждаемости металла и ресурс барабана при различных режимах эксплуатации. Установлено, что водород ускоряет накопление повреждаемости и уменьшает время эксплуатации металла при плановой остановке котла на 25...30%, а при аварийной – на 40...50%.

*SUMMARY.* The method for evaluating the impact of hydrogen on strength and durability of the drum of high pressure boiler under hydrogenation and thermal cycling is developed. The influence of hydrogen on metal damage accumulation and the operation of the drum under different modes of operation are analyzed. It was established that hydrogen accelerates the accumulation of damage and reduces the operation time of metal at planned stops of a boiler by 25...30% and at emergency stop by 40...50%.

*Marushchak P. O., Konovalenko I. V., Chausov M. G., Bishchak R. T., and Pylypenko A. P.* Assessment of material damaging by the results of tensometry and computer analysis of the state of the surface deformation relief ..... 96

*РЕЗЮМЕ.* Виявлено фізико-механічні закономірності накопичення поверхневих дефектів під час комп'ютерного аналізу фотозображень поверхні деформованого зразка. Одержано основні закономірності пороутворення у сплаві Д16чт за методом тензометрії. Встановлено фізико-механічний зв'язок між деформацією розпушування та накопиченням пошкод на поверхні матеріалу.

*РЕЗЮМЕ.* Проанализированы особенности использования поверхности в качестве сенсора поврежденности сплава Д16чт при значительных пластических деформациях. Выявлены физико-механические закономерности пространственной самоорганизации структурно-механических поверхностных дефектов и установлена их связь с порообразованием и деформационными процессами во внутренних слоях материала.

*SUMMARY.* The typical features of the use of surface as a damage sensor of Д16чт alloy at large plastic deformations are analyzed. Physico-mechanical regularities of spatial

self-organization of structural and mechanical surface defects and their connection with the pore formation and deformation processes in the inner layers of the material are identified.

*Acuña Gonzales N. A., Bilyy O. L., and González Sánchez J. A.* Monitoring of critical length of crack-like defects in the plate bone cement because of their different geometry ..... 102

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено конструктивні елементи, виготовлені з лікувального цементу, з урахуванням різних домішок, зокрема, діетилового амінокислотного етилакрилату (DEAEA), диметиламіноетил метакрилату (DMAEM) і діетиламіноетил метакрилату (DEAEM). З урахуванням значень коефіцієнта інтенсивності напружень (КИН) подано характеристики чинників руйнування для цих об'єктів за різного часу замочування в середовищі SBF (0; 3; 6 місяців), а також за різних вагових варіацій домішок в основному матеріалі (2...10%). Дані для КИН, які використані в моделях, побудованих для різних конструктивних елементів, дають можливість аналізувати ризик їх руйнування за умови, що вони містять тріщиноподібний дефект. Отримано значення критичної довжини тріщиноподібного дефекту в кожному розглядуваному випадку і розраховано кількість циклів навантаження в цьому об'єкті.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы конструктивные элементы, изготовленные из лечебного цемента, с учетом различных примесей, в частности, диэтилового аминокислотного этилакрилата (DEAEA), диметиламиноэтил метакрилата (DMAEM) и диэтиламиноэтил метакрилата (DEAEM). С учетом значений коэффициента интенсивности напряжений (КИН) приведены характеристики факторов разрушения для этих объектов при различном времени замачивания в среде SBF (0; 3; 6 месяцев), а также различных весовых вариаций примесей в основном материале (2...10%). Данные для КИН, которые использованы в моделях, построенных для различных конструктивных элементов, дают возможность анализировать риск их разрушения при условии, что они содержат трещиноподобный дефект. Получено значение критической длины трещиноподобного дефекта в каждом рассматриваемом случае и рассчитано количество циклов нагружения в этом объекте.

*SUMMARY.* The article deals with structural elements of materials made of bone cement coupons of various impurities: diethylaminoethylacrylate, dimethylaminoethyl methacrylate and diethylaminoethyl methacrylate. Considering the stress intensity factor the characteristics of fracture factors with different soaking time intervals in simulated body fluid (0; 3; 6 months) and also with different impurities in fixed material (2...10 wt%) are presented. The data for the stress intensity factor used in the constructed models for different structural elements, allowing us to analyze the possible risk of such elements, provided that they contain crack-like defect are given. Also the values of the critical length of each considered crack-like defect and calculated number of loading cycles in this object, that can be useful for engineering recommendations for the test material and concrete structural elements made from this material, are obtained.

*Znak Z. O. and Zin O. I.* Decrease of corrosion activity of liquid waste in production of chlorine and caustic soda ..... 108

*РЕЗЮМЕ.* На прикладі розчинів-імітатів досліджено агресивність гіпохлоритовмісних стічних вод до та після взаємодії з органічними стічними водами. Встановлено, що за низьких концентрацій вони корозійно агресивніші, ніж водогінна вода. З додаванням імітату органічними стічних вод їх агресивність знижується до рівня водопровідної води, імовірно, через нейтралізацію гіпохлориту та утворення продуктів окиснення органічних сполук з адсорбційними властивостями. Для посилення взаємодії гіпохлориту з органічною сполукою та пришвидшеного падіння агресивності гіпохлоритних стоків доцільно інтенсифікувати реакції окиснення, застосовуючи каталізатори та ультразвукову обробку.

*РЕЗЮМЕ.* На примере растворов-имитантов исследована агрессивность гипохлоритных сточных вод до и после взаимодействия с органосодержащими отходами. Установлено, что при низких концентрациях они более коррозионно агрессивны, чем водопроводная вода. После добавления имитанта органосодержащих сточных вод их коррозионная агрессивность снижается до уровня водопроводной воды, вероятно, вследствие нейтрализации гипохлорита и образования продуктов окисления органических соединений с адсорбционными свойствами. Для усиления взаимодействия гипохлорита с органическим соединением и ускоренного падения агрессивности гипохлоритных стоков целесообразно интенсифицировать реакцию окисления, применяя катализаторы и ультразвуковую обработку.

*SUMMARY.* Corrosion aggressiveness of hypochlorite wastewaters before and after their interaction with the organic wastes was studied with use of model solutions. It was found that at low concentrations of hypochlorite they are more corrosive than tap water. Addition to hypochlorite containing waters of organic wastewater imitant reduces their corrosivity to the level of tap water probably due to the neutralization of the hypochlorite and the formation of organic compounds of oxidation products with specific adsorption properties. It is worth using the different intensification methods, namely catalisators or ultrasonic treatment, to enhance the interaction between hypochlorite and organic compounds for acceleration of the oxidation process.

#### IN SCIENTIFIC CIRCLES

<i>Stashchuk M. H.</i> Problems of brittle fracture mechanics.....	113
<i>Lukianenko O. H.</i> Problems of materials science and surface engineering of metals .....	115
<i>Chervinska N. R.</i> Corrosion. Corrosion protection of metals .....	118