

## 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. КИТ*, *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), *Г. ПЛЮВІНАЖ* (Франція), *Я. ПОКЛЮДА* (Чехія), *Р.-О. РІЧІ* (США), *Д.-М.-Р. ТЕПЛИН* (Великобританія), *Л. ТОТ* (Угорщина), *С. 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), *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. І. Похмурський**  
Responsible for issue corr.-member NASU, Dr. (Engn.), Prof. **V. I. Pokhmurskii**

**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. 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 07.09.2018. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 140918 від 14.09.2018. 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", 2018

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ



ТОМ 54, № 4, 2018

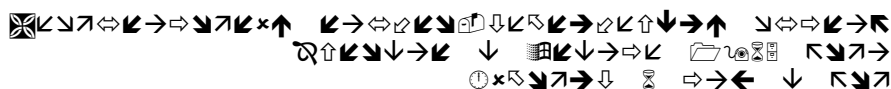
липень – серпень

## ЗМІСТ

<i>Похмурський В. І.</i> Розвиток досліджень корозії та корозійно-механічного руйнування металів і методів їх захисту (Огляд).....	7
<i>Андрейків О. Є., Штаюра Н. С.</i> Розрахункові моделі росту втомних тріщин у металевих матеріалах за дії силових і фізико-хімічних чинників .....	21
<i>Зінь І. М., Карпенко О. В., Покинсьбродо Т. Я., Корецька Н. І., Тимусь М. Б., Квятковський Л., Корній С. А.</i> Інгибування корозії вуглецевої сталі трегалозоліпідними поверхнево-активними речовинами .....	31
<i>Ледовських В. М., Вишневська Ю. П., Бражник І. В., Левченко С. В.</i> Термодинамічний підхід до розроблення синергічних інгибувальних композицій для протикорозійного захисту металів у водно-сольовому середовищі .....	39
<i>Слободян З. В., Льницький З. М., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б., Семенюк І. В.</i> Вплив екологічно безпечних інгібіторів на корозійну активність мастильно-охолоджувальної рідини .....	48
<i>Хома М. С., Рацька Н. Б., Головей С. А., Чучман М. Р.</i> Особливості корозії та мікроелектрохімічна гетерогенність сталей 45 і У8 у сірководневому середовищі.....	52
<i>Берсірова О. Л., Кублановський В. С.</i> Електролітичні сплави нікель–рений: синтез, структура та корозійні властивості.....	57
<i>Штефан В. В., Смирнов О. О., Беженко А. О., Єніфанова А. С., Кануннікова Н. О., Метеньканич М. М., Князєв С. А.</i> Корозія кобальто-молібденових сплавів у хлоридних розчинах.....	62
<i>Майзеліс А. О., Байрачний Б. І.</i> Корозія неодимових магнетів у полілігандних розчинах .....	68
<i>Герцик О. М., Переверзева Т. Г., Бойчишин Л. М., Ковбуз М. О., Пандяк Н. Л.</i> Вплив термообробки та олігомерних покривів на корозійну тривкість аморфних сплавів на основі алюмінію.....	74
<i>Студент М. М., Похмурська Г. В., Задорожна Х. Р., Веселівська Г. Г., Гвоздецький В. М., Сірак Я. Я.</i> Корозійна тривкість покривів VC–FeCr та VC–FeCrCo, отриманих надзвуковим газополуменевим напиленням .....	82
<i>Ткачук О. В., Погрелюк І. М., Проскурняк Р. В., Guspel J., Beltowska-Lehman E., Morgiel J.</i> Електрохімічна поведінка титанового сплаву Ti–6Al–4V у розчині Рінгера після оксинітрування.....	88

<i>Тепла Т. Л., Дурягіна З. А., Кулик В. В.</i> Вплив дезінфікувального розчину на корозійну тривкість стоматологічного інструменту .....	92
<i>Федірко В. М., Кухар І. С., Мельник Х. Р.</i> Вплив структурно-фазового стану хромистих сталей на їх корозію в розплавах свинцю .....	96
<i>Сачанова Ю. І., Єрмоленко І. Ю., Ведь М. В., Сахненко М. Д., Ненастіна Т. О., Яр-Мухамедова Г. Ш.</i> Вплив вмісту тугоплавких складників на корозійну тривкість тернарних сплавів на основі заліза і кобальту .....	100
<i>Ниркова Л. І., Мельничук С. Л., Осадчук С. О., Робаков А. О.</i> Корозійне розтріскування трубною сталі Х70 за потенціалу, наближеного до максимального захисного .....	110
<i>Calan-Canche D., García-Hernández R., Dzib-Pérez L., Bilyu O. L., González-Sánchez J.</i> Схильність сталі API 5L X60 до абсорбції атомного водню за нестандартної термообробки .....	116
<i>Ясній В. П., Никифорчин Г. М., Цирульник О. Т., Студент О. З.</i> Особливості деформування сплаву нітинол після електролітичного наводнювання .....	124
<i>Пріхна Т. О., Подгурська В. Я., Остап О. П., Василів Б. Д., Свердун В. Б., Карпець М. В., Сербенюк Т. Б.</i> Вплив технології отримання композитів на основі МАХ-фаз титану на зношування в контакті з міддю. Ч. І. Двостадійна технологія .....	131
<i>Герасименко Ю. С., Васильєва С. М., Новосад А. А.</i> Вплив ультразвуку на протикорозійні властивості карбонатного накипу за його термічного утворення .....	137
<i>Кузь І. С., Мороз О. І., Кузь О. Н.</i> Міцність пружно-пластичних пластин з квадратним отвором (включенням) та розрізом (тонким включенням) за одновісного розтягу .....	144

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ



ТОМ 54, № 4, 2018

июль – август

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Похмурский В. И.</i> Развитие исследований коррозии и коррозионно-механического разрушения металлов и методов их защиты (Обзор).....	7
<i>Андрейкив А. Е., Штаюра Н. С.</i> Расчетные модели роста усталостных трещин в металлических материалах при воздействии силовых и физико-химических факторов .....	21
<i>Зинь И. Н., Карпенко Е. В., Покиньюброда Т. Я., Корецкая Н. И., Тымусь М. Б., Квятковский Л., Корний С. А.</i> Ингибирование коррозии углеродистой стали трегалозолипидными поверхностно-активными веществами .....	31
<i>Ледовских В. М., Вишневская Ю. П., Бражник И. В., Левченко С. В.</i> Термодинамический подход к разработке синергических ингибирующих композиций для противокоррозионной защиты металлов в водно-солевой среде.....	39
<i>Слободян З. В., Ильницький З. М., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б., Семенюк И. В.</i> Влияние экологически безопасных ингибиторов на коррозионную активность смазочно-охлаждающей жидкости.....	48
<i>Хома М. С., Рацкая Н. Б., Головей С. А., Чучман М. Р.</i> Особенности коррозии и микроэлектрохимическая гетерогенность сталей 45 и У8 в сероводородной среде.....	52
<i>Берсирова О. Л., Кублановский В. С.</i> Электролитические сплавы никель-рений: синтез, структура и коррозионные свойства .....	57
<i>Штефан В. В., Смирнов А. А., Беженко А. А., Епифанова А. С., Канунникова Н. А., Метеньканич М. М., Князев С. А.</i> Коррозия кобальто-молибденовых сплавов в хлоридных растворах.....	62
<i>Майзелис А. А., Байрачный Б. И.</i> Коррозия неодимовых магнитов в полилигандных растворах .....	68
<i>Герцык О. М., Переверзева Т. Г., Бойчишин Л. М., Ковбуз М. О., Пандяк Н. Л.</i> Влияние термообработки и олигомерных покрытий на коррозионную стойкость аморфных сплавов на основе алюминия.....	74
<i>Студент М. М., Похмурская А. В., Задорожная Х. Р., Веселивская Г. Г., Гвоздецкий В. Н., Сирак Я. Я.</i> Коррозионная стойкость покрытий VC-FeCr и VC-FeCrCo, полученных сверхзвуковым газопламенным напылением.....	82

<i>Ткачук О. В., Погрелюк И. Н., Проскурняк Р. В., Guspel J., Beltowska-Lehman E., Morgiel J.</i> Электрохимическое поведение титанового сплава Ti-6Al-4V в растворе Рингера после оксинитрирования .....	88
<i>Тепла Т. Л., Дурягина З. А., Кулык В. В.</i> Влияние дезинфицирующего раствора на коррозионную стойкость стоматологического инструмента .....	92
<i>Федирко В. Н., Кухар И. С., Мельник Х. Р.</i> Влияние структурно-фазового состояния хромистых сталей на их коррозию в расплавах свинца .....	96
<i>Сачанова Ю. И., Ермоленко И. Ю., Ведь М. В., Сахненко Н. Д., Ненастина Т. А., Яр-Мухамедова Г. Ш.</i> Влияние содержания тугоплавких компонентов на коррозионную стойкость тернарных сплавов на основе железа и кобальта .....	100
<i>Ныркова Л. И., Мельничук С. Л., Осадчук С. А., Рыбаков А. А.</i> Коррозионное растрескивание трубной стали Х70 при потенциале, приближенном к максимальному защитному .....	110
<i>Calan-Canche D., García-Hernández R., Dzib-Pérez L., Bilyu O. L., González-Sánchez J.</i> Склонность стали API 5L X60 к абсорбции атомного водорода при нестандартной термообработке .....	116
<i>Ясний В. П., Никифорчин Г. Н., Цирульнык А. Т., Студент А. З.</i> Особенности деформирования сплава нитинол после электролитического наводороживания .....	124
<i>Прихна Т. О., Подгурская В. Я., Остап О. П., Васылив Б. Д., Свердун В. Б., Карпец М. В., Сербенюк Т. Б.</i> Влияние технологии получения композитов на основе МАХ-фаз титана на износ в контакте с медью. Ч. I. Двухстадийная технология .....	131
<i>Герасименко Ю. С., Васильева С. М., Новосад А. А.</i> Влияние ультразвука на противокоррозионные свойства карбонатной накипи при ее термическом образовании .....	137
<i>Кузь И. С., Мороз А. И., Кузь О. Н.</i> Прочность упругопластических пластин с квадратным отверстием (включением) и разрезом (тонким включением) при одноосном растяжении .....	144

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE  
H. V. KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

# PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS



VOLUME 54, № 4, 2018

July – August

## CONTENTS

*Pokhmurskii V. I.* Development of investigations on corrosion and corrosion-mechanical fracture of metals and their protection methods (Review) ..... 7

*РЕЗЮМЕ.* Подано стислий огляд основних досліджень різних аспектів корозії та корозійно-механічного руйнування металів, виконаних передовсім у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України. Зокрема, встановлено основні закономірності і механізми корозійного розтріскування, корозійної втоми, фретинг-корозії металів залежно від їх структури і умов взаємодії з корозивним середовищем. Наведено результати випробувань з інгібіторного захисту металів, а також з розробки металевих і неметалевих захисних покриттів тощо.

*РЕЗЮМЕ.* Приведен сжатый обзор основных исследований разных аспектов коррозии и коррозионно-механического разрушения металлов, выполненных в Физико-механическом институте им. Г. В. Карпенко НАН Украины. В частности, установлены основные закономерности и механизмы коррозионного растрескивания, коррозионной усталости, фреттинг-коррозии металлов в зависимости от их структуры и условий взаимодействия с коррозионной средой. Приведены результаты исследований ингибиторной защиты металлов, а также разработки металлических и неметаллических защитных покрытий и т. п.

*SUMMARY.* A brief review of the main investigations of the aspects of corrosion and corrosion-mechanical fracture of metals, carried out first of all in the Karpenko Physico-Mechanical Institute NAS Ukraine is presented. In particular, the main regularities and mechanisms of stress corrosion cracking, corrosion fatigue, fretting-corrosion of metals depending on their structure and conditions of interaction with corrosion environment are established. The results of researches on inhibitor protection of metals and also on the development of metallic and non-metallic protective coatings, etc. are presented.

*Andreikiv O. Ye. and Shtayura N. S.* Calculation models of fatigue crack growth in metallic materials under action of force and physicochemical factors ..... 21

*РЕЗЮМЕ.* На основі енергетичного підходу розроблені розрахункові моделі для визначення періоду докритичного росту коротких втомних тріщин у пружно-пластичних тілах за дії силових і фізико-хімічних чинників. Результати порівняні з відомими літературними даними.

*РЕЗЮМЕ.* На основе энергетического подхода разработаны расчетные модели для определения периода докритического роста коротких усталостных трещин в уп-

руго-пластических телах за действия силовых и физико-химических факторов. Результаты сравнимы с известными литературными данными.

*SUMMARY.* On the basis of energy approach the computational models to determine the period of short fatigue cracks subcritical growth in elastic-plastic plates under action of long-term forcer, physical and chemical factors were built. The results were compared with known in the literature data.

*Zin I. M., Karpenko O. V., Pokynbroda T. Ya., Koretska N. I., Tymus M. B.,*

*Kwiatkowski L., and Korniy S. A. Mild steel corrosion inhibition*

by trehalose lipid biosurfactants ..... 31

*РЕЗЮМЕ.* Корозійно-електрохімічними та квантово-хімічними методами досліджували інгібування корозії вуглецевої сталі трегалозоліпідною поверхнево-активною речовиною (ТПАР). Встановлено, що вона ефективно інгібує корозію сталі в синтетичному кислому дощі. За досягнення критичної концентрації міцелотворення  $\approx 0,3$  г/л подальше підвищення її вмісту в корозивному середовищі не призводить до суттєвого збільшення захисного протикорозійного ефекту. Механізм інгібування корозії полягає в адсорбції молекул ТПАР гідрофільними карбонільними або гідроксильними групами за донорно-акцепторним механізмом до поверхні сталі з утворенням бар'єрної плівки. Додаткове введення невеликої кількості малорозчинного цинку фосфату у середовище, інгібоване ТПАР, істотно зменшує корозію вуглецевої сталі. Ступінь її захисту становить 93...96%. Композиція забезпечує вищий ступінь захисту вуглецевої сталі у синтетичному кислому дощі, ніж її окремо взяті компоненти.

*РЕЗЮМЕ.* Коррозионно-электрохимическими и квантово-химическими методами исследовали ингибирование коррозии углеродистой стали трегалозолипидным поверхностно-активным веществом (ТПАВ). Установлено, что ТПАВ эффективно ингибирует коррозию стали в синтетическом кислом дожде. При достижении критической концентрации мицеллообразования  $\approx 0,3$  г/л дальнейшее повышение содержания вещества в коррозионной среде не приводит к существенному увеличению защитного эффекта. Механизм ингибирования коррозии заключается в адсорбции молекул ТПАВ гидрофильными карбонильными или гидроксильными группами к поверхности углеродистой стали за донорно-акцепторным механизмом с образованием барьерной пленки. Дополнительное введение небольшого количества малорастворимого цинка фосфата в среду, ингибированную ТПАВ, существенно уменьшает коррозию углеродистой стали. Степень защиты углеродистой стали ингибирующей композицией составляет 93...96%. Композиция обеспечивает более высокую степень защиты углеродистой стали в синтетическом кислом дожде, нежели ее компоненты, взятые в отдельности.

*SUMMARY.* Carbon steel corrosion inhibition by trehalose-lipid surfactant (TL) was investigated using the electrochemical and quantum-chemical methods. It is found that the surfactant effectively inhibits steel corrosion in synthetic acid rain. When the critical micelle concentration  $\approx 0.3$  g/l is reached, further increase of the biosurfactant content in the corrosive environment does not lead to a significant rise of its protective effect. The mechanism of corrosion inhibition consists in adsorption of TL molecules by hydrophilic carbonyl or hydroxyl groups under the donor-acceptor mechanism to the surface of carbon steel with a barrier film formation. Addition of a small amount of low-soluble zinc phosphate into corrosion solution, inhibited by the trehalose-lipid surfactant, substantially reduces the carbon steel corrosion. The degree of protection of carbon steel by the inhibitory composition is 93...96%. The composition provides a higher degree of the carbon steel protection in a synthetic acid rain than its components taken separately.

*Ledovskyykh V. M., Vyshnevskaya Yu. P., Brazhnyk I. V., and Levchenko S. V.*

Thermodynamic approach to purposeful design of synergistic inhibitive compositions for corrosion protection in aqueous saline medium ..... 39

**SUMMARY.** The protective ability of inhibitors against corrosion of steel in aqueous saline solutions is ensured under such metal potentials and pH values that according to the Pourbaix diagram transfer the Fe–H<sub>2</sub>O system to a thermodynamically stable state of hydrated oxides of Fe (III). Under such conditions the binary mixtures of inhibitors of oxidation and salt passivation form highly efficient synergistic compositions that may provide a full metal protection. For aqueous saline solutions the isomolar series method is proposed and its expediency is proved for the purposeful design, investigation and composition optimization of inhibitive mixtures with synergistic effects. It is shown that the complex-forming process has a predominant role in the protective mechanism of inhibitive mixtures based on organic ligands that are capable to form the slightly soluble complexes with metal ions. The highly efficient inhibitive mixtures for steel protection in aqueous saline solutions based on the proposed approach are developed.

**РЕЗЮМЕ.** Показано, що захисну здатність інгібіторів під час корозії сталі у водно-сольових розчинах забезпечено за таких потенціалів металу та рН середовища, які за діаграмою Пурбе переводять систему Fe–H<sub>2</sub>O у термодинамічно тривкий стан гідратованих оксидів феруму (III). За цих умов бінарні суміші інгібіторів оксидної і сольової пасивації утворюють високоефективні синергічні композиції, які здатні забезпечувати повний захист металу. Для водно-сольових розчинів запропоновано метод ізомольярних серій та доведено доцільність його застосування для цілеспрямованої розробки, оптимізації складу і дослідження сумішей інгібіторів з ефектами синергізму. Також показано, що комплексоутворення відіграє визначальну роль у захисному механізмі при застосуванні сумішей на основі органічних лігандів, які здатні утворювати малорозчинні комплексні сполуки з іонами металів. На основі запропонованих підходів розроблені високоефективні інгібіторні суміші для захисту сталі у водно-сольових розчинах.

**РЕЗЮМЕ.** Показано, что защитная способность ингибиторов при коррозии стали в водно-солевых растворах обеспечивается при таких потенциалах металла и pH среды, которые по диаграмме Пурбэ переводят систему Fe–H<sub>2</sub>O в термодинамически устойчивое состояние гидратированных оксидов железа (III). В этих условиях бинарные смеси ингибиторов оксидной и солевой пассивации образуют высокоэффективные синергические композиции, которые способны обеспечивать полную защиту металла. Для водно-солевых растворов предложен метод изомольярных серий и доказана целесообразность его использования для целенаправленной разработки, оптимизации состава и исследования смесей ингибиторов с эффектами синергизма. Также показано, что комплексообразование оказывает доминирующее влияние в защитном механизме при использовании смесей на основе органических лигандов, которые способны образовывать слабо растворимые комплексные соединения с ионами металлов. На основании предложенных подходов разработаны высокоэффективные ингибирующие смеси для защиты стали в водно-солевых растворах.

*Slobodian Z. V., Ilnytsky Z. M., Mahlatiuk L. A., Kupovych R. B.,*

*and Semenyuk I. V.* The influence of eco-inhibitors on lubricating-cooling liquid corrosion activity ..... 48

**РЕЗЮМЕ.** Для підвищення санітарної безпечності мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) запропоновано інгібітори природного походження – рамноліпіди (РБК), сурфактанти (СКР) та екстракти рослинної сировини (ТИС). Встановлено, що за концентрації 0,8 г/л вони захищають сталь 20 у 5%-му розчині МОР на 74...77%, мідь – на 44...69%, а товарний інгібітор на основі амінів захищає сталь 20 на 96%, але стимулює корозію міді. Виявлено, що композиції РБК, СКР та ТИС є інгібіторами



змішаної дії. Струми корозії на сталі 20 та міді в їх присутності корелюють зі швидкостями корозії, отриманими гравіметрично.

*РЕЗЮМЕ.* Для підвищення санітарної безпеки смазочно-охлаждаючих жидкостей (СОЖ) пропонується використовувати інгібітори природного походження – рамноліпиди (РБК), сурфактанти (СКР) і екстракти рослинного сиров'язя (ТИС). Установлено, що при концентрації 0,8 г/л вони захищають в 5%-ом розчині СОЖ сталь 20 на 74...77%, мідь – на 44...69%, а комерційний інгібітор на основі амінів захищає сталь 20 в цьому розчині на 96%, але стимулює корозію міді. Виявлено, що композиції РБК, СКР і ТИС – інгібітори змішаного дії. Токи корозії на сталі 20 і міді в їх присутності корелюють зі швидкостями корозії, отриманими гравіметрично.

*SUMMARY.* To increase the sanitary safety of lubricating-cooling liquids (LCL), the use of eco-inhibitors of natural raw materials – ramnolipids (RBC), surfactants (SKR) and extracts of plant raw materials (TIS) has been proposed. It is established that eco-inhibitors at a concentration of 0.8 g/l protect the steel 20 in a medium of 5% LCL aqueous solution by 74...77% and copper by 44...69%. A commercial amine-based inhibitor protects steel 20 in this solution by 96%, but stimulates the copper corrosion. It is shown that compositions of RBC, SKR and TIS are inhibitors of mixed action. The values of the corrosion currents observed on steel 20 and copper in their presence correlate with the corrosion rate coefficients obtained gravimetrically.

*Khoma M. S., Ratska N. B., Holovey S. A., and Chuchman M. R. Peculiarities of corrosion and microelectrochemical heterogeneity of steels 45 and У8 in hydrogen sulfide environment..... 52*

*РЕЗЮМЕ.* Проаналізовано характер корозії сталей 45 та У8 зі структурами ферито-перліту (перліту), сорбіту, трооститу і мартенситу в сірководневому середовищі. Виявлено, що внаслідок сірководневої корозії на їх поверхні формується нерівномірна сульфидовмісна плівка. Встановлено, що ступінь локалізації виразок та глибинні показники корозії залежать від структури сталей та їх марки. Найінтенсивніше виразки розвиваються на поверхні сталей із мартенситною (сталь У8) і трооститною (сталь 45) структурами. Досліджено мікроелектрохімічну гетерогенність їх поверхонь до і після сірководневої корозії шляхом сканування капілярним зондом у рухомій краплі водного розчину МЕХ. Виявлено, що для сталі 45 із трооститною структурою вона збільшується в ~ 7 разів. У місцях найглибших виразок локальні потенціали найбільші і досягають 300 мВ.

*РЕЗЮМЕ.* Проаналізовано характер корозії сталей 45 і У8 зі структурами феррито-перліта (перліта), сорбіта, троостита і мартенсита в сероводородній середі. Виявлено, що внаслідок сероводородної корозії на їх поверхні формується нерівномірна сульфидсодержаща плівка з язвообразними пошкодженнями. Установлено, що ступінь локалізації язв і їх глибина залежать від структури сталей і вмісту вуглецю. Найбільш інтенсивно вони розвиваються на поверхнях сталі У8 з мартенситною структурою і сталі 45 з трооститною. Досліджено мікроелектрохімічну гетерогенність їх поверхонь до і після сероводородної корозії при скануванні капілярним зондом в рухомій краплі водного розчину МЕХ. Виявлено, що для сталі 45 з трооститною структурою вона збільшується в ~ 7 разів. В місцях найбільш глибоких язв локальні потенціали збільшуються і досягають 300 мВ.

*SUMMARY.* The nature of corrosion of 45 and У8 steels with ferrite-perlite (perlite), sorbite, troostite and martensite structures after various thermal treatments in the hydrogen sulfide environment is analyzed. As a result of hydrogen sulfide corrosion a non-homogeneous sulfide-containing film is formed on the steels surface. It is established that localization of ulcers and their depth depends on the steel structure and carbon content. The most intensive damages are observed on the steel У8 with a martensitic structure and on the

steel 45 with a troostite structure. The microelectrochemical heterogeneity of the steel surface before and after hydrogen sulfide corrosion is investigated by scanning capillary probe in a moving drop of aqueous MEX solution. After exposure to the hydrogen sulfide environment a growth of microelectrochemical heterogeneity of the steels surface is observed. In particular for steel with a troostite structure microelectrochemical heterogeneity increases in  $\sim 7$  times. In places of the deepest ulcers on the steels surface, the local potentials are the largest and reach 300 mV.

*Bersirova O. L. and Kublanovsky V. S.* Electrolytic nickel–rhenium alloys:  
synthesis, structure and corrosion properties..... 57

*РЕЗЮМЕ.* Електролітичні сплави Ni–Re отримано зі сульфаматного та цитратного електролітів за густин струму від 0,3 до 5,0 A·dm<sup>-2</sup> та температур 15 та 40°C. Встановлено кількісний склад покривів, структуру і морфологію осадів залежно від складу електроліту та режимів електролізу. Осади Ni–Re, отримані з простого сульфаматного електроліту, містять 20...60% ренію, а з комплексного цитратного – 5...30% (за низької концентрації перенату калію 0,01 М KReO<sub>4</sub>) та 90...92% (за концентрації 0,02 М KReO<sub>4</sub>). З підвищенням температури під час співосадження зі сульфаматного електроліту вміст ренію у сплаві знижується, а за співосадження з цитратного розчину склад осаду змінюється несуттєво. Виявлено, що структура отриманих сплавів нанокристалічна, а розмір зерен осаду зменшується зі збільшенням в них частки ренію. Корозійна тривкість покривів із меншим вмістом ренію в осаді вища, а найкращі корозійні характеристики демонструють сплави з 8...10% ренію.

*РЕЗЮМЕ.* Электролитические сплавы Ni–Re получены из сульфаматного и цитратного электролитов при плотностях тока от 0,3 до 5,0 A·dm<sup>-2</sup> и температуре 15 и 40°C. Установлены количественный состав покрытий, структура и морфология осадков в зависимости от состава электролита и режимов электролиза. Осадки Ni–Re, полученные из простого сульфаматного электролита, содержат 20...60% рения, а из комплексного цитратного – 5...30% (при низкой концентрации перрената калия 0,01 М KReO<sub>4</sub>) и 90...92% (при концентрации 0,02 М KReO<sub>4</sub>). С повышением температуры при осаждении из сульфаматного электролита содержание рения в сплаве снижается, а из цитратного состав осадка изменяется незначительно. Выведено, что структура полученных сплавов нанокристаллическая, а размер зерен осадка уменьшается с увеличением в них доли рения. Коррозионная стойкость покрытий с меньшим содержанием рения в осадке выше. Лучшие коррозионные свойства демонстрируют сплавы с 8...10% рения.

*SUMMARY.* Electrolytic Ni–Re alloys are obtained from sulfamate and citrate electrolytes at current densities from 0.3 to 5.0 A·dm<sup>-2</sup> and at temperatures of 15 and 40°C. The quantitative composition of the coatings, structure and morphology of the obtained deposits, depending on the composition of the electrolyte and the electrolysis modes, have been established. The Ni–Re alloys, deposited from a simple sulfamate electrolyte, contain 20...60% rhenium, and from the complex citrate bath 5...30% (for low concentrations of potassium perrenate 0.01 М KReO<sub>4</sub>) and 90...92% (at concentration 0.02 М KReO<sub>4</sub>). The increase in temperature during electrodeposition from sulfamate electrolyte reduces the rhenium content in the alloy, and from the citrate only slightly affects the composition of the deposit. It is found that the structure of the obtained alloys is nanocrystalline, the grain size of the deposit decreases with an increase in the fraction of rhenium in the alloy. Corrosion resistance is higher for coatings with less rhenium content in the deposit. The best corrosion properties are demonstrated by the alloys about 8...10% rhenium.

*Shtefan V. V., Smirnov O. O., Bezhenko A. O., Yepifanova A. S., Kanunnikova N. O., Metenkanych M. M., and Knyazyev S. A.* Corrosion behavior of cobalt–molybdenum alloys in chloride solutions..... 62

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено захисні властивості покриття сплавом Co–Mo у 3% NaCl та 5% HCl, що містять 0; 10; 25; 50; 75 та 85 mass% Mo. Методом імпедансної спектроскопії побудована еквівалентна схема і розраховані її параметри. За отриманими результатами зроблено висновки про корозійну тривкість сплаву у хлоридвмісних середовищах. Одержано інформацію про елементний склад покриттів і вивчено морфологію їх поверхонь. Виявлено, що в сплаві Co–Mo переважає сполука Co<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы защитные свойства покрытия сплавами Co–Mo в 3% NaCl и 5% HCl водных растворах, содержащих 0; 10; 25; 50; 75 и 85 mass% Mo. Методом импедансной спектроскопии установлена эквивалентная схема и рассчитаны ее параметры. На основании полученных результатов сделаны выводы о коррозионной стойкости сплава в хлоридсодержащих средах. Получены данные об элементном составе и изучена морфология поверхностей покрытий. Выявлено, что в сплаве Co–Mo преобладает соединение Co<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>.

*SUMMARY.* The protective properties of Co–Mo alloys coating in the 3% NaCl and 5% HCl aqueous solutions containing Mo 0; 10; 25; 50; 75 and 85 mass% are investigated. The method of impedance spectroscopy is used to determine the equivalent scheme and to calculate its parameters. Based on the results obtained, the conclusions are drawn on the corrosion resistance of the alloy in the chloride-containing environments. The obtained data on the elemental composition of investigated coatings, studied surface morphology. The X-ray diffraction studies has been presented that show that the Co–Mo compound is predominant in the Co<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub> compound.

*Maizelis A. O. and Bairachnyi B. I.* Corrosion of neodymium magnets in polyligand solutions..... 68

*РЕЗЮМЕ.* Подано результати дослідження корозійної поведінки рідкісноземельних неодимових магнетів з додатками кобальту і диспрозію в середовищах, які містять іони амонію та пірофосфату і відповідають комплексним електролітам для нанесення гальванічних покриттів. Використано методи циклічної та лінійної вольтамперометрії, хроноамперометрії, хронопотенціометрії і ваговий метод. У полілігандному амонійно-пірофосфатному розчині потенціал корозії магнету займає проміжне положення між значеннями у пірофосфатному та амонійному розчинах, а струм корозії нижчий. За підключування вагові втрати легованого магнету, який перебуває в полілігандному розчині без струму, знижуються. Показано, що під струмом вони мінімальні поблизу стаціонарного потенціалу і збільшуються як за анодного розчинення магнету, так і за катодної деградації внаслідок виділення водню. В умовах періодичної зміни потенціалу магнету біля його стаціонарного значення, яке реалізується під час формування мультишарових покриттів, вагові втрати істотно знижуються і становлять 0,42 mg/(cm<sup>2</sup>·h). Потенціал легованого магнету, зануреного у полілігандний електроліт для осадження мультишарових (Cu–Ni)/(Ni–Cu) покриттів, відповідає області потенціалів (–0,8...–0,7 V) осадження компактного шару міді. Густина струму контактного обміну впродовж 1 min майже досягає свого максимального значення (0,95 mA/cm<sup>2</sup>) і практично загасає через 40 min.

*РЕЗЮМЕ.* Представлены результаты исследования коррозионного поведения редкоземельных неодимовых магнитов с добавками кобальта и диспрозия в средах, содержащих ионы аммония и пирофосфата и соответствующих комплексным электролитам для нанесения гальванических покрытий. Использовали методы циклической и линейной вольтамперометрии, хроноамперометрии, хронопотенциометрии и весовой метод. В полилигандном аммиакатно-пирофосфатном растворе потенциал коррозии магнита занимает промежуточное положение между значениями в пирофосфатном и аммиакатном растворах, а ток коррозии ниже. При подщелачивании

весовые потери легированного магнита, находящегося в полилигандном растворе без тока, снижаются. Показано, что под током они минимальны вблизи стационарного потенциала, увеличиваясь как при анодном растворении магнита, так и при катодной деградации, вызванной выделением водорода. В условиях периодического изменения потенциала магнита около его стационарного значения, которое реализуется при формировании мультислойных покрытий, весовые потери существенно снижаются и составляют  $0,42 \text{ mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ . Потенциал легированного магнита, погруженного в полилигандный электролит для осаждения мультислойных (Cu–Ni)/(Ni–Cu) покрытий соответствует области потенциалов ( $-0,8 \dots -0,7 \text{ V}$ ) осаждения компактного слоя меди. Плотность тока контактного обмена в течение 1 min почти достигает своего максимального значения ( $0,95 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ) и практически затухает через 40 min.

*SUMMARY.* The results of the study of corrosion behavior of rare-earth neodymium magnets doped with cobalt and dysprosium in media containing ammonium and pyrophosphate ions corresponding to complex electrolytes for electrodeposition are presented. The cyclic and linear voltammetry, chronoamperometry, chronopotentiometry and the weight methods are used. In a polyligand ammonia-pyrophosphate solution, the potential for magnet corrosion is in the intermediate position between the values in pyrophosphate and ammonia solutions, and the corrosion current is lower. The weight loss of the doped magnet in the polyligand solution without current decreases after alkalization. It is shown that under current they are minimal at the near stationary potential increasing both in anodic dissolution of magnet and cathodic degradation causing hydrogen evolution. Under conditions of the periodic change of magnet potential around its stationary value, which is realized during the multilayer coating formation, the weight loss is significantly reduced to  $0.42 \text{ mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ . The potential of a doped magnet immersed in a polyligand electrolyte for the (Cu–Ni)/(Ni–Cu) multilayer coatings corresponds to the potential region ( $-0.8 \dots -0.7 \text{ V}$ ) of the compact copper layer deposition. The current density of contact exchange during the first minute almost reaches its maximum value of  $0.95 \text{ mA}/\text{cm}^2$  and practically decays after 40 min.

*Hertsyk O. M., Pereverzeva T. H., Boichyshyn L. M., Kovbuz M. O., and Pandiak N. L.* The influence of heat treatment of oligomer coatings on corrosion resistance and amorphous Al-based alloys ..... 74

*РЕЗЮМЕ.* Методами хронопотенціометрії, вольтамперометрії та електрохімічної імпедансної спектроскопії досліджено залежність електрохімічних параметрів корозії алюмінієвих аморфних сплавів  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{5,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Gd}_{5,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{4,0}\text{Gd}_{1,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Gd}_{5,0}\text{Ni}_{4,0}\text{Fe}_{4,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{4,0}\text{Gd}_{1,0}\text{Ni}_{4,0}\text{Fe}_{4,0}$  від температури обробки та нанесення на поверхню олігопероксидних захисних шарів. Виявлено, що ефективність сформованого шару визначають склад розчину олігопероксиду та вміст рідкісноземельних легувальних додатків у цих сплавах.

*РЕЗЮМЕ.* Методами хронопотенциометрии, вольтамперометрии и электрохимической импедансной спектроскопии исследована зависимость электрохимических параметров коррозии алюминиевых аморфных сплавов  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{5,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Gd}_{5,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{4,0}\text{Gd}_{1,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Gd}_{5,0}\text{Ni}_{4,0}\text{Fe}_{4,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{4,0}\text{Gd}_{1,0}\text{Ni}_{4,0}\text{Fe}_{4,0}$  от температуры обработки и нанесения на поверхность олигопероксидных защитных слоев. Выведено, что эффективность сформированного слоя зависит от состава раствора олигопероксида и содержания редкоземельных легирующих добавок в алюминиевых аморфных сплавах.

*SUMMARY.* The dependence of electrochemical parameters of aluminium amorphous alloys  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{5,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Gd}_{5,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{4,0}\text{Gd}_{1,0}\text{Ni}_{8,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Gd}_{5,0}\text{Ni}_{4,0}\text{Fe}_{4,0}$ ,  $\text{Al}_{87,0}\text{Y}_{4,0}\text{Gd}_{1,0}\text{Ni}_{4,0}\text{Fe}_{4,0}$  on the heat treatment temperature and oligoperoxide protective layers on the surface was investigated by chronopotentiometry and voltammetry methods, electrochemical impedance spectroscopy. It was found that effectiveness of oligoperoxide treatment

dependents on the composition of oligoperoxide solutions and rare earth additives in the investigated samples.

*Student M. M., Pokhmurska H. V., Zadorozhna Kh. R., Veselivska H. H.,  
Hvozdetzkyi V. M., and Sirak Ya. Ya.* Corrosion resistance of VC–FeCr  
and VC–FeCrCo coatings obtained by supersonic gas-flame spraying..... 82

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено покриття системи VC–FeCr завтовшки 100  $\mu\text{m}$  на підкладці із алюмінієвого сплаву Д16, нанесені надзвуковим газополумєним методом напылення (HVOF – High Velocity Oxygen Fuel Flame Spraying process, паливо пропан–кисень). Для порівняння використано метод плазмового напылення покриттів у динамічному вакуумі, який забезпечує найвищу якість газотермічних покриттів. Порошки для напылення виготовлено методом механічного легування із використанням планетарного млина. Вихідні компоненти – порошки карбїду ванадію, ферохрому та сплаву кобальту із нікелем. Оцінено корозійно-електрохімічну властивість покриттів у 3%-му розчині NaCl за температури  $20\pm 0,2^\circ\text{C}$  і виявлено, що вони мають високу корозійну тривкість, яка корелює із їхньою поруватістю. Довготривала експозиція зразків із покритвом у 3%-му розчині NaCl спричиняє проникнення агресивного середовища до межі поділу покриття–підкладка, що може викликати підплівкову корозію та відшарування покриття. Встановлено, що найвищу корозійну тривкість має покриття VC–FeCrCo, поруватість якого не перевищує 0,5%, отриманий плазмовим методом у динамічному вакуумі. Його корозійні струми в 2 рази нижчі порівняно з тим же покритвом, отриманим методом HVOF.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы покрытия системы VC–FeCr толщиной 100  $\mu\text{m}$  на подложке из алюминиевого сплава Д16, нанесенные с помощью сверхзвукового газопламенного метода напыления (HVOF – High Velocity Oxygen Fuel Flame Spraying process, топливо пропан–кислород). Для сравнения использовали метод плазменного напыления покрытий в динамическом вакууме, обеспечивающий высочайшее качество газотермических покрытий. Порошки для напыления изготавливали методом механического легирования с использованием планетарной мельницы. Исходные компоненты – порошки карбида ванадия, феррохрома и сплава кобальта с никелем. Оценены коррозионно-электрохимические свойства покрытий в 3%-ом растворе NaCl при температуре  $20\pm 0,2^\circ\text{C}$  и выявлено, что покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью, которая коррелирует с их пористостью. Долговременная экспозиция образцов с покрытием в 3%-ом растворе NaCl приводит к проникновению агрессивной среды к границе раздела покрытие–подложка, что может вызвать подпленочную коррозию и отслоение покрытия. Установлено, что самая высокая коррозионная стойкость у покрытия VC–FeCrCo, пористость которого не превышает 0,5%, полученного плазменным методом в динамическом вакууме. Его коррозионные токи в 2 раза ниже по сравнению с тем же покрытием, полученным методом HVOF.

*SUMMARY.* The VC–FeCr coatings with a thickness of 100  $\mu\text{m}$  were deposited on a substrate of D16 aluminum alloy using a supersonic gas-flame spraying method (HVOF – High Velocity Oxygen Fuel Flame Spraying process, fuel propane–oxygen). For comparison, the method of plasma spraying of coatings in a dynamic vacuum was used, which ensured the highest quality of the gas-thermal coatings. Powders for spraying were obtained by mechanical alloying using a planetary mill. The initial components for this were carbide powders of vanadium, ferrochrome and cobalt–nickel alloy. Corrosion-electrochemical properties of the coatings were evaluated in a 3% NaCl solution at a temperature of  $20\pm 0.2^\circ\text{C}$ . Coatings had high corrosion resistance, that correlated with their porosity. A long-term exposure of the coated samples in the 3% NaCl solution lead to the penetration of the aggressive medium to the coating-substrate interface, which could cause sub-film corrosion and delamination of the coating. It was established that the highest corrosion resistance was observed for the VC–FeCrCo coating, the porosity of which did not exceed

0.5%, obtained by the plasma method in a dynamic vacuum. Its corrosion currents were 2-fold lower compared to the same coating produced by the HVOF method.

*Tkachuk O. V., Pohrelyuk I. M., Proskurnyak R. V., Guspiel J., Beltowska-Lehman E., and Morgiel J.* Electrochemical behaviour of Ti–6Al–4V alloy in Ringer’s solution after oxynitration ..... 88

*SUMMARY.* Corrosion behaviour of nitrided and oxynitrided Ti–6Al–4V alloy in the Ringer’s solution (simulated body fluid) at a temperature of 37°C was investigated. It was determined that corrosion resistance of the alloy in both cases was improved: the corrosion current density decreased, polarization resistance increased and corrosion potential became nobler.

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено корозійну поведінку азотованого та оксинітрованого титанового сплаву Ti–6Al–4V у розчині Рінгера за температури 37°C, який моделює тканинну рідину людського організму. Встановлено, що в обох випадках підвищується корозійна тривкість сплаву: густина струму корозії знижується, поляризаційний опір зростає, а потенціал корозії ушляхетнюється.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано коррозийное поведение азотированного и оксинитрированного титанового сплава Ti–6Al–4V в растворе Рингера при температуре 37°C, который моделирует тканевую жидкость человеческого организма. Установлено, что в обоих случаях повышается коррозионная стойкость сплава: плотность тока коррозии снижается, поляризационное сопротивление увеличивается, а потенциал коррозии облагораживается.

*Tepla T. L., Duriagina Z. A., and Kulyk V. V.* Effect of the disinfectant solution on corrosion resistance of dental instrument ..... 92

*РЕЗЮМЕ.* Оцінено корозійну тривкість аустенітної сталі типу Immunity Steel, з якої виготовляли стоматологічний інструмент. Для відтворення умов впливу дезінфікувального середовища, зразки досліджуваного матеріалу спочатку витримували у водопровідній воді за кімнатної температури, а потім у дезінфікувальному водному розчині Desco Bohrerbad. Встановлено, що збільшення витримки сталі Immunity Steel у розчині Desco Bohrerbad інтенсифікує корозійні процеси.

*РЕЗЮМЕ.* Оценена коррозионная стойкость аустенитной стали типа Immunity Steel, из которой изготавливали стоматологический инструмент. Для воспроизведения условий воздействия дезинфицирующей среды, образцы исследуемого материала сначала удерживали в водопроводной воде при комнатной температуре, а затем в дезинфицирующем водном растворе Desco Bohrerbad. Установлено, что увеличение выдержки стали Immunity Steel в растворе Desco Bohrerbad интенсифицирует коррозионные процессы.

*SUMMARY.* Corrosion resistance of austenitic steel of the Immunity Steel type, from which the dental instrument was made, was estimated. To reproduce the conditions of exposure to the disinfecting medium, the samples of the test material were first retained in tap water at room temperature and then in Desco Bohrerbad disinfected aqueous solution. It was established that an increase in exposure of Immunity Steel in Desco Bohrerbad solution intensified the corrosion processes.

*Fedirko V. M., Kukhar I. S., and Melnyk Kh. R.* The influence of phase-structural state of chromium steels on their corrosion behaviour in lead melts ..... 96

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив фазово-структурного стану аустенітних (Fe–18Cr) та феритних (Fe–11Cr) сталей на корозійну поведінку в розплаві свинцю з низькою концентрацією розчиненого кисню ( $C_{[O]Pb} = 2 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-7}$  mass%). Випробування виконано при 550°C. Визначено, що феритна сталь корозійнотривкіша проти аустеніт-

ної. Корозія супроводжується розчиненням меж зерен та проникненням розплаву в глибину матеріалу з одночасним розчиненням легувальних елементів (Cr, Ni, Mn).

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние фазово-структурного состояния аустенитных (Fe–18Cr) и ферритных (Fe–11Cr) сталей на коррозионное поведение в расплаве свинца с низкой концентрацией растворенного кислорода ( $C_{[O]Pb} = 2 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-7}$  mass%). Испытания проведено при 550°C. Установлено, что ферритная сталь более коррозионно-стойкая, нежели аустенитная. Коррозия сопровождается растворением границ зерен и проникновением расплава вглубь материала с одновременным растворением легирующих элементов Cr, Ni, Mn.

*SUMMARY.* The influence of the phase-structural state of austenitic (Fe–18Cr) and ferritic (Fe–11Cr) steels on the corrosion behaviour in lead melts with low concentration of dissolved oxygen ( $C_{[O]Pb} = 2 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-7}$  mass%) was investigated. The tests were carried out at of 550°C. It was determined that ferritic steel is characterized by better corrosion resistance compared to austenitic one. The corrosion process is accompanied by decomposition of the grain boundaries and penetration of the melt deep into the material with the simultaneous dissolution of the alloying elements Cr, Ni, Mn.

*Sachanova Yu. I., Yermolenko I. Yu., Ved M. V., Sakhnenko M. D., Nenastina T. O., and Yar-Mukhamedova G. Sh.* The influence of refractory components content on corrosion resistance of ternary iron- and cobalt-based alloys ..... 100

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив концентрації компонентів цитратних електролітів на основі Fe (III) та режимів електролізу на склад покривів тернарними сплавами Fe–Co–Mo, Fe–Co–W і Fe–Mo–W. Виявлено, що тернарні сплави формуються за механізмом конкурентного відновлення кобальту і вольфраму (молібдену) з залізом. Зі збільшенням концентрації ліганду покриви збагачуються тугоплавким компонентом, однак, з підвищенням густини струму зафіксовано зворотну тенденцію. Встановлено, що імпульсний електроліз підвищує ефективність процесу і сприяє зростанню виходу за струмом до 70...75 %. Методом СЕМ та рентгеноспектральним мікроаналізом виявлено вплив природи та вмісту тугоплавких компонентів на морфологію покривів. Проаналізовано вплив складу тернарних покривів на їх корозійну тривкість у середовищах різної кислотності та каталітичну активність в електрохімічній реакції виділення водню. Методами поляризаційного опору і спектроскопії електродного імпедансу встановлено, що корозійна тривкість покривів на 1,3–2,0 порядки вища, ніж матеріалу підкладки. Визначено залежність природи гальмування корозії від складу електролітичних сплавів.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние концентрации компонентов цитратных электролитов на основе Fe(III) и режимов электролиза на состав покрытий тернарными сплавами Fe–Co–Mo, Fe–Co–W и Fe–Mo–W. Вывявлено, что эти сплавы формируются по механизму конкурентного восстановления кобальта и вольфрама (молибдена) с железом. С увеличением концентрации лиганда покрытия обогащаются тугоплавкими компонентами, однако, с ростом плотности тока наблюдается обратная тенденция. Установлено, что импульсный электролиз повышает эффективность процесса и способствует выходу по току до 70... 75%. Методом СЭМ и рентгеноспектрального микроанализа выявлено влияние природы и содержания тугоплавких компонентов на морфологию покрытий. Проанализировано воздействие состава тернарных покрытий на их коррозионную стойкость в средах различной кислотности и каталитическую активность в электрохимической реакции выделения водорода. Методами поляризационного сопротивления и спектроскопии электродного импеданса обнаружено, что коррозионная стойкость покрытий на 1,3–2,0 порядка выше, чем материала подложки. Установлена зависимость природы торможения коррозионного процесса от состава электролитических сплавов.

*SUMMARY.* The effect of the citrate electrolytes based on Fe(III) components concentration and electrolysis regimes on the composition of the Fe–Co–Mo, Fe–Co–W

and Fe–Mo–W coatings is investigated. It is shown that the formation of ternary alloys takes place according to the mechanism of the competitive reduction of cobalt and tungsten (molybdenum) with iron. With increasing concentration of ligand, the coating is enriched with a refractory component; however, with increasing current density there is a reverse trend. The application of pulse electrolysis helps to increase the rate of the process and the increase the current efficiency by 70...75%. The effect of nature and content of refractory components on the morphology of the deposits was determined by the method of SEM and X-ray microanalysis. The influence of the ternary coatings composition on their corrosion resistance in media of different acidity and catalytic activity in the electrochemical reaction of hydrogen evolution is analyzed. The methods of polarization resistance and spectroscopy of electrode impedance have established that the corrosion resistance of the coatings is 1.3...2.0 orders of magnitude higher than the parameters of the substrate material. Dependence of the corrosion process retardation nature on the composition of electrolytic alloys is determined.

*Nyrkova L. I., Melnychuk S. L., Osadchuk S. O., and Rybakov A. O. Stress-corrosion cracking of X70 pipe steel at a potential approximated to the maximum protection potential* ..... 110

*РЕЗЮМЕ.* Методом деформації з повільною швидкістю досліджено схильність трубної сталі X70 до корозійного розтріскування під напруженням (КРН). Для цього використано коефіцієнт  $K_S$ , який дорівнював співвідношенню значень відносного звуження зразка у повітрі і розчині. Виявлено, що у модельному ґрунтовому електроді за потенціалу корозії зразки руйнуються швидше, ніж у повітрі. Значення коефіцієнта  $K_S$  знаходяться у межах від 1,02 до 1,24, що характеризує сталь як не схильну до КРН за цих умов. Зі зміщенням від потенціалу корозії до  $-1,0$  V закономірності корозійно-механічного руйнування змінюються: зразки розриваються за майже максимального напруження, ділянки в'язкого руйнування значно коротші, ніж за потенціалу корозії, характер руйнування змінюється від в'язкого до крихкого з в'язким доломом. Значення коефіцієнта  $K_S$  знаходяться у межах від 1,65 до 2,15, тобто за таких умов сталь проявляє схильність до КРН. Підтверджено, що механічні напруження, корозивно-агресивне середовище та захисний потенціал є основними чинниками, а інші – додатковими, які підсилюють або послаблюють вплив основних, не змінюючи механізм процесу.

*РЕЗЮМЕ.* Методом деформации с медленной скоростью исследована склонность трубной стали X70 к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН). Для этого исследован коэффициент  $K_S$ , равный соотношению значений относительного сужения образца на воздухе и в растворе. Выявлено, что в модельном грунтовом электролите при потенциале коррозии образцы разрушаются быстрее, чем в воздухе. Значения коэффициента  $K_S$  находятся в пределах от 1,02 до 1,24, что характеризует сталь как склонную к КРН в этих условиях. При смещении от потенциала коррозии к  $-1,0$  V закономерности коррозионно-механического разрушения изменяются: образцы разрушались при почти максимальной нагрузке, участки вязкого разрушения значительно короче, чем при потенциале коррозии, характер разрушения изменялся от вязкого к хрупкому с вязким доломом. Значения коэффициента  $K_S$  находились в пределах от 1,65 до 2,15, т.е. при таких условиях сталь X70 проявляла склонность к КРН. Установлено, что механические напряжения, коррозионно-агрессивная среда и защитный потенциал являются основными факторами, а все остальные – дополнительными, которые усиливают или ослабляют влияние основных, не меняя механизма процесса.

*SUMMARY.* The effect of the stress-corrosion factors on the susceptibility of the X70 pipe steel to stress corrosion cracking (SCC), using the slow strain rate deformation method, was investigated. The susceptibility of steel to SCC was estimated by the coefficient, which is equal to the ratio of the relative narrowing of the specimen in air to the relative narrowing in the solution. It was shown that at corrosion potential X70 steel



specimens failed faster in the model soil electrolyte (NS4) than in the air. The values of the  $K_S$  coefficient were in the range from 1.02 to 1.24, which characterized the X70 steel as not susceptible to SCC under those conditions. When shifting the potential from the corrosion potential to  $-1.0$  V, the changing in regularities of corrosion-mechanical behaviour was noted: the sample rupture occurred almost at maximum stress, the area of tensile fracture was much shorter than at corrosion potential, the nature of the fracture varied from ductile to brittle with a ductile fracture. The values of the coefficient  $K_S$  were within the range from 1.65 to 2.15, so under such conditions the X70 steel was susceptible to SCC. The investigation results confirmed that mechanical stress, corrosive environment and protective potential were the main factors, others were additional which increased or decreased the influence of the main factors without changing the process mechanism.

*Calan-Canche D., García-Hernández R., Dzib-Pérez L., Bilyy O., and González-Sánchez J.* Susceptibility to absorption of atomic hydrogen in API 5L X60 steels with unconventional heat treatment ..... 116

**SUMMARY.** Electrochemical behavior of API 5L X60 steel was analyzed in the as-received state and after non-conventional quenching (heated at  $1050^\circ\text{C}$  for 30 min and quenched in water) by potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy in the standard NS4 solution. Samples were potentiostatically hydrogenated for different time in the NS4 solution and the concentration of sub-surface absorbed hydrogen was evaluated by electrochemical oxidation. The heat treated samples absorbed less subsurface hydrogen compared with the base metal due to the presence of more reversible traps in the bainite and acicular ferrite phases. The kinetics of the hydrogen formation was monitored by recording the current which is directly related with the surface changes that occur in the samples tested. The standard deviation of the current in the heat treated steel samples showed the lower values compared to the base metal, which indicates differences in the catalytic activity between the two metallurgical conditions.

**РЕЗЮМЕ.** Проаналізовано електрохімічну поведінку сталі API 5L X60 у вихідному стані та після гартування (нагрів до  $1050^\circ\text{C}$  упродовж 30 min і охолодження у воді) методом потенціодинамічної поляризації і спектроскопії електрохімічного імпедансу в стандартному розчині NS4. Зразки наводнювали за допомогою потенціостата в розчині NS4, концентрацію поглинутого підповерхневого водню оцінювали, застосовуючи електрохімічне окиснення. Виявили, що зразки після термічної обробки абсорбуються цим воднем менше, ніж у вихідному стані, що зумовлено більшою кількістю реверсивних пасток на бейнітових та ацикулярних феритових фазах. Кінетику формування водню контролювали, реєструючи струм, який безпосередньо пов'язаний зі змінами поверхні. Стандартне відхилення значення струму в гартованих зразках вказало на нижчі його значення проти вихідного металу, а отже, на відмінності каталітичної активності двох металургійних станів.

**РЕЗЮМЕ.** Проанализировано электрохимическое поведение стали API 5L X60 в исходном состоянии и после закаливания (нагрев до  $1050^\circ\text{C}$  в течение 30 min и охлаждение в воде) методом потенциодинамической поляризации и спектроскопии электрохимического импеданса в стандартном растворе NS4. Образцы наводороживали с помощью потенциостата в растворе NS4, концентрацию поглощенного подповерхностного водорода оценивали, применяя электрохимическое окисление. Выявили, что образцы после термической обработки абсорбируются этим водородом меньше, чем в исходном состоянии, вследствие большего количества реверсивных ловушек на бейнитовых и ацикулярных ферритных фазах. Кинетику формирования водорода контролировали, регистрируя ток, который непосредственно связан с изменениями поверхности. Стандартное отклонение значений тока в закаленных образцах свидетельствует о более низких значениях по сравнению с исходным металлом, а, следовательно, о различии каталитической активности двух металлургических состояний.

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено специфіку впливу наводнювання Ni–Ti сплаву з пам’яттю форми на його схильність до деформування з використанням металографічних, електрохімічних та механічних досліджень. На кривих розтягу зразків зі сплаву Ni–Ti у початковому стані виділено три ділянки. Перша з них лінійна, обумовлена пружною деформацією сплаву з вихідною структурою аустеніту; друга – нелінійна, пов’язана з псевдопружними структурними перетвореннями вихідної структури аустеніту в мартенсит; а третя – лінійна, викликана пружною деформацією мартенситу, що утворився під час деформації аустеніту. Після наводнювання сплаву Ni–Ti псевдопружна трансформація структури розпочинається за нижчого напруження, ніж без наводнювання. В цьому випадку зразки руйнуються після завершення такої трансформації і за суттєво меншої пластичності порівняно з ненаводненим сплавом. Припущено, що за електролітичного наводнювання на поверхні сплаву Ni–Ti виникають умови для утворення шару дуже крихкої гідридної фази, товщину якого визначає не струм під час наводнювання, а тривалість процесу.

*РЕЗЮМЕ.* Установлена специфика влияния наводороживания Ni–Ti сплава с памятью формы на его склонность к деформации с использованием металлографических, электрохимических и механических исследований. На кривых растяжения образцов из сплава Ni–Ti в исходном состоянии выделили три участка. Первый из них – линейный, обусловленный упругой деформацией сплава с исходной структурой аустенита; второй участок, связанный с псевдоупругими структурными превращениями исходной структуры аустенита в мартенсит; а третий – линейный, полученный при упругой деформации мартенсита, образовавшегося во время деформирования аустенита. После наводороживания сплава Ni–Ti псевдоупругая трансформация структуры начинается с более низкого напряжения, чем без наводороживания. В этом случае образцы разрушаются в конце периода трансформации и при значительно меньшей пластичности по сравнению с ненаводороженным сплавом. Предположили, что при электролитическом наводороживании на поверхности сплава Ni–Ti возникают условия для образования очень хрупкой гидридной фазы, и ее толщина не зависит от тока, используемого при наводороживании, но определяется его продолжительностью.

*SUMMARY.* Metallographic, electrochemical and mechanical investigations were carried out to study the effect of hydrogenation on the tendency of the Ni–Ti alloy with shape memory to deformation. Three sections were revealed on the tension loading curves of the nickel–titanium alloy specimens in the initial state. The first of them is the linear section due to elastic deformation of the alloy with initial austenite structure; the second one is a nonlinear section associated with pseudo-elastic structural transformations of the original austenite structure to a martensite one; and the third one is the linear section obtained under elastic deformation of the martensite formed during austenite deformation process. After nitinol alloy hydrogenation the pseudo-elastic structural transformation begins at a somewhat lower stress than without hydrogenation. In this case the specimens are brittle damaged at the end of the transformation period and at a significantly lower plasticity, compared to the non-hydrogenated alloy. It was assumed that electrolytic hydrogenation of the nitinol alloy promoted the formation of a very brittle hydride phase on the surface of the Ti-type inclusions revealed in the alloy structure in the virgin state. Its thickness does not depend on the current used during hydrogenation, but is determined by its duration.

*Prikhna T. O., Podhurska V. Ya., Ostash O. P., Vasylyv B. D., Sverdun V. B., Karpets M. V., and Serbeniuk T. B.* The influence of technology of obtaining composites based on titanium MAX-phases on wear under contact with copper. Part I. Two-step technology ..... 131

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено трибологічні властивості матеріалів для електроконтактної вставки пантографа трамвая у парі з міддю марки М1 контактного проводу силової електричної мережі. Кандидатними матеріалами вставки були композити на основі МАХ-фаз  $Ti_3AlC_2$ ,  $(Ti, Nb)_3AlC_2$  та  $Ti_2AlC$ , а також  $TiC$  та  $Al_2O_3$ . Найбільшою зносотривкістю володіли композити з вмістом 85...95% МАХ-фази структурної модифікації 312. Їх знос після 5 km шляху за контактного напруження 0,25 МПа (що відповідає умовам експлуатації) виявився у 20 разів меншим, ніж алюмінієвого сплаву, який застосовують для виготовлення вставок пантографів в Україні. Зносотривкість міді М1 також залежала від фазового складу матеріалу вставки: у контакті з композитами на основі 95%  $Ti_3AlC_2$  + 5%  $TiC$  або 85%  $(Ti, Nb)_3AlC_2$  + 10%  $TiC$  + 5%  $Al_2O_3$  вона у 4–5 разів вища, ніж у контакті з алюмінієвим сплавом.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы трибологические свойства материалов для электроконтактной вставки пантографа трамвая в паре с медью марки М1 контактного провода силовой электрической сети. Кандидатными материалами вставки были композиты на основе МАХ-фаз  $Ti_3AlC_2$ ,  $(Ti, Nb)_3AlC_2$  и  $Ti_2AlC$ , а также  $TiC$  и  $Al_2O_3$ . Наибольшую износостойкость имели композиты с содержанием 85...95% МАХ-фазы структурной модификации 312. Их износ после 5 km пути при контактном напряжении 0,25 МПа (что соответствует условиям эксплуатации) оказался меньше в 20 раз, чем алюминийевого сплава, применяемого для изготовления вставок пантографов в Украине. Износостойкость меди М1 также зависела от фазового состава материала вставки: в контакте с композитами на основе 95%  $Ti_3AlC_2$  + 5%  $TiC$  или 85%  $(Ti, Nb)_3AlC_2$  + 10%  $TiC$  + 5%  $Al_2O_3$  она в 4–5 раз выше, нежели в контакте с алюминийевым сплавом.

*SUMMARY.* The tribological properties of the materials for a slide plate of the tram pantograph in pair with the material (copper grade M1) of the mains power grid are investigated. As candidate materials for pantograph slide plate composites based on the MAX phases of  $Ti_3AlC_2$ ,  $(Ti, Nb)_3AlC_2$  and  $Ti_2AlC$ , as well as  $TiC$  and  $Al_2O_3$  were studied. The highest wear resistance was observed for composites with a content of 85...95% of the MAX phase of the structural modification 312. The wear of these materials after 5 km of the path at a contact stress of 0.25 MPa (which corresponded to the operating conditions) turned out to be 20 times less in comparison with the aluminum alloy used in Ukraine for the pantograph slide plate. The durability of grade M1copper also depended on the phase composition of the slide plate material: in pair with composites based on 95%  $Ti_3AlC_2$  + 5%  $TiC$  or 85%  $(Ti, Nb)_3AlC_2$  + 10%  $TiC$  + 5%  $Al_2O_3$ , it was 4–5 times higher than in contact with the aluminum alloy.

*Gerasyenko Yu. S., Vasylieva S. M., and Novosad A. A.* The influence of ultrasound on anti-corrosion properties of carbonate scale during its thermal formation..... 137

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено термічне формування карбонатного накипу на поверхні сталі та вплив ультразвуку на його структуру за допомогою двох різних підходів до введення ультразвукової енергії в зону накипоутворення: крізь воду та крізь метал. Встановлено, що передавання ультразвукової енергії крізь метал дає змогу формувати захисний шар накипу з ліпшими блокувальними властивостями. Накип на сталевій поверхні, утворений в режимі парового котла з одночасною обробкою ультразвуком упродовж 50 h, є суцільним, мікрокристалічним та дуже щільним. Розміри кристалів не перевищують 2...3  $\mu m$ , щільність шару – 2,55  $g/cm^3$ , що наближається до щільності кальциту – 2,71  $g/cm^3$ , тоді як без ультразвуку вона становить 1,7  $g/cm^3$  з розмірами кристалів 30...40  $\mu m$ . Показано, що для такого шару швидкість корозії сталі не

перевищує нормативне значення 0,05 mm/year, а теплопередача від металу до води практично не порушується внаслідок високої щільності та малої товщини накипу.

*РЕЗЮМЕ.* Исследованы процессы термического формирования карбонатной накипи на поверхности стали и влияние ультразвука на ее структуру с помощью двух разных подходов к введению ультразвуковой энергии в зону накипеобразования: сквозь воду и сквозь металл. Установлено, что передача ультразвуковой энергии сквозь металл позволяет формировать защитный слой накипи с лучшими блокирующими свойствами. Слой накипи на стальной поверхности, образованный в режиме парового котла с одновременной обработкой ультразвуком в течение 50 h, является сплошным, микрокристаллическим и очень плотным. Размеры кристаллов не превышают 2...3  $\mu\text{m}$ , плотность слоя – 2,55  $\text{g/cm}^3$  и приближается к плотности кальцита – 2,71  $\text{g/cm}^3$ , тогда как без ультразвука она составляет 1,7  $\text{g/cm}^3$  с размерами кристаллов 30...40  $\mu\text{m}$ . Показано, что для такого слоя скорость коррозии стали не превышает нормативное значение 0,05 mm/year, а теплопередача от металла к воде практически не нарушается вследствие высокой плотности и малой толщины накипи.

*SUMMARY.* The processes of thermal formation of carbonate scale on the steel surface and the influence of ultrasound on the scale structure was investigated using two different approaches to the introduction of ultrasonic energy into the scaling zone: through water and through the metal. It was established that transfer of ultrasonic energy through the metal enabled formation of a protective scale layer with better blocking properties. The scale layer on the steel surface formed under a steam boiler mode and concurrent ultrasound exposure within 50 h was continuous, microcrystalline and very dense. The crystal sizes did not exceed 2...3  $\mu\text{m}$ , the layer density reached 2.55  $\text{g/cm}^3$ , which was close to the density of mineral calcite – 2.71  $\text{g/cm}^3$ , whereas without ultrasound the density was 1.7  $\text{g/cm}^3$  with crystals dimensions of 30...40  $\mu\text{m}$ . It was shown that for such a layer the corrosion rate of steel did not exceed the normative rate of 0.05 mm/year, and heat transfer from the metal to water was practically not impaired owing to the high density and low thickness of the scale layer.

*Kuz I. S., Moroz O. I., and Kuz O. N.* Strength of elasto-plastic plates with a square hole (inclusion) and a cut (thin inclusion) under uniaxial tension ..... 144

*РЕЗЮМЕ.* На основі числового розв'язування крайових задач теорії малих пружно-пластичних деформацій для лінійно зміцнюваного матеріалу з урахуванням розвантаження з'ясовано вплив концентраторів напружень (квадратного отвору, розрізу або абсолютно жорсткого включення) в пластині на її міцність за одновісного розтягу.

*РЕЗЮМЕ.* На основании численного решения краевых задач теории малых упруго-пластических деформаций для линейно упрочняющегося материала с учетом разгрузки исследовано влияние концентраторов напряжений (квадратное отверстие, разрез либо абсолютно жесткое включение) в пластине на ее прочность при одноосном растяжении.

*SUMMARY.* The influence of the stress concentrators (a square hole, a cut and a rigid inclusion) on the plates strength under uniaxial tension was investigated on the base of the numerical solution of the boundary problems of the small elastoplastic deformations theory for linear strengthening material, taking into account its unloading.