

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

ТОМ 49, № 3, 2013

травень – червень

## ЗМІСТ

<i>Похмурський В. І., Білий Л. М., Зінь Я. І.</i> Протикорозійні інгібовані покриття для зварних стиків трубопроводів .....	7
<i>Глушкова М. О., Ведь М. В., Сахненко М. Д.</i> Корозійні властивості покриттів сплавами кобальт–срібло .....	17
<i>Зінь І. М., Хлопик О. П., Головчук М. Я.</i> Захисна дія неорганічних інгібіторів на механічно активованій поверхні алюмінію .....	22
<i>Ткаленко Д. А., Вишневецька Ю. П., Герасименко Ю. С., Хірх-Ялан І. Ф.</i> Зміна поляризаційного опору під час формування захисних фазових шарів за участі органічних лігандів .....	28
<i>Слободян З. В., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б.</i> Вплив вуглекислого газу та газоконденсату на швидкість корозії сталі 20 у деаерованих розчинах NACE .....	34
<i>Чигиринець О. Е., Воробйова В. І.</i> Протикорозійні властивості екстракту шроту ріпаку як легкого інгібітора атмосферної корозії сталі .....	39
<i>Образцов В. Б., Рубльова Є. Д., Аміруллоєва Н. В.</i> Вплив іонів цинку на інгібіторні властивості похідних полігексаметиленгуанідину .....	46
<i>Хома М. С., Чучман М. Р., Івашків В. Р., Сисин Г. М.</i> Вплив циклічних навантажень на опірність руйнуванню трубних сталей та їх зварних з'єднань у сірководневих середовищах .....	52
<i>Сніжної Г. В.</i> Залежність корозійної поведінки аустенітних хромонікелевих сталей від парамагнетного стану аустеніту .....	58
<i>Скребцов А. А., Погрелюк І. М., Лук'яненко О. Г., Пічугін А. Т.</i> Вплив оксидування на корозійну тривкість спеченого титану .....	63
<i>Малишев В. В., Шахнін Д. Б.</i> Корозійна тривкість нанопорошків боридів і карбідів металів IV–VIВ груп в електролітах нікелювання .....	70
<i>Дурягіна З. А., Підкова В. Я.</i> Будова шарів нітриду алюмінію, сформованих під час іонно-плазмового напилення .....	74
<i>Яворський В. Т., Знак З. О., Мних Р. В.</i> Вплив кавітаційного оброблення на фізико-хімічні властивості кальцію гідроксиду .....	80
<i>Винар В. А., Диха М. О.</i> Вплив напружено-деформованого стану на зносотривкість поверхні сталі 40Х після дискретної електромеханічної обробки .....	86
<i>Балицький О. І., Гаврилук М. Р., Девяткін Р. М., Федусів І. Р.</i> Застосування модифікованої соняшникової олії як емульгатора змащувально-охолоджувальних рідин .....	92

<i>Стащук М. Г.</i> Корозійні струми на катодних та анодних ділянках кругового концентратора напружень .....	96
<i>Греділь М. І.</i> Експрес-методика оцінювання впливу корозії арматури на цілісність залізобетону .....	102
<i>Волошин В. А., Косаревич Р. Я.</i> Особливості аналізу початкової стадії корозійно- ерозійного руйнування високоміцної сталі .....	105
<i>Черватюк В. А., Кушнір І. М.</i> Протикорозійні покриття на основі водної бітумно- полімерної композиції з великою швидкістю формування .....	110
<i>Ванкевич П. І.</i> Підбір оптимальних трибологічних характеристик матеріалів у приладах контролю температури рухомих об'єктів .....	114
<i>Кирилів В. І.</i> Азотування сталей під час механоімпульсної обробки .....	118
<i>Онищук О. О., Рудь В. Д.</i> Структури та трибологічні характеристики триботехнічних матеріалів TiFe-xC, отриманих самопоширюваним високотемпературним синтезом .....	123

#### У НАУКОВИХ КОЛАХ

<i>Студент О. З.</i> Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування .....	129
Явище теплової стабілізації в металополімерних парах тертя .....	131

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

ТОМ 49, № 3, 2013

май – июнь

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Похмурский В. И., Белый Л. М., Зинь Я. И.</i> Противокоррозионные ингибированные покрытия для сварных стыков трубопроводов .....	7
<i>Глушкова М. А., Ведь М. В., Сахненко Н. Д.</i> Коррозионные свойства покрытий сплавами кобальт–серебро .....	17
<i>Зинь И. Н., Хлопук О. П., Головчук М. Я.</i> Защитное воздействие неорганических ингибиторов на механически активированной поверхности алюминия .....	22
<i>Ткаленко Д. А., Вишневецкая Ю. П., Герасименко Ю. С., Хирх-Ялан И. Ф.</i> Изменение поляризационного сопротивления при формировании защитных фазовых слоев с участием органических лигандов .....	28
<i>Слободян З. В., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б.</i> Влияние углекислого газа и газоконденсата на скорость коррозии стали 20 в деаэрированных растворах NACE .....	34
<i>Чигиринец Е. Э., Воробьева В. И.</i> Противокоррозионные свойства экстракта шрота рапса как летучего ингибитора атмосферной коррозии стали .....	39
<i>Образцов В. Б., Рублёва Е. Д., Амируллоева Н. В.</i> Влияние ионов цинка на ингибиторные свойства производных полигексаметиленгуанидина .....	46
<i>Хома М. С., Чучман М. Р., Ивашкив В. Р., Сысын Г. М.</i> Влияние циклических нагрузжений на сопротивляемость разрушению трубных сталей и их сварных соединений в сероводородных средах .....	52
<i>Снежной Г. В.</i> Зависимость коррозионного поведения аустенитных хромоникелевых сталей от парамагнитного состояния аустенита .....	58
<i>Скребцов А. А., Погрелюк И. Н., Лукьяненко А. Г., Пичугин А. Т.</i> Влияние оксидирования на коррозионную стойкость спеченного титана .....	63
<i>Мальшев В. В., Шахнин Д. Б.</i> Коррозионная стойкость нанопорошков боридов и карбидов металлов IV–VIВ групп в электролитах никелирования .....	70
<i>Дурягина З. А., Пидкова В. Я.</i> Строение слоев нитрида алюминия, сформированных ионно-плазменным напылением .....	74
<i>Яворский В. Т., Знак З. О., Мных Р. В.</i> Влияние кавитационной обработки на физико-химические свойства кальция гидроксида .....	80
<i>Вынар В. А., Дыха М. А.</i> Влияние напряженно-деформированного состояния на износостойкость поверхности стали 40X после дискретной электромеханической обработки .....	86
<i>Балицкий А. И., Гаврылюк М. Р., Девяткин Р. Н., Федусив И. Р.</i> Использование модифицированного подсолнечного масла в качестве эмульгатора	

смазочно-охлаждающих жидкостей.....	92
<i>Стащук Н. Г.</i> Коррозионные токи на катодных и анодных участках кругового концентратора напряжений.....	96
<i>Гредиль М. И.</i> Экспресс-методика оценки влияния коррозии арматуры на целостность железобетона.....	102
<i>Волошин В. А., Косаревиц Р. Я.</i> Особенности анализа начальной стадии коррозионно-эрозионного разрушения высокопрочной стали.....	105
<i>Черватюк В. А., Кушнир И. М.</i> Противокоррозионные покрытия на основе водной битумно-полимерной композиции с большой скоростью формирования.....	110
<i>Ванкевич П. И.</i> Подбор оптимальных трибологических характеристик материалов в приборах контроля температуры движущихся объектов.....	114
<i>Кырылив В. И.</i> Азотирование сталей в процессе механоимпульсной обработки.....	118
<i>Оныщук О. А., Рудь В. Д.</i> Структуры и трибологические характеристики триботехнических материалов TiFe-xC, полученных самораспростра- няющимся высокотемпературным синтезом.....	123

#### В НАУЧНЫХ КРУГАХ

<i>Студент А. З.</i> Теоретические и экспериментальные исследования в технологиях современного материаловедения и машиностроения.....	129
Явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения.....	131

# PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

VOLUME 49, № 3, 2013

May – June

## CONTENTS

*Pokhmurskii V. I., Bilyi L. M., and Zin Ya. I.* Corrosion-resistant inhibited coatings  
for welded joints of pipelines .....7

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено вплив наповнення поліуретанового лаку сумішшю модифікованого цинку фосфату та кальциту у вигляді дрібнодисперсного порошку мармуру на його протикорозійні та фізико-механічні характеристики. Поляризаційними електрохімічними дослідженнями виявлено, що витяжка мармуру разом із модифікованим цинку фосфатом є ефективним інгібітором корозії мішаного типу в слабкислому середовищі. Встановлено, що, поєднуючи модифікований цинку фосфат та кальцит можна, поліпшити захисні властивості завдяки синергізму. Розроблено новий ефективний протикорозійний грунт на поліуретановій основі з високою адгезійною міцністю з відходів каменеобробного виробництва, який перспективний для захисту зварних стиків магістральних трубопроводів.

*РЕЗЮМЕ.* Разработан новый полиуретановый грунт с высокой адгезией для защиты участков сварных соединений магистральных трубопроводов в трассовых условиях. Используются современные методы исследования – электрохимическую импедансную спектроскопию и сканирующую электронную микроскопию. Установлено, что вытяжка порошка мрамора блокирует анодные реакции на поверхности трубной стали 09Г2С. Вместе с цинк фосфатом она образует эффективный ингибитор коррозии смешанного типа в слабкислом дожде. Выявлено, что под воздействием экстракта ингибирующей композиции мрамор–цинка фосфат сопротивление переносу заряда возрастает в 5–10 раз в зависимости от соотношения модифицированного фосфата, наполнителя и периода экспозиции. На поверхности металла формируется устойчивая защитная пленка комплексных фосфатов. Наполнение полиуретанового грунта этой смесью ингибиторов перспективно для обеспечения стабильности его адгезии на участках сварных стыков и металлоконструкций магистральных газопроводов.

*SUMMARY.* A new polyurethane primer with high adhesion for protection of pipelines welded joints in field conditions was developed. Modern research methods were used, namely: an electrochemical impedance spectroscopy, scanning electron microscopy. It is established that the extract of marble powder inhibits the anodic reaction on the surface of 09Г2С steel pipe. It forms together with zinc phosphate the effective steel corrosion inhibitor in acid rain. It was established that charge transfer resistance of 09Г2С pipe steel increases due to the influence of extract of the inhibiting composition “marble–zinc phosphate” in 5–10 times depending on the phosphate/filler ratio and exposure time. Corrosion resistant film of complex phosphates is formed on the metal surface. Filling of polyurethane primer with the mixture of inhibitors is promising for providing stability of its adhesion to welded joints and steel constructions of main pipelines.

*Glushkova M. O., Ved M. V., and Sakhnenko M. D.* Corrosion properties  
of silver-cobalt alloy coatings .....17

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено зв'язок між корозійною тривкістю та складом гальванічних покриттів сплавом Co–Ag з різним вмістом сплавотвірних компонентів. За результатами аналізу гістограми розподілу висот і кутів нахилу, а також 2D- і 3D-карт поверхонь показано, що покриття сплавом кобальт–срібло щільний та рівномірний за структурою, а розміри зерен мають еліптичну форму і знаходяться в межах 80...100 нм. Експериментально доведено, що сплави кобальт–срібло виявляють високу корозійну тривкість в лужних середовищах.

*РЕЗЮМЕ.* Установлена связь между коррозионной стойкостью и составом гальванических покрытий сплавом Co–Ag с различным содержанием сплавообразующих компонентов. По результатам анализа гистограммы распределения высот и углов наклона, а также 2D- и 3D-карт поверхностей показано, что покрытие сплавом кобальт–серебро плотное и равномерное по структуре, а размеры зерен имеют эллиптическую форму и находятся в диапазоне 80...100 нм. Экспериментально доказано, что сплавы кобальт–серебро проявляют высокую коррозионную стойкость в щелочных средах.

*SUMMARY.* The relationship between the corrosion resistance and composition of the galvanic Co–Ag alloy coatings with different content of the alloy-forming components was established. The analysis of histogram, as well as 2D- and 3D-maps of the surfaces showed that the cobalt–silver alloy coating is dense and uniform in structure. It was found, that the grain sizes are in the range of 80...100 nm and are of an ellipse form. It was experimentally proved that cobalt–silver alloys exhibit high corrosion resistances in alkaline media.

*Zin I. M., Khlopyk O. P., and Holovchuk M. Ya.* Protective action of non-organic inhibitors on mechanically activated aluminium surface .....22

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено захисну дію хроматного і фосфатного неорганічних інгібіторів корозії на механічно активованій поверхні алюмінію. Значення електродного потенціалу під час репасивації алюмінію в контрольному та інгібованому корозивних середовищах приблизно на 100...400 мВ нижче, ніж за вільної корозії, що свідчить про можливість гальванічної взаємодії механічно активованої і непошкодженої ділянок металу. Швидкість репасивації найвища в неінгібованому і інгібованому хроматом середовищах і дещо нижча у фосфатовмісному розчині. Обидва інгібітори істотно зменшують густину струму потенціостатичної поляризації свіжого зрізу алюмінію, внаслідок чого на ньому утворюється захисна плівка. Найефективніший у цих умовах хроматний інгібітор корозії.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано защитное воздействие хроматного и фосфатного неорганических ингибиторов коррозии на механически активированной поверхности алюминия. Значение электродного потенциала алюминия при его репассивации в контрольной и ингибированных коррозионных средах примерно на 100...400 мВ ниже, чем вследствие свободной коррозии, что свидетельствует о возможности гальванического взаимодействия механически активированных и неповрежденных участков металла. Скорость репассивации максимальная в неингибированой и ингибированной хроматом средах и несколько ниже в фосфатсодержащем растворе. Оба ингибиторы существенно уменьшают плотность тока потенциостатической поляризации свежего среза алюминия из-за образования на нем защитной пленки. Наиболее эффективен в этих условиях хроматный ингибитор.

*SUMMARY.* The protective effect of chromate and phosphate inorganic corrosion inhibitors on mechanically activated aluminium surface was studied. The electrode potential of aluminium during its repassivation in the control and inhibited corrosive environments was found to be around 100...400 mV lower than at free corrosion, which indicates the possibility of galvanic interaction between mechanically activated and not damaged areas of metal. Aluminium repassivation rate was the highest in uninhibited and chromate inhibited solutions and somewhat lower in phosphate containing solution. Both inhibitors significantly reduce the potentiostatic polarization current density of freshly cut

aluminium due to the formation of a protective film. Chromate inhibitor is most effective under these conditions.

**Tkalenko D. A., Vyshnevskaya Yu. P., Gerasymenko Yu. S., and Khirikh-Yalan I. F.**

Change of polarization resistance during formation of protective phase layers with organic ligands .....28

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено основні кінетичні закономірності формування захисних метало-органічних плівок у кислих середовищах за присутності комплексоутворювальних інгібіторів корозії. Запропоновано еквівалентну схему межі розподілу метал/електроліт, яка враховує поляризаційний опір дифузії фазового шару та призначена для аналізу динаміки його росту в часі під час формування захисних шарів за участі таких інгібіторів. Показано, що товщина і захисні властивості плівки збільшуються у часі за параболічним законом і підпорядковуються законам дифузійної кінетики.

*РЕЗЮМЕ.* Установлено основные кинетические закономерности формирования защитных металлоорганических пленок в кислых средах в присутствии комплексообразующих ингибиторов коррозии. Предложена эквивалентная схема границы раздела металл/электролит, которая учитывает поляризационное сопротивление диффузии фазового слоя и предназначена для анализа динамики его роста во времени при формировании защитных слоев при участии таких ингибиторов. Показано, что толщина и защитные свойства пленки растут во времени согласно параболическому закону и подчиняются законам диффузионной кинетики.

*SUMMARY.* The main regularities of the formation of protective metal organic films in acid solution in the presence of complexing corrosion inhibitors were established. The equivalent chart of the interface metal/electrolyte which accounts the polarization resistance of phase layer diffusion was proposed. It is used for the analysis of the layer growth dynamics with time when forming the protective layers with participation of such inhibitors. The thickness of the phase film and its protective properties increase according to the parabolic law and obey the laws of diffusion kinetics.

**Slobodian Z. V., Mahlatiuk L. A., and Kupovych R. B.** The influence of carbon dioxide and gas condensate on steel 20 corrosion rate in deaerated NACE solutions .....34

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено вплив газоконденсату на швидкість корозії сталі 20 у деаерованому та насиченому CO<sub>2</sub> розчині NACE. Виявлено, що з видаленням кисню шляхом продування розчину азотом за перемішування та 50°C швидкість корозії сталі знижується на 11,5% порівняно з природно аерованим розчином. Після насичення деаерованого розчину вуглекислим газом вона підвищується в 2,5 рази, а після додавання 20 vol.% газоконденсату та 20 vol.% метанолу в деаерованому розчині NACE зменшується у 8,5 рази, а в насиченому CO<sub>2</sub> – у 8,8 рази, що забезпечує ступінь протикорозійного захисту сталі 88...89%.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано влияние газоконденсата на скорость коррозии стали 20 в деаэрированном и насыщенном CO<sub>2</sub> растворе NACE. Выявлено, что после удаления кислорода продувкой раствора азотом при перемешивании и температуре 50°C она снижается на 11,5% в сравнении с естественно аэрированным раствором. С насыщением деаэрированного раствора углекислым газом повышается в 2,5 раза. После добавки смеси 20 vol.% газоконденсата и 20 vol.% метанола в деаэрированном растворе NACE она снижается в 8,5 раза, а в насыщенном CO<sub>2</sub> – в 8,8 раза, что обеспечивает степень противокоррозионной защиты стали на уровне 88...89%.

*SUMMARY.* The influence of gas condensate on steel 20 corrosion rate in deaerated and carbon

dioxide saturated NACE solution was investigated. It was shown that oxygen elimination by nitrogen blowing of NACE solution decreases the steel 20 corrosion rate under mixing and at temperature 50°C by 11.5% in comparison with natural aerated NACE solution. Carbon dioxide saturation of deaerated NACE solution increases the corrosion rate in 2.5 times. Addition of 20 vol.% gas condensate and 20 vol.% methanol mixture decreases the steel 20 corrosion rate in deaerated NACE solution in 8.5 times and in saturated carbon dioxide in 8.8 times providing corrosion protection degree on the level 88...89%.

*Chyhyrynets O. E. and Vorobiova V. I. Anticorrosive properties of extract of oil cake rapeseeds as volatile corrosion inhibitors for mild steel.....39*

*РЕЗЮМЕ.* Методом газової хромато-мас-спектрометрії визначено компонентний склад легких фракцій ізопропанольного екстракту шроту ріпаку (родини Brassicaceae). Встановлено, що їх основними інгредієнтами є глікозиди, кетони, альдегіди, насичені і ненасичені жирні кислоти і стероїди. Виявлено, що екстракт забезпечує високий рівень протикорозійного захисту металу як легкий інгібітор корозії в умовах періодичної конденсації вологи. Зафіксовано, що швидкість корозії сталі знижується зі збільшенням його концентрації, а процес формування плівки з парової фази має пролонгований характер. Плівка, утворена на поверхні сталі з парогазової фази екстракту, забезпечує ефект післядії на рівні 90% за періодичної конденсації вологи впродовж 504 h.

*РЕЗЮМЕ.* Методом газовой хромато-масс-спектрометрии установлен компонентный состав летучих фракций изопропанольного экстракта шрота рапса (семейства Brassicaceae). Установлено близко 20 компонентов, основными из которых являются гликозиды, кетоны, альдегиды, насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты и стероиды. Выявлено, что экстракт обеспечивает высокую степень противокоррозионной защиты металла как летучий ингибитор коррозии в условиях периодической конденсации влаги. Зафиксировано, что скорость коррозии стали снижается с увеличением его концентрации, а процесс образования пленки из паровой фазы имеет пролонгированный характер. Пленка, формируемая на поверхности стали из парогазовой фазы экстракта, обеспечивает эффект последействия на уровне 90% в течение 504 h в условиях периодической конденсации влаги.

*SUMMARY.* The volatiles of ethanol extract of cake oil rapeseed (*Brassica napus*) were analysed by gas chromatography-mass spectrometry. In total, 20 volatiles were identified with glycosides, ketone, alkaloid, aldehyde being the major components. The results show that extract of oil cake rapeseed is a good volatile inhibitor of corrosion in simulated atmospheric water. Effect of immersion time the steel in volatile phase of inhibitor on inhibition effectiveness was studied and discussed. It was found that the rate of corrosion of steel decreases with increased concentration of isopropanol extract of oil cake rapeseed, and the process of film formation from the vapour phase is prolonged nature. The film formed from the steel surface from the vapour-gas phase of the extract provides this afteraction effect on the level of 90% for 504 h under periodic moisture condensation.

*Obraztsov V. B., Rubliova Ye. D., and Amirulloyeva N. V. The influence of Zn<sup>2+</sup>-ions on the inhibiting properties of polyhexamethyleneguanidine derivatives .....46*

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено, що у нейтральному середовищі іони цинку утворюють комплекси з похідними полігексаметилenguанідину, внаслідок чого посилюється адсорбція олігомерів на різних межах поділу фаз. Підвищення адсорбційної здатності комплексів пов'язано зі зростанням гідрофобності макрочастинок і посиленням їх витиснення розчинником на межу розділу



фаз, що сприяє додатковому зниженню швидкості корозії металу порівняно з базовими оліго-  
мерами.

*РЕЗЮМЕ.* Установлено, що в нейтральних средах ионы цинка образуют комплексы с производными полигексаметиленгуанидина, что усиливает адсорбцию олигомеров на различных границах раздела фаз. Повышение адсорбционной способности комплексов связано с ростом гидрофобности макрочастиц и усилением их вытеснения растворителем на границу раздела фаз, что дополнительно снижает скорость коррозии металла по сравнению с базовыми олигомерами.

*SUMMARY.* Zinc ions form complexes with the polyhexamethyleneguanidine derivatives in neutral medium. This process is accompanied by increased adsorption of oligomers at different of the interfaces. Increase the adsorption ability of the complexes is associated with the hydrophobicity increase of macromolecules and increased their displacement solvent on the interfaces. Increased absorption ability complexes on the mild steel leads to additional reduction of the corrosion rate as compared with the base oligomers.

*Khoma M. S., Chuchman M. R., Ivashkiv V. R., and Sysyn H. M.* The influence  
of cyclic loading on fracture resistance of pipe steels and their weld joints  
in hydrogen sulphide environments .....52

*РЕЗЮМЕ.* Встановлено, що висока опірність сталей 20, 30ХМА та 12Х21Н5Т сірководне-  
вому корозійному розтріскуванню під напруженням не гарантує такої ж корозійно-втомному  
руйнуванню у розчині NACE (mass.%): 5 NaCl + 0,5 CH<sub>3</sub>COOH + H<sub>2</sub>S насичений, рН 3...4,  
20±3°C. Виявлено, що зі зростанням амплітуди асиметричного циклу зниження довговічності  
цих сталей істотніше, ніж зі збільшенням його середнього напруження. Отримано результати,  
які свідчать про суттєвий вплив на руйнування зварних з'єднань не лише водневого окрихчен-  
ня, але й корозійних процесів, що викликано зростанням їх мікроелектрохімічної гетерогенності  
під час кородування, що сприяє локалізації корозійних пошкоджень.

*РЕЗЮМЕ.* Установлено, что высокая сопротивляемость сталей 20, 30ХМА и 12Х21Н5Т  
сероводородному коррозионному растрескиванию под напряжением не гарантирует такой же  
коррозионно-усталостному разрушению в растворе NACE (mass.%): 5% NaCl + 0,5%  
CH<sub>3</sub>COOH + + H<sub>2</sub>S насыщенный, рН 3...4, 20±3°C. Вывявлено, что рост амплитуды  
асимметричного цикла приводит к более существенному снижению долговечности этих сталей,  
нежели увеличение его среднего напряжения. Вывявлено сильное влияние на разрушение  
сварных соединений в растворе NACE не только водородного охрупчивания, но и  
коррозионных процессов, что вызвано ростом их микроэлектрохимической гетерогенности,  
способствующей локализации коррозионных повреждений.

*SUMMARY.* It was established that high resistance of steels 20, 30ХМА and 12Х21Н5Т to  
sulfide stress corrosion cracking did not guarantee their high-resistivity to corrosion fatigue fracture in  
NACE solution (mass.%): 5% NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH + H<sub>2</sub>S saturated, рН 3...4, 20±3°C. It was  
shown that the growth of asymmetric cycle amplitude caused more essential decrease of durability of  
these steels than the increase of its average stress. The significant influence on the welded joints  
fracture in NACE solution of not only hydrogen embrittlement but also of corrosive processes was  
found. It was established that it was caused by the growth of their microelectrochemical heterogeneity  
in the corrosion process, which promoted the corrosive damages localization.

*Snizhnoi G. V.* Dependence of corrosion behaviour of austenitic chromium-  
nickel steels on the paramagnetic state of austenite .....58

*РЕЗЮМЕ.* Експериментально встановлено, що корозійна тривкість хромо-нікелевих сталей аустенітного класу залежить від парамагнетного стану аустеніту: що більша питома магнетна сприйнятливість  $\chi_0$  аустеніту, то вища корозійна тривкість (менша швидкість корозії  $K$ ), і навпаки. Низький вміст  $P_\alpha$   $\delta$ -фериту (0,005...0,5%) побічно впливає ( $P_\alpha$  залежить від  $\chi_0$ , а між  $K$  і  $\chi_0$  експериментально встановлена кореляція) на корозію: зі збільшенням  $P_\alpha$  поліпшується корозійна тривкість. Запропоновано за параметрами  $\chi_0$  і  $P_\alpha$  прогнозувати інтенсивність корозії.

*РЕЗЮМЕ.* Экспериментально установлено, что коррозионная стойкость хромо-никелевых сталей аустенитного класса зависит от парамагнитного состояния аустенита: чем больше удельная магнитная восприимчивость  $\chi_0$  аустенита, тем больше коррозионная стойкость (меньшая скорость коррозии  $K$ ), и наоборот. Низкое содержание  $P_\alpha$   $\delta$ -феррита (0,005...0,5%) косвенно влияет ( $P_\alpha$  зависит от  $\chi_0$ , а между  $K$  и  $\chi_0$  экспериментально установлена корреляция) на коррозию: с увеличением  $P_\alpha$  улучшается коррозионная стойкость. Предложено по параметрам  $\chi_0$  и  $P_\alpha$  прогнозировать интенсивность коррозии.

*SUMMARY.* It was experimentally determined that corrosion resistance of chromium-nickel austenitic steels depends on the paramagnetic state of austenite. With increasing specific magnetic susceptibility  $\chi_0$ , the corrosion resistance increased (corrosion rate  $K$  decreases) and vice versa. The presence of the low content of  $P_\alpha$   $\delta$ -ferrite (0.005...0.5%) indirectly affects ( $P_\alpha$  depends on  $\chi_0$ , and a good correlation between  $K$  and  $\chi_0$  was experimentally established) the corrosion process. With increasing  $P_\alpha$  the corrosion resistance increases. It is proposed to use parameters  $\chi_0$  and  $P_\alpha$  for prediction of the corrosion intensity.

*Skrebtsov A. A., Pohrelyuk I. M., Lukyanenko O. H., and Pichuhin A. T.*

The influence of oxidation on the corrosion resistance of sintered titanium.....63

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено опір корозії зразків спеченого титану, отриманих методами порошкової металургії за кімнатної температури у 40%  $H_2SO_4$  і 20%  $HCl$ . Виявлено, що модифікуванням поверхневого їх шару елементами впровадження, зокрема киснем, можна підвищити корозійну тривкість. Максимальний захист забезпечує оксидна плівка, сформована термодифузійним окисдуванням під час насичення з контрольованого кисневмісного газового середовища і окисненням у повітрі: корозійна тривкість підвищується на три порядки порівняно з незахищеною поверхнею.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано сопротивление коррозии образцов спеченного титана, полученных методами порошковой металлургии, при комнатной температуре в 40%  $H_2SO_4$  и 20%  $HCl$ . Показано, что модифицирование поверхностных слоев образцов элементами внедрения, в частности кислородом, повышает коррозионную стойкость. Максимальный эффект защиты от агрессивной среды обеспечивает оксидная пленка, полученная термодиффузионным окислением при насыщении из контролируемой кислородсодержащей газовой среды и окислением на воздухе: коррозионная стойкость повышается на три порядка по сравнению с незащищенной поверхностью.

*SUMMARY.* The corrosion resistance of the sintered titanium specimens, obtained by powder metallurgy in the 40% aqueous solution of sulfuric acid and 20% aqueous solution of chloride acid at room temperature is investigated. It is shown that the modification of surface layers of sintered titanium specimens by interstitial elements, particularly oxygen, increases the corrosion resistance. The maximum protection effect against aggressive medium is provided by the oxide film, obtained by thermodiffusion saturation in oxygen-controlled gas environment and oxidation in air: corrosion resistance increases by three orders of magnitude compared to the unprotected surface.

*Malyshev V. V. and Shakhnin D. B.* Corrosion resistance of nanopowders

of IV–VIB group metal borides and carbides in nickel plating electrolytes .....70

*РЕЗЮМЕ.* Вивчено розчинність нанопорошків боридів і карбідів металів IV–VIB груп, а також карбиду кремнію у стандартних електролітах нікелювання. Досліджено корозійну тривкість нанопорошків із вмістом основної фази 91,8...97,6% і середнім розміром частинок 32...78 nm залежно від кислотності електроліту, температури і тривалості взаємодії. Встановлено, що за цим параметром у розчинах електролітів нанопорошки боридів і карбідів у межах кожної групи сполук близькі й мають необмежений період експозиції в лужних середовищах. Винятком є нанопорошок карбиду кремнію, тривкий у розчинах будь-якої кислотності.

*РЕЗЮМЕ.* Изучена растворимость нанопорошков боридов и карбидов металлов IV–VIB групп, а также карбида кремния в стандартных электролитах никелирования. Исследована коррозионная стойкость нанопорошков с содержанием основной фазы 91,8...97,6% и средним размером частиц 32...78 nm в зависимости от кислотности электролита, температуры и продолжительности взаимодействия. Установлено, что по этому параметру в растворах электролитов нанопорошки боридов и карбидов в пределах каждой группы соединений близки и имеют неограниченный период экспозиции в щелочных средах. Исключение составляет нанопорошок карбида кремния, устойчивый в растворах любой кислотности.

*SUMMARY.* Solubility of nanopowders of IV–VIB group metal borides and carbides, and also of silicon carbide, in standard nickel plating electrolytes was studied. As objects of study, nanopowders containing 91.8...97.6% of main phase with average particle size 32...78 nm were used. Their corrosion resistance was evaluated depending on the acidity of the electrolyte, and also of temperature and duration of the interaction. It was found that the corrosion resistance of boride and carbide nanopowders in electrolyte solutions within each group of compounds is similar and characterized by unrestricted induction period in alkaline environments. Exception is nanopowder of silicon carbide which is stable in solutions of any pH.

*Duriahina Z. A., and Pidkova V. Ya.* Structure of aluminum nitride layers formed under ion-plasma spraying .....74

*РЕЗЮМЕ.* З використанням іонно-плазмової розрядної системи одержано діелектричні шари нітриду алюмінію, що мають нанорозмірну структуру. Товщина шарів коливається від 35 до 50 μm при розмірі зерен 60...400 nm. Шорсткість поверхні при цьому знаходиться в межах 12...20 μm. Діелектричний шар складається з фази AlN структурного типу ZnO з періодом комірки  $a = 3,10 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,998 \text{ \AA}$ . Зерна фази текстуровані за напрямком [001].

*РЕЗЮМЕ.* С использованием ионно-плазменной разрядной системы получено диэлектрические слои нитрида алюминия, которые имеют наноразмерную структуру. Толщина слоев колеблется от 35 до 50 μm при размере зерен 60...400 nm. Шероховатость поверхности при этом находится в пределах 12...20 μm. Диэлектрический слой состоит из фазы AlN структурного типа ZnO с периодом ячейки  $a = 3,10 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,998 \text{ \AA}$ . Зерна фазы текстурированы по направлению [001].

*SUMMARY.* Using the ion-plasma discharge system the aluminium nitride dielectric films with nanoscale structure were obtained. The thickness of layers varies from 35 to 50 μm with a grain size of 60...400 nm. Surface roughness is 12...20 μm. Type of crystal lattice is ZnO with periods  $a = 3.10 \text{ \AA}$ ,  $c = 4.998 \text{ \AA}$ . Grains of phase are textured in direction [001].

*Yavorskyi V. T., Znak Z. O. and Mnykh R. V.* The influence of cavitation treatment on physicochemical properties of calcium hydroxide .....80

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено зміну дисперсності частинок кальцію гідроксиду та їх морфології під впливом кавітаційних процесів. Встановлено, що в кавітаційних полях одночасно із диспергуванням утворюються заряджені частинки кальцію гідроксиду колоїдного типу.

Показано, що внаслідок кавітаційного оброблення, особливо в гідродинамічних кавітаторах струменевого типу, хімічна активність суспензії кальцію гідроксиду суттєво зростає.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано изменение дисперсности частиц гидроокиси кальция и их морфологии под воздействием кавитационных процессов. Установлено, что в кавитационных полях одновременно с диспергированием образуются заряженные частицы гидроокиси кальция коллоидного типа. Показано, что после кавитационной обработки, особенно в гидродинамических кавитаторах струйного типа, химическая активность суспензии гидроокиси кальция существенно возрастает.

*SUMMARY.* The change of dispersion of calcium hydroxide particles and their morphology is investigational under action of cavitation processes. It is established that in the cavitation fields simultaneously with dispersion the charged particles of calcium hydroxide of colloid type are formed. It is shown that after cavitation treatment, especially in hydrodynamic cavitators of stream lined type, the chemical activity of calcium hydroxide suspension increases substantially.

*Vynar V. A. and Dykha M. O.* The influence of the stress-strain state on wear-resistance of 40X steel surface after discrete electromechanical treatment .....86

*РЕЗЮМЕ.* Проаналізовано методом скінченних елементів напружено-деформований стан поверхні після дискретної електромеханічної обробки за різних геометричних схем розташування локально зміцнених зон. Показано, що найоптимальнішою схемою за умови мінімізації напруженого стану поверхні під час тертя є варіант із перехресними треками зміцнення поверхневих шарів.

*РЕЗЮМЕ.* Проанализировано методом конечных элементов напряженно-деформированное состояние поверхности после дискретной электромеханической обработки при различных геометрических схемах расположения локально упрочненных зон. Показано, что оптимальной схемой при условии минимизации напряженного состояния поверхности при трении является вариант с перекрестными треками упрочнения поверхностных слоев.

*SUMMARY.* The method of finite element analysis of the stress-strain state of the surface after discrete electromechanical treatment at various geometrical arrangement schemes of locally hardened zones is analyzed. The analysis of theoretical studies showed that the optimal scheme in terms of minimizing the stress state of the surface under friction is the option with cross tracks hardening of surface layers.

*Balitskii O. I., Havryliuk M. R., Deviatkin R. M., and Fedusiv I. R.* Application of modified sun flower oil as emulsifier of lubricating-cooling liquids. ....92

*РЕЗЮМЕ.* Синтезовано нові емульгатори із функцією інгібітора корозії шляхом модифікації соняшникової олії моноетиленаміном та етилендіаміном. Наведено ймовірні структурні формули цих емульгаторів. Отримані модельні змащувально-охолоджувальні рідини на дистильованій воді стабільні та володіють інгібувальними властивостями. Інгібувальну здатність визначено методом контактних пар відповідно до ГОСТ 6243-75. Показано дисперсність прямої та зворотної емульсій. Наведені експериментальні результати можуть бути використані під час розроблення нових рецептур змащувально-охолоджувальних рідин, що дасть змогу зменшити забруднення навколишнього середовища.

*РЕЗЮМЕ.* Синтезированы новые эмульгаторы с функцией ингибитора коррозии путем модификации подсолнечного масла моноэтиленамином и этилендиамином. Приведены вероятные структурные формулы этих эмульгаторов. Полученные модельные смазочно-охлаждающие жидкости на дистиллированной воде стабильны и обладают ингибирующими свойствами. Ингибирующую способность определено методом контактных пар в соответствии с ГОСТ 6243-75. Показано дисперсность прямой и обратной эмульсий. Приведенные экспериментальные

результаты могут быть использованы при разработке новых рецептур смазочно-охлаждающих жидкостей, что позволит уменьшить загрязнение окружающей среды.

*SUMMARY.* New emulsifiers with the function of corrosion inhibitor are synthesized by modification of sunflower oil with monoethanolamine and ethilenediamine. The probable structural formulae of these emulsifiers are shown. The obtained model lubricating-cooling liquids, prepared with the distilled water, are stable and possess the properties of corrosion inhibitor. Inhibitor properties were evaluated by the contact pair method in accordance with Standard 6243-75. Dispersity of direct and reverse emulsions is shown. Presented experimental results can be used for development of the new formulae of lubricating-coolings liquids.

*Stashchuk M. H.* Corrosive currents at the cathode and anode areas  
of circular stress concentrator.....96

*РЕЗЮМЕ.* Аналітично встановлено кількісний взаємозв'язок поля механічних напружень з локальним розподілом зміщень електродних потенціалів та густин корозійних струмів у металі із круговим концентратором напружень, заповненим корозивним середовищем. Проаналізовано залежність розмірів катодних і анодних ділянок від прикладених зусиль та вмісту іонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{Cl}^-$  у середовищі. Визначено межі катодних і анодних ділянок на поверхні кругового отвору.

*РЕЗЮМЕ.* Аналитически определена количественная взаимосвязь поля механических напряжений с локальным распределением смещений электродных потенциалов и плотности коррозионных токов в металле с круговым концентратором напряжений, заполненном средой. Проанализирована зависимость размера катодных и анодных участков от прилагаемых усилий и содержания ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  в среде. Определены границы катодных и анодных участков на поверхности кругового отверстия.

*SUMMARY.* Quantitative relationship between mechanical stress field with local distribution of displacements of electrode potentials and corrosion currents density in the metal with the circular stress concentrator, filled with corrosive environment, is analytically determined. Dependence of cathode and anodic areas dimensions on the applied forces and content of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  ions in the environment is analysed. The boundaries of cathode and anodic areas are detemined on the circular hole surface.

*Hredil M. I.* Express-method of evaluation of the influence of reinforcement corrosion  
on integrity of reinforced concrete ..... 102

*РЕЗЮМЕ.* Описано метод та засоби лабораторних досліджень цілісності залізобетонних зразків, порушеної пришвидшеною корозією арматури. Зразок із центральним стальним стрижнем, до якого прикладений анодний потенціал, витримано у корозивному середовищі. Поляризацією металу пришвидшено його корозію, продукти якої розпирають бетон зсередини, внаслідок чого зразок через певний час розтріскується. Методика передбачає реєстрацію під час експерименту струму корозії, за яким можна відстежувати її інтенсивність.

*РЕЗЮМЕ.* Описаны метод и средства лабораторных исследований целостности железобетонных образцов, нарушенной ускоренной коррозией арматуры. Образец со стальной арматурой в центре, к которому приложен анодный потенциал, выдерживали в коррозионной среде. Вследствие поляризации ускоряется коррозия металла, продукты которой распирают бетон изнутри, из-за чего образец через некоторое время растрескивается. Методика предусматривает регистрацию во время эксперимента коррозионного тока, по которому можно оценить интенсивность коррозии.

*SUMMARY.* The laboratory method and facilities for investigations of reinforced concrete specimens integrity disturbed by accelerated reinforcement corrosion are described. A cylindrical concrete specimen with rebar oriented endwise is kept in corrosion environment under anodic

potential. Rebar corrosion rate increases due to polarization, and its products wedge the concrete specimen from the inside, as a result the specimen cracks. The method provides registration of corrosion current during the experiment, which allows the estimation of corrosion process intensity.

*Voloshyn V. A. and Kosarevych R. Ya. Peculiarities of the analysis of the initial stage of corrosion-erosion fracture of high-strength steel..... 105*

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено початковий етап корозійно-ерозійного руйнування термообробленої сталі ШХ15 у лужному середовищі. Встановлено характер пошкоджень поверхні під час випробувань та закономірності її деградації впродовж інкубаційного періоду кавітації. Також розроблено автоматизовану методику підрахунку поверхневих тріщин, яка дає можливість об'єктивно аналізувати ступінь пошкодження поверхні.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано начальный этап коррозионно-эрозионного разрушения термообработанной стали ШХ15 в щелочной среде. Установлены характер поврежденной поверхности во время испытаний и закономерности ее деградации в течение инкубационного периода кавитации. Также разработана автоматизированная методика подсчета поверхностных микротрещин, которая дает возможность объективно анализировать степень повреждения поверхности.

*SUMMARY.* The initial stage of corrosion-erosion destruction heat-treated ШХ15 steel in an alkaline environment is studied. The character of the surface damage during testing and regularities of its degradation during the incubation period of cavitations were set. Automated method of surface cracks calculating, which gives an opportunity to analyze the degree of surface damage was also developed.

*Chervatyuk V. A. and Kushnir I. M. Corrosion-resistant coatings based on polymer-bitumen composition with high speed of formation ..... 110*

*РЕЗЮМЕ.* Проаналізовано перспективи та показано переваги використання водних бітумно-полімерних емульсій для антикорозійного захисту об'єктів нафтогазового комплексу. Наведено властивості матеріалу, отриманого з емульсійних композицій, і встановлено, що він може бути використаний для антикорозійного захисту об'єктів нафтогазового комплексу.

*РЕЗЮМЕ.* Проанализированы перспективы и показаны преимущества использования водных битумно-полимерных эмульсий для антикоррозионной защиты объектов нефтегазового комплекса. Приведены свойства материала, полученного из эмульсионных композиций, и установлено, что он может быть использован для антикоррозионной защиты объектов нефтегазового комплекса.

*SUMMARY.* The prospects of water bitumen emulsion use for protection of oil and gas facilities are analyzed. Advantages of the use of polymer-bitumen emulsions are examined. The properties of coating material obtained from emulsion compositions are shown. Conclusions are drawn that obtained coating material can be used to protect oil and gas facilities.

*Vankevych P. I. Selection of optimal tribological characteristics of materials in devices for checking temperature of moving objects ..... 114*

*РЕЗЮМЕ.* Підібрано оптимальні за хімічним складом композитні матеріали на основі міді, графіту, нікелю та свинцю для виготовлення пари тертя трибоелементи приладів контролю температури–рухомі поверхні дослідних об'єктів та проаналізовано їх властивості.

*РЕЗЮМЕ.* Подобраны оптимальные по химическому составу композитные материалы на основе меди, графита, никеля и свинца для изготовления пары трения элементы приборов контроля температуры–подвижные поверхности исследованных объектов и проанализированы их свойства.

*SUMMARY.* The composite materials of optimal chemical composition based on copper, graphite, nickel and lead were selected for producing a pair of friction between the elements of temperature control devices and movable surfaces research facilities. Their properties were analyzed too.

Kyryliv V. I. Nitriding of steels under mechanopulse treatment ..... 118

*РЕЗЮМЕ.* Виявлено, що під час механоімпульсної обробки сталі з використанням 10%-го водного розчину амінілу поверхневі шари насичуються азотом, через що мікротвердість зміцненого шару підвищується до 12 GPa. В результаті зростають зносотривкість пари тертя у 1,6–1,8 рази та корозійна тривкість за швидкістю корозії і глибинним показником.

*РЕЗЮМЕ.* Показано, что в процессе механоимпульсной обработки стали с использованием 10%-го водного раствора аминила поверхностные слои насыщаются азотом, вследствие чего микротвердость упрочненного слоя повышается до 12 GPa. В результате износостойкость пары трения возрастает в 1,6–1,8 раза, а также увеличивается коррозионная стойкость по скорости коррозии и глубинному показателю.

*SUMMARY.* It is shown that during the process of steel mechanopulse treatment using 10% aqua solution of aminil the presurface layers are saturated by nitrogen. Such saturation increases the microhardness of the strengthened layer up to 12 GPa. As a result the wear resistance of friction pair increases in 1.6–1.8 times. The corrosion resistance by corrosion rate and depth index increases also.

Onyshchuk O. O. and Rud V. D. Structure and tribological characteristics of TiFe–xC materials obtained by self-propagating high-temperature synthesis ..... 123

*РЕЗЮМЕ.* Досліджено трибологічні властивості та структури матеріалів системи TiFe–xC, отриманих самопоширюваним високотемпературним синтезом. Виявлено, що ці триботехнічні матеріали (ТМ) добре працюють в умовах абразивного і сухого тертя за помірних навантажень та кімнатної температури. Структура отриманих матеріалів складається з інтерметалідів Ti<sub>2</sub>Fe, TiFe, які є термодинамічно стабільними фазами з великим теплоутворенням. Додавання бору до системи TiFe–xC суттєво знижує температуру основних критичних точок сполук, розширює діапазон температур синтезу. Встановлено коефіцієнти тертя для пар тертя куляка сталь ШХ15–TiFe–20C і куляка сталь ШХ15–сталь 45, які за однакових умов становлять 0,11 і 0,15, відповідно. Високі міцнісні показники зразків ТМ TiFe–20C; TiFe–30C; 55Ti–20C–30Fe–0,31B дають можливість використовувати ці матеріали для захисту поверхонь ступок сопел реактивних двигунів, що працюють за високих температур і навантажень.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано трибологические свойства и структуры материалов системы TiFe–xC, полученных самораспространяющимся высокотемпературным синтезом. Виявлено, что эти триботехнические материалы (ТМ) хорошо работают в условиях абразивного и сухого трения при умеренных нагрузках и комнатной температуре. Структура полученных материалов состоит из интерметаллидов Ti<sub>2</sub>Fe, TiFe, которые являются термодинамически стабильными фазами с существенным теплообразованием. Добавление бора к системе TiFe–xC существенно снижает температуру основных критических точек соединений, расширяет диапазон температур синтеза. Установлено коэффициенты трения для пар трения шарик сталь ШХ15–TiFe–20C и шарик сталь ШХ15–сталь 45, которые при одинаковых условиях составляют 0,11 и 0,15, соответственно. Высокие прочностные показатели образцов ТМ TiFe–20C; TiFe–30C; 55Ti–20C–30Fe–0,31B дают возможность использовать эти материалы для защиты поверхностей створок сопел реактивных двигателей, что работают при высоких температурах и нагрузках.

*SUMMARY.* Tribological properties and structures of TiFe–xC system, received by self-propagating high-temperature synthesis were investigated. It was found that these tribotechnical

materials work well in dry and abrasive friction conditions, under moderate load and at room temperature. The structure of the obtained materials consisting of intermetallics  $Ti_2Fe$ ,  $TiFe$  which are thermodynamically stable phases with great warmth formation. Addition of boron to  $TiFe-xC$  system significantly reduces the temperature of main critical points of compounds, extends the temperature range of synthesis. It was found that friction coefficient equals 0.11 for friction pair  $TiFe-xC-III X15$  steel and for friction pair ball  $III X15$  steel-steel 45 equals 0.15. High strength characteristics of  $TiFe-20C$ ;  $TiFe-30C$ ;  $55Ti-20C-30Fe-0.31B$  systems allow to use these materials for surface protection of leaf nozzles in jet engines working at high temperatures and loads.

## IN SCIENTIFIC CIRCLES

<i>Student O. Z.</i> Theoretical and experimental investigations in technologies of modern materials science and engineering .....	129
<i>The phenomenon</i> of thermal stabilization in metal-polymer friction couples .....	131