

теплотривких сталей парогонів ТЕС і встановлено механічні, фізичні та електрохімічні параметри для їх моніторингу. Запропоновано технологію покращення фізико-механічних властивостей керамік систем 10Sc1CeSZ–50NiO і 8YSZ–50NiO шляхом redox-цикування (послідовної зміни відновлювального і окиснювального середовищ) для підвищення роботоздатності анодів керамічних твердооксидних паливних комірок. Створено вихрострумові перетворювачі та методики неруйнівного контролю структури матеріалів і дефектності елементів конструкцій.

**В. В. Федоров** (ФМІ НАН України, Львів). **Дослідження взаємодії водню з гідридотвірними матеріалами на основі РЗМ для покращення функціональних властивостей магнетів, магнетострикторів, акумуляторів і гетерів водню.** Методом механохімічного синтезу отримано потрібні гідридні композити системи Mg–Ti(Zr)<sub>4</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>x</sub>–C, які порівняно з Mg мають на 100...150°C нижчу температуру гідрування та у 5 разів вищу швидкість протікання цього процесу. При цьому зменшується час виділення водню (6 mass.% H<sub>2</sub> за 1 min) та зростає тривкість до циклування під час сорбції–десорбції водню.

**І. М. Дмитрах** (ФМІ НАН України, Львів). **Дослідження процесів наводнення перспективних сталей для газопроводів і розроблення критеріїв їх міцності та руйнування у водневовмісних середовищах.** Встановлені особливості та здійснена порівняльна оцінка процесів наводнення та руйнування перспективних трубопровідних сталей з границею міцності 500...1000 МПа. Показано існування критичної концентрації водню в металі C<sub>H</sub><sup>\*</sup>, яка спричиняє суттєву втрату матеріалом опору локальному руйнуванню, і встановлені значення цієї характеристики для сталей X52, X70 та X100. Виявлено взаємозв'язок між параметром C<sub>H</sub><sup>\*</sup> та границею міцності матеріалу. Запропоновано та обгрунтовано критерії оцінки безпечної експлуатації трубопроводів з тріщиноподібними дефектами у водневовмісному робочому середовищі різного складу.

**Р. Сундер** (Індія). **Чому залишкові напруження впливають на втому металів.** Проаналізовано методи оцінки втомної довговічності за циклічного навантаження змінної амплітуди, які ґрунтуються або на аналізі накопичення ушкоджень із врахуванням локального напружено-деформованого стану, або на моделях залежності росту тріщини від навантаження. Показано, що ці підходи не моделюють впливу залишкових напружень, зумовлених дією навколишнього середовища на втомну поведінку матеріалів у вершині тріщини. Необхідним є розуміння порогової тріщиностійкості, яка залежить від історії навантаження, а також закриття тріщини.

*М. Г. Стащук*

## НАУКОВИЙ СЕМІНАР “КОРОЗІЯ. ЗАХИСТ МЕТАЛІВ ВІД КОРОЗІЇ”

(керівник – д.т.н., проф., чл.-кор. НАН України В. І. Похмурський)

У 2011 р. відбулося 15 засідань семінару, на яких заслухано та обговорено такі доповіді.

**О. Г. Архипов** (ГІ СХУ ім. Даля, Сєверодонецьк). **Наукові основи корозійного моніторингу і прогнозування залишкового ресурсу обладнання хімічної та нафтопереробної промисловості.** На основі характеру зміни електрохімічних параметрів під час корозійно-втомного руйнування сталей запропоновано імпульсний метод корозійного моніторингу обладнання хімічної та нафтопереробної промисловості, що експлуатується в середовищах підвищеної агресивності, для визначення його критичного стану.

**С. А. Корній** (ФМІ НАН України, Львів). **Моделювання та квантово-хімічний розрахунок взаємодії середовища з поверхнею металів і металічних нанокластерів: стан та перспективи.** Висвітлено результати теоретичних досліджень взаємодії середовища з поверхнею металів та металічних нанокластерів. Змодельовано корозійне руйнування, його адсорбційно-хімічна стадія, в тому числі під час контакту двох металів, та фізико-хімічні процеси на каталітичних нанорозмірних об'єктах перехідних металів.

**Н. Б. Рацька** (ФМІ НАН України, Львів). **Підвищення поверхневої міцності та зносотривкості Nb–Ti сплаву оксидуванням.** Встановлено оптимальний режим оксидування ніобій-титанового сплаву та досліджено його трибологічну поведінку. З'ясовано, що на поверхні сплаву утворюється складна за будовою і хімічним складом щільна та тверда жаровина, яка підвищує опір спрацюванню матеріалу за умов тертя без мащення. Досліджено корозійну поведінку сплаву ВН-10 за тертя в розчинах електролітів з різним рН.

**Г. Г. Веселівська** (ФМІ НАН України, Львів). **Корозія та корозійно-механічна тривкість титанових сплавів поверхнево модифікованих іонною імплантацією азоту та вакуумними іонно-плазмовими покриттями.** Узагальнено теоретико-експериментальні дослідження корозійної тривкості поверхнево модифікованих титанових сплавів у середовищах різної агресивності та їх фретинг-втомної довговічності. З'ясовано вплив модифікування на структурно-фазовий стан поверхневих шарів титанових сплавів та обрано оптимальний режим іонної імплантації азоту в псевдо- $\alpha$ - та ( $\alpha+\beta$ )-титанові сплави. Визначено ефективну енергію активації корозії та анодного розчинення модифікованих поверхонь в нейтральних розчинах. Встановлено вплив структурно-фазового стану вакуумних іонно-плазмових покриттів на корозійну тривкість.

**О. І. Радкевич** (ФМІ НАН України, Львів). **Вибір і удосконалення матеріалів для деталей фонтанної та запірної арматури, яка працює в корозивних сірководневих середовищах.** Встановлено ефективність електрошлакового литва сталі 12Х21Н5Т для виготовлення корпусних засувок, що експлуатуються в сірководневих середовищах. Для підвищення корозійно-ерозійної тривкості сталей обґрунтовано вибір матеріалу наплавки шибера засувки. Оптимізовано термічну обробку трубної феритно-аустенітної сталі 03Х22Н5АМЗ щодо опору її сірководневому корозійному розтріскуванню.

**І. М. Погрелюк** (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення фізико-хімічних основ формування зносо- та корозійнотривких оксинітридних покриттів на титанових сплавах.** Встановлено закономірності фізико-хімічних процесів під час високо-температурної взаємодії титанових сплавів з контрольованим азотокисневмісним середовищем та розроблені підходи до формування зносо- та корозійнотривких оксинітридних покриттів заданого складу. З'ясовано вплив нестехіометрії нітриду титану  $TiN_x$  на ступінь його модифікування киснем. Показано, що оксинітрування забезпечує вищий рівень зміцнення поверхні титанових сплавів, ніж азотування. Встановлено інтервал парціального тиску кисню, за якого реалізується оксинітрування шляхом модифікування нестехіометричного нітриду титану киснем. Розроблено алгоритм керування параметрами оксинітрування.

**Розроблення теорії та основ технології формування фазово-структурного стану поверхневих шарів на титанових сплавах для підвищення їх довговічності у виробках авіаційної техніки.** Запропоновано аналітичний підхід для опису процесу газонасичення титанових сплавів елементами втілення. Розроблено метод термодифузійного насичення з активного середовища, що містить порошкоподібну та газову складові. Встановлено фізико-хімічні основи технології формування карбонітридних та боридних покриттів на титанових сплавах за неконтактного термодифузійного насичення з контрольованих багатокомпонентних середовищ.

**Г. В. Чумало** (ФМІ НАН України, Львів). **Забезпечення надійної роботоздатності обладнання нафтогазових родовищ шляхом вибору і вдосконалення конструкційних матеріалів та інгібіторів сірководневої корозії і СКРН.** Запропоновано виготовляти обладнання, що працює в природному газі з  $< 1\%$  сірководню, з вітчизняної сталі нафтового сортаменту К, Д з одночасним застосуванням інгібітора Нафтохім-8. Для встановлення деградації властивостей трубних сталей та інтегральних властивостей їхніх зварних з'єднань у сірководневих середовищах запропоновано визначати зміну пластичності. Встановлено, що прикладені навантаження до наведеного металу дають змогу виявляти місця тріщиноутворення на структурному рівні.

**М. С. Хома** (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення імпульсного методу корозійного моніторингу та виготовлення технічних засобів для оцінки критичного стану обладнання хімічної промисловості, що працює за підвищених параметрів.** Виготовлено прилад для корозійного моніторингу, який реалізує імпульсний метод визначення критичного стану діючого обладнання, та лабораторно перевірено. Показано, що з наростанням ступеня пошкодження циклічно-навантаженої нержавіючої сталі 08X18H10T густина імпульсів впродовж наперед визначеного часу зростає та корелює з її електрохімічними властивостями під час розвитку руйнування.

**Встановлення впливу сірководневохлоридних середовищ на руйнування зварних з'єднань маловуглецевих та низьколегованих сталей під дією статичних та циклічних навантажень.** Встановлено, що руйнування зварних з'єднань феритно-перлітних та перлітних трубних сталей у сірководневих розчинах під статичними та циклічними напруженнями відбувається переважно в зоні термічного впливу внаслідок зростання під час кородування її мікроелектрохімічної гетерогенності, інтенсифікації локальної корозії та збільшення концентрації дифузійно-рухливого водню. Розроблено рекомендації щодо зниження допустимого рівня дефектності зварних швів газопроводів під час їх ремонту в польових умовах.

**О. О. Вервейко** (Державний технологічний університет, Чернігів). **Особливості корозії та інгібіторного захисту металів за дії стаціонарних електричних полів.** Експериментально встановлено та теоретично обґрунтовано вплив стаціонарних електричних полів (СЕП) різної полярності на хімічний опір металів (сталей, Al, Ti) та інгібіторний захист від корозії в агресивних середовищах хімічних виробництв, енергетики, підприємств машинобудування. Запропоновано інгібітори та інгібовані захисні покриття, ефективні за дії СЕП.

**Л. І. Маглатюк** (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення ефективних інгібіторів корозії, солевідкладення та біокорозії на основі відходів переробки рослинної сировини.** Підтверджено ефективність інгібітора КОРСОЛ-2 в умовах корозії, солевідкладення та біокорозії в локальній водооборотній системі шведсько-німецького підприємства АТ "СКФ Україна". Розроблено методику визначення присутності інгібітора у водооборотній системі. Досліджено нові інгібітори на основі відходів переробки рослинної сировини.

**О. І. Звірко** (ФМІ НАН України, Львів). **Особливості корозії та інгібіторного захисту нафтогазопроводів.** Виявлено, що внаслідок тривалої експлуатації сталей магістральних газопроводів суттєво погіршуються їх електрохімічні характеристики, знижуються корозійна тривкість сталі, опір крихкому руйнуванню, корозійному та водневому розтріскуванню в результаті агресивної дії водного середовища, що конденсується всередині магістральних газопроводів. Встановлено, що піридин та його заміщені сполуки ефективно гальмують корозію, корозійно-механічне руйнування та водневу проникність трубних сталей у середовищі НАСЕ.

**Г. М. Никифорчин** (ФМІ НАН України, Львів). **Дослідження впливу попередньої пластичної деформації на корозійно-водневу деградацію низьколегованих сталей.** Розкрито особливості зміни характеристик пластичності конструкційних сталей внаслідок тривалої експлуатації та запропоновано їх використовувати як критерії реалізації ведучого механізму експлуатаційної деградації металу. Досліджено вплив

попереднього пластичного деформування та наводнювання на властивості низьколегованих сталей. Запропоновано метод моделювання експлуатаційної деградації сталей за різних температурних умов. Оцінено вплив водню на механічну поведінку конструкційних сталей з наноструктурою. Показано перспективи використання крайового кута змочування для оцінювання стану пластично деформованого металу.

**М. М. Студент** (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення комплексного методу відновлення та захисту від корозійно-ерозійного зношування ущільнювальних поверхонь трубопровідної запірної арматури теплових електростанцій.** Розглянуто механізм взаємодії шихти та оболонки за плавлення порошкового дроту (ПД) під час нанесення захисних та відновних електродугових покривів. Досліджено структуру, фазовий склад та експлуатаційні характеристики електродугових покривів з ПД 140X14H2T2Ю2 та 70X14P3H2Ю2. Показано, що додавання евтектичних сплавів Ni–В, Fe–Ti та FeCr–В до шихти ПД на основі високовуглецевого ферохрому дає змогу одержувати гомогенні електродугові покриви з вмістом хрому більше 13%. Такі покриви мають високу твердість, зносотривкість в умовах сухого та абразивного зношування, а також корозійну тривкість в нейтральних середовищах. Електродугові покриви із запропонованих ПД рекомендовано для захисту ущільнювальних поверхонь штоків запірної арматури на теплових електростанціях України для заміни екологічно небезпечного гальванічного хромування.

**Н. М. Ласковенко** (Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Київ). **Оптимізація сполучення ефективних органо-неорганічних модифікаторів плівкотвірних полімерів та розроблення технології створення нових наноструктурованих антикорозійних покривів широкого призначення.** Відпрацьовано технологію сполучення наноструктурованих органо-неорганічних олігомерів з –Si–O–Si–, –Si–С6Н5 – групуваннями, а також антикорозійної наноструктурованої поліуретанової композиції на основі сітчастого поліуретану та органо-неорганічних олігомерів.

**Л. І. Ниркова** (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ). **Розроблення методики моніторингу захисту металоконструкцій від атмосферної корозії на об'єктах тривалої експлуатації.** Досліджено ефективність роботи восьмиелектродних датчиків швидкості корозії в стендових умовах, що моделюють умови експлуатації за температур 24...70°C та відносної вологості повітря 80 та 100%, в щілинах різної ширини. Розроблено вимоги до вимірювального блоку для вимірювання швидкості атмосферної корозії, алгоритм її визначення та методику моніторингу захисту металоконструкцій в умовах атмосферної корозії.

**І. М. Зінь** (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення поліуретанового ґрунту з високою адгезією для захисту ділянок зварних з'єднань магістральних трубопроводів за трасових умов.** Виявлено, що витяжка інгібувальної композиції на основі фосфату цинку та дрібнодисперсного мармуру багатократно зменшує корозію розчинення маловуглецевої сталі внаслідок зменшення швидкості катодної та анодної реакцій. За присутності інгібіторів спостерігається суттєве гальмування корозії на сталі в районі дефекту покриву. Наповнення поліуретанового ґрунту вказаною сумішшю перспективне через зменшення підплівкової корозії та забезпечення стабільності його адгезії на ділянках зварних стиків і металоконструкцій магістральних трубопроводів.

**О. Т. Цирульник** (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення методу діагностування експлуатаційної деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації за їх схильністю до водневого мікророзтріскування.** З'ясовано, що опір конструкційних сталей водневого розтріскуванню чутливіший до їх експлуатаційної деградації порівняно з ударною в'язкістю. Електролітичне наводнювання з використанням стимулятора призводить до розвитку поверхневої мікропошкоженості конструкційних сталей за механізмом водневого розтріскування. Кореляція критичного струму катодної поляризації з характеристиками опору конструкційних сталей водневого розтріскуванню вказує на те, що цей параметр може бути показником їх опору корозійно-механічному руйнуванню.

**Є. Ф. Перецьотчиков** (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ). **Розроблення матеріалів та технологій відновлення плазмовим наплавленням ущільнювальних поверхонь трубопровідної запірної арматури теплових електростанцій.** Для оцінки роботоздатності металу, наплавленого порошками сплавів на основі заліза, випробувано їхню тривкість проти задирів й термічної витривалості. Встановлено, що оптимальні властивості (твердість, тривкість до задирів, термічна витривалість) має наплавлений метал типу 15X19H9M4C5ГЗД, що відповідає вимогам сучасного арматуробудування. Оптимізовано конструкцію плазмотрона з бічною подачею порошку для високопродуктивного плазмового наплавлення різними сплавами, в т. ч. феромагнетними. За результатами комплексних досліджень визначено можливість використання порошку феромагнетного сплаву на основі заліза 15X19H9M4C5ГЗД для наплавлення трубопровідної арматури теплових електростанцій.

*Г. Г. Веселівська*

## НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ СЕМІНАР МОЛОДИХ УЧЕНИХ “НАУКОВІ ШКОЛИ ФМІ – ЕСТАФЕТА ПОКОЛІНЬ”

(керівники: д.х.н., пров. н.с. І. Ю. Завалій, к.т.н. А. Т. Синявський)

У 2008–2011 рр. на семінарі заслухано такі доповіді.

**В. В. Панасюк** (ФМІ НАН України, Львів). **Механіка руйнування і міцність матеріалів: досягнення та прогрес.** Показано основні напрямки досліджень у галузі механіки руйнування і міцності матеріалів другої половини ХХ століття. Основну увагу приділено аналізу розрахункової моделі граничної рівноваги деформованих твердих тіл, що містять концентратори напружень (тріщини), розробці методів розрахунку напружень, методів і засобів оцінки тріщиностійкості матеріалу, концепції втомної тріщини і її поширення, а також руйнуванню матеріалів у зоні циклічного контакту двох тіл. Продемонстровано нові підходи до встановлення періоду зародження втомної макротріщини тіл з концентратором напружень.

**Г. М. Никифорчин** (ФМІ НАН України, Львів). **Особливості деградації властивостей конструкційних сталей тривалої експлуатації.** Розглянуто деградацію конструкційних матеріалів низки об'єктів тривалої експлуатації: сталі паропроводів теплових електростанцій, корпусів реакторів гідрокрекінгу нафти, магістральних нафто- і газопроводів, порталних кранів, оливо-напірних рукавів гідросистем, а також авіаційних алюмінієвих сплавів. Проаналізовано низку особливостей, притаманних деградації механічних та корозійно-механічних матеріалів після їх тривалої експлуатації. Показано визначальну роль абсорбованого металом водню під час деградації таких матеріалів. На прикладах продемонстровано доцільність використання підходів механіки руйнування до оцінювання експлуатаційної деградації конструкційних сплавів.

**Р. В. Денис** (ФМІ НАН України, Львів). **Нові поглиначі водню на основі сплавів магнію.** Подано результати комплексних матеріалознавчих досліджень багатокомпонентних механічних сплавів на основі магнію для систем зберігання водню, проведених у відділі Водневих технологій та гідридного матеріалознавства ФМІ НАН України. Дослідження спрямовано на пошук шляхів покращення термодинаміки та кінетики абсорбції і десорбції водню магнієм. Використовуючи механохімічний помел у середовищі водню як метод приготування гідриду магнію та його композитів з графітом і кисеньстабілізованими інтерметалідами титан–залізо, вдалось досягти значного покращення воденьсорбційних властивостей, зокрема, понизити температуру абсорбції та десорбції водню магнієм на 100...200°C зі значним підвищенням