

лених у ФМІ порошкових дротів, нанесених за підвищених параметрів напилення, та визначено характер формування міжламельних оксидних плівок у покриттях. Під час нанесення покриттів за підвищення тиску розпилу від 0,6 до 1,2 МПа розмір краплин зменшується від 50...150 до 5...50 μm та зростають корозійна тривкість, мікротвердість та когезивна міцність.

В. М. Федірко (ФМІ НАН України, Львів). **Фізико-хімічні основи підвищення циклічної та статичної міцності виробів із титанових сплавів градієнтним зміцненням поверхневих шарів металу елементами втілення (O, N, C) за термодифузійного насичення.** Виявлено ефект підвищення ресурсних характеристик α - і псевдо- α -сплавів титану під різними видами навантаження за умов регламентованого твердорозчинного зміцнення поверхневих шарів елементами втілення. Сформульовано фізико-хімічні основи технології модифікування поверхневих шарів титанових сплавів шляхом формування градієнтних дифузійних шарів заданих параметрів елементами втілення. Проаналізовано закономірності руйнування зварних з'єднань титанових сплавів ВТ1-0 та ПТ-7М залежно від режимів відпалу та фазово-структурного стану поверхневих шарів металу. Встановлено, що підвищення довговічності після відпалу в контрольованому розрідженому кисневовмісному газовому середовищі зумовлено не тільки зняттям залишкових напружень, а й зневоднюванням поверхневих шарів і об'єму металу, розчиненням інтерференційно забарвлених оксидних плівок, зниженням поверхневої твердості у зонах зварного шва.

А. А. Васцько (Інститут фізики НАН України, Київ). **Макет системи для досліджень трибологічних властивостей надтонких органічних плівок у робочих середовищах. Створення програмного забезпечення для трибологічних випробувань.** Розроблено прилад для неруйнівного вимірювання коефіцієнтів тертя надтонких плівок методом коливання левітувального в магнетному полі маятника. Теоретично вивчено розповсюдження самозаліковної тріщини в інтерфейсі тертя і знайдена характерна довжина її пробігу, яку контролює пружність блока і інтерфейсу.

Г. Г. Веселівська

НАУКОВИЙ СЕМІНАР “ПРОБЛЕМИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ”

(керівники – д. т. н., проф., чл.-кор. НАН України В. М. Федірко
та д. т. н., проф. О. П. Осташ)

У 2014 р. відбулося десять засідань семінару, на яких заслухано та обговорено такі доповіді.

В. І. Маруха (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення ін'єкційних полімерних матеріалів і технологій відновлення роботоздатності експлуатаційно пошкоджених бетонних і залізобетонних конструкцій.** Розроблено плинні ін'єкційні композиції та тверді полімерні вставки на поліуретановій, пінополіуретановій і поліепоксидній основах, у тому числі модифіковані кремнійорганічними сполуками, наноструктурованим органонеорганічним олігомером ОНО-2 та низькомолекулярними епоксидними мономерами. Показано, що мінеральний наповнювач у системі “поліуретанова матриця–воластоніт” підвищує ефективність відновлення. Експериментально встановлено, що ін'єкції такими композиціями забезпечують віднову міцності пошкоджених бетонних і залізобетонних зразків зі штучними тріщинами (концен-

траторами напружень) до рівня суцільних (непошкоджених тріщинами) зразків. Розроблено інгібіторовмісні поліуретанові, поліепоксидні й кремнійорганічні поліепоксидні ін'єкційні композиції, які забезпечують протикорозійний захист сталеві арматури залізобетонних конструкцій. Виявлено синергічний вплив молібдатного та нітратного інгібіторів на сталеві поверхні в слабокислих середовищах. Для інженерної практики сформульовані розрахункові залежності, які дають можливість встановлювати силові режими ін'єктування з урахуванням розклинювання тріщини ін'єкційними полімерними вставками. Розроблені технологія й дослідно-промислове виробництво поліольних та ізоціанатних компонентів модифікованих поліуретанових ін'єкційних матеріалів, які впроваджено на промислових будівельних об'єктах під час реалізації технології відновлення міцності та роботоздатності пошкоджених бетонних і залізобетонних конструкцій.

В. С. Труш (ФМІ НАН України, Львів). **Підвищення експлуатаційних властивостей титанових сплавів модифікуванням поверхневого шару елементами втілення (O, N, C).** Подані результати досліджень утомної міцності та довговічності альфа та псевдо-альфа сплавів титану з регламентованим градієнтним твердорозчинним (РТТ) зміцненням поверхневого шару елементами втілення (O, N, C). Вперше експериментально встановлено універсальність ефекту підвищення довговічності титанових сплавів VT1-0, ПТ-7М, ОТ4-1 зі зміцненням (киснем) на оптимальний рівень поверхневим шаром як за циклічних, так і статичних умов навантаження. Встановлено природу підвищення довговічності титанових сплавів з РТТ зміцненням поверхневого шару. На прикладі сплаву VT1-0 показано, що збільшення довговічності за оптимального рівня РТТ зміцнення поверхневого шару зумовлено формуванням максимального рівня стискальних напружень, подрібненням субзеренної структури та утворенням впорядкованої коміркової дислокаційної структури.

В. І. Кириліє (ФМІ НАН України, Львів). **Формування поверхневої нанокристалічної структури на сталях та їх фізико-механічних властивостей.** Розвинуто дослідження в галузі поверхневого зміцнення механоімпульсною обробкою, яка базується на використанні енергії високошвидкісного тертя. Установлено, що під час цієї обробки формується градієнтна нанокристалічна структура з розміром зерна на поверхні 12...50 нм. Необхідною умовою формування наноструктури є високий ступінь деформації (більше 10), за якої густина дислокацій досягає 10^{11} cm^{-2} . Особливістю механоімпульсної обробки є використання різних технологічних середовищ (ТС), які є джерелом насичення приповерхневих шарів елементами ТС (вуглець, азот, кисень, водень), які розміщуються в основному на межах зерен та впливають на сили міжатомного зчеплення й можуть бути корисними або шкідливими. Показано, що ТС на оливній основі забезпечують кращі механічні властивості сталі, тому рекомендовано їх використовувати з додаванням низькомолекулярного поліетилену. Показано позитивний вплив різнонаправленого термопластичного деформування приповерхневих шарів металу спеціальним зміцнювальним інструментом (патент України № 70431). Ці ж технологічні прийоми підвищують пластичність сталей після електролітичного наводнювання. Крім цього, поверхнева градієнтна нанокристалічна структура викликає уповільнення проникнення водню в матричний матеріал.

Р. Р. Романюк (ЗНЦ НАН України і МОН України). **Радіаційне та хімічне модифікування аморфних халькогенідних матеріалів.** Вивчені закономірності впливу гама-квантів на структуру та модифікування її вісмутом, електрофізичні та оптичні властивості аморфних плівок моносульфіду й моноселеніду германію. Встановлено, що під час конденсації плівок $(\text{GeSe})_{1-x}\text{Bi}_x$ та $(\text{GeS})_{1-x}\text{Bi}_x$ ($x \leq 0,15$) на підкладки при $T = 293 \text{ K}$ формується аморфна структура з тетраедричною координацією атомів Ge і подвійною координацією атомів халькогену, а атоми Bi схильні до утворення структурних одиниць пірамідального типу $\text{BiX}_{3/2}$ ($X = \text{Se}, \text{S}$). Вивчено часову стабільність радіаційно-стимульованих оптичних змін. Установлено, що гама-опромінення плівок GeSe пришвидшує їхнє фізичне старіння і може бути використане для обробки таких матеріалів для стабілізації їх експлуатаційних властивостей. Встановлено кон-

центраційні залежності ширини оптичної щілини та показника заломлення аморфних плівок $(\text{GeSe})_{1-x}\text{Bi}_x$, $(\text{GeS})_{1-x}\text{Bi}_x$ ($x \leq 0,15$) від вмісту Bi. З використанням першопринципних розрахунків електронної структури кластерів Ge_nS_m і Bi_nS_m пояснено особливості зміни ширини енергетичної щілини плівок за модифікування вісмутом. Встановлено механізм і тип електропровідності, а також енергетичне розміщення центрів рекомбінації. Виявлено, що в концентраційному інтервалі $0,11 < x < 0,15$ відбувається інверсія типу провідності зразків $(\text{GeSe})_{1-x}\text{Bi}_x$, $(\text{GeS})_{1-x}\text{Bi}_x$ з p - на n -тип. Запропоновано модель будови енергетичної щілини аморфних плівок монохалькогенідів германію та особливості її трансформації внаслідок модифікування вісмутом та дії гама-квантів.

Т. Р. Ступницький (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення зносотривких електродугових покривів із порошкових дротів з підвищеною корозійною тривкістю.** Сформульовано основні вимоги до розроблення порошкових дротів (ПД) базових систем Fe–Cr–C та Fe–Cr–B на основі феросплавів для електродугового наплення зносотривких покривів з підвищеною корозійною тривкістю в нейтральних водних середовищах. Встановлено, що на відміну від суцільних матеріалів для електродугових покривів (ЕДП) наявність 12 mass.% Cr в шихті ПД не забезпечує їх корозійну тривкість. Показано шляхи досягнення низької хімічної гетерогенності покривів. Для запобігання переходу Cr в оксиди рекомендовано додавати до складу шихти ПД елементи, для яких вільна енергія оксидування є меншою, ніж для утворення оксиду хрому. Встановлено, що під час кристалізації крапель неможливо запобігти утворенню карбідів та боридів Cr у ЕДП. Для досягнення корозійної тривкості цю кількість Cr необхідно враховувати й компенсувати під час розрахунку складу шихти ПД. Запропоновано формули для розрахунку вмісту Cr у ПД. Встановлено механізм руйнування покривів за дії закріпленого та незакріпленого абразиву. Експериментально встановлено, що корозійна тривкість ЕДП із ПД, які містять понад 12 mass.% Cr обернено пропорційна їх хімічній мікрогетерогенності. Порівняльні випробування на зносотривкість, корозійну тривкість та граничне тертя показали, що одержані покриви з оптимізованих порошкових дротів 140X14H2ТЮ та 70X20P3ГC2Ю ліпші за покриви, одержані шляхом гальванічного хромування.

В. В. Федоров (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення фізико-хімічних підходів до синтезу і обробки магнетних та воденьакумулюючих матеріалів на основі сполук РЗМ, Fe, Co, Ni та Mg з покращеними робочими характеристиками.** Уперше встановлені воденьсорбційні характеристики та розрядна ємність низькі синтезованих ІМС та їх гідридів систем R–Mg–T (R = La, Y, Ce, Tb, Nd; T = Co, Ni, Cu) і показано, що воденьсорбційна ємність сполуки YMgCo_4 сягає 6,8 at./f.u., що суттєво (на 70%) перевищує ємність широко апробованої сполуки YMgNi_4 . Для сполуки La_2MgNi_9 електрохімічна розрядна ємність Mg-електродів досягає 410 mA·h/g, що на 25% вище за ємність промислових електродних матеріалів на основі сполуки LaNi_5 . Встановлено, що у сплавах $\text{Sm}_2\text{Co}_{17-x}\text{Zr}_x$ ($x = 1$ і 2) та $\text{Sm}_2\text{Co}_{17-x}\text{Ti}_x$ ($x = 1,7; 0,95; 0,5; 0,2$ і $0,1$) основою є феромагнетна фаза зі структурою $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$. Показано, що сплави $\text{Sm}_2\text{Co}_{17-x}\text{Ti}_x$ диспропорціонують у водні під тиском 3 МПа за витримки при $T = 973$ К упродовж 3 h. Для сповільнення фазових перетворень у сплавах $\text{Sm}_2\text{Co}_{17-x}\text{Ti}_x$, під час їх взаємодії з воднем, вміст Ti повинен бути менший 0,5 at./f.u. Встановлено, що поєднання водневого диспергування з ультразвуковою обробкою робить отримання порошків сплаву $\text{Dd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ одностадійним, значно скорочуючи час цього процесу (до 20 min). Середній розмір частинок порошку 5,6 μm . Показано, що наводнювання феромагнетного сплаву $\text{Du}_2\text{Fe}_{17}$ призводить до зростання точки Кюрі на 80 K за тиску водню 0,1 МПа, що пояснюється формуванням гідридної фази на основі диспрозю.

Н. Б. Рацька (ФМІ НАН України, Львів). **Підвищення зносотривкості сплаву системи Nb–Ti термодифузійним оксидуванням.** Проаналізовано вплив температури експозиції сплаву в повітрі на його структуру, фізико-механічні та трибологічні властивості. Встановлено, що з підвищенням температури хіміко-термічної обробки від 300 до 900°C товщина оксидованого шару зростає від 30 до 70 μm , а його максимальна мікротвердість збільшується від 4,2 до 7 GPa внаслідок поетапного формуван-

ня дисперсних фаз оксидів NbO, NbO₂, Nb_xTi_yAl_zO_k, TiNb₂O₇, Ti_{0,4}Al_{0,3}Nb_{0,3}O₂, які армують поверхневий шар сплаву. Вперше запропоновано спосіб поверхневого зміцнення таких ніобій-титанових сплавів, який полягає у комбінуванні хіміко-термічної обробки із формуванням поверхневого насиченого киснем композиційного шару, який складається з включень складних оксидів типу рутилу Ti(Nb, Al, V)O₂ у матриці. Такий газонасичений шар з вмістом 40...50 vol.% оксидних включень підвищує в ~5 разів зносотривкість сплаву. Вперше виявлено, що композиційний оксидний шар захищає поверхню сплаву від зношування за присутності водню. Як після електролітичного наводнювання, так і в газоподібному водні коефіцієнт тертя оксидованого сплаву знижується у 2,5...4 рази. Описано механізм зношування оксидованого шару й встановлено, що поверхня тертя характеризується почерговою зміною крихкого руйнування оксидних включень і пластичною деформацією матриці. Зроблені практичні рекомендації й запропоновані режими хіміко-термічної обробки сплавів системи Nb-Ti для поліпшення їх експлуатаційних характеристик, зокрема, зносотривкості поверхні деталей газових турбін.

Р. В. Проскурняк (ФМІ НАН України, Львів). **Розроблення способів карбонітрування титанових сплавів для підвищення корозійної тривкості.** Розроблено способи термодифузійного карбонітрування титанових сплавів у вуглецьазоткисневмісному середовищі, які забезпечують формування поверхневих функціональних шарів заданого складу за температур 750...850°C (Патент України № 53075). Встановлено ефективність термодифузійного карбонітрування для підвищення опору корозії в агресивних середовищах концентрованих неорганічних кислот (20%-ий водний розчин HCl, 40 та 80%-ні водні розчини H₂SO₄, H₃PO₄). Показано, що швидкість корозії титану з карбонітридними шарами на два порядки нижча порівняно з нітридними та карбідними шарами. Вперше встановлено, що підвищення концентрації кисню у газовій компоненті насичувального середовища до 0,05...0,4 vol.% за подачі азоту висхідним потоком через вуглецевмісний порошок інтенсифікує взаємодію через парогозову фазу й дозволяє формувати поверхневі карбонітридні шари на титанових сплавах за температур 750...850°C. Встановлено, що використання як активатора карбонату натрію Na₂CO₃ у 7%-ій концентрації збільшує кількість вуглецевої компоненти у складі карбонітриду (TiC_{0,63}N_{0,37} → TiC_{0,68}N_{0,32}), що забезпечує підвищення корозійної тривкості у 40%-му водному розчині H₂SO₄ у 2 рази. Встановлено, що термодифузійне карбонітрування сплаву VT14 з формуванням на поверхні плівки карбонітриду (3...5 μm) та дифузійного перехідного шару твердого розчину (40...60 μm) забезпечують підвищення корозійної тривкості за мінімальної втрати втомної міцності (до 4...9%).

П. В. Гладий (ПП “Енергоконтакт”). **Розроблення методів оцінювання структурно-механічної пошкоджуваності сталей 12X1MФ і 15X1M1Ф та залишкового ресурсу згинів тривало експлуатованих парогонів ТЕС.** Встановлено нові закономірності між параметрами мікроструктури, міцністю і циклічною тріщиностійкістю та фізико-хімічними властивостями (коерцитивна сила, швидкість репасивації) сталей 12X1MФ і 15X1M1Ф парогонів ТЕС після довготривалої експлуатації. Вперше виявлено, що зміна фізико-механічних властивостей деградованих сталей парогонів зумовлена мікроспотворенням кристалічної ґратки, зменшенням розміру субзерен у 1,5...1,7 рази і зростанням залишкових напружень II роду в 2...3 рази, що спричиняє міжзеренний мікромеханізм руйнування сталей вздовж ланцюжків пор і міжфазних меж “карбід-матриця” і “неталеве включення-матриця” та ріст коерцитивної сили металу. Показано, що стандартні механічні характеристики, передбачені чинними нормативними документами для оцінки ресурсу металу парогонів, виявляють слабку чутливість до структурно-механічного стану деградованих теплотривких сталей. Вперше встановлено, що внаслідок експлуатаційної деградації структури сталей 12X1MФ і 15X1M1Ф суттєво знижується опір зародженню втомної тріщини: порівняно із зоною стиску втомна довговічність у зоні розтягу на стадії зародження макротріщини для сталі 12X1MФ зменшується у 5,3 рази, а для сталі 15X1M1Ф у 4,8 рази.

За результатами зміни швидкості репасивації V_r і коерцитивної сили НС виявлено більшу схильність до експлуатаційної деградації сталі 15Х1М1Ф, ніж сталі 12Х1МФ, що пов'язано з інтенсивнішим перерозподілом карбідотвірних елементів, вміст яких у сталі 15Х1М1Ф вищий. Запропоновано нову методику пришвидшеної деградації сталей парогонів ТЕС у лабораторних умовах, яка дає можливість за сумісного впливу високої температури й циклічних навантажень отримувати експрес-інформацію про трансформацію вихідної структури й мікропошкодженість сталей, аналогічну експлуатаційній. Встановлено, що для прогнозування деградації властивостей тепло-тривких сталей парогонів під час їх тривалої експлуатації за допомогою параметра Ларсона–Міллера $P = f(T, \tau)$, де T і τ – відповідно температура і час експлуатації, його потрібно модифікувати: $P = f(T, \tau, \sigma_T)$, де σ_T – середній рівень механічних напружень у стінці парогону.

П. Я. Лютий (ФМІ НАН України, Львів). **Розробка нових матеріалів на основі перехідних та рідкісноземельних металів для ефективного зберігання водню та магнетного охолодження.** Побудовано в повному концентраційному інтервалі ізотермічні перерізи діаграм стану для {Cr, Fe, Co, Cu}–Ga–Si потрійних систем. Кристалічна структура дев'яти нових тернарних сполук досліджена вперше. Вивчено кристалічну структуру вперше синтезованих Ti_3Cr_3O та Zr_3Cr_3O кисеньстабілізованих фаз зі структурою типу Ti_2Ni , а також воденьсорбційні характеристики гідридів на їх основі. Обговорено перспективність подальших досліджень цього класу сполук як матеріалів для металогідридних джерел струму та каталітичних додатків у композиціях на основі магнію. Подані принципи дії, основні класи, а також проблеми практичного застосування матеріалів для магнетного охолодження за температур близьких до кімнатної. Показано перспективність та практичну значимість цього напрямку досліджень, особливо сполук зі структурою типу $NaZn_{13}$ та гідридів на їх основі.

В. В. Березовець (ФМІ НАН України, Львів). **Фазово-структурний стан і воденьсорбційні властивості нових сплавів на основі магнію.** Показано перспективні способи активації та пришвидшення процесів гідрування-дегідрування магнію внаслідок механічної обробки у високоенергетичних кульових млинах. Подані нові сплави на основі систем Mg–M–Ni (M = Al, Mn, Ti), де вперше синтезовано сполуку Mg_3TiNi_2 та підтверджено існування сполуки Mg_3MnNi_2 . Синтезовано сплави складу $Mg_{88}M_4Ni_8$. Показано воденьсорбційні властивості синтезованих сплавів на основі магнію, встановлено високу воденьсорбційну ємність для сплавів $Mg_{88}M_4Ni_8$ (~5,5 mass.% водню). Побудовані діаграми фазової рівноваги для систем Mg–{Ti, Mn}–Ni при 500°C, виявлено існування фазової рівноваги між сполуками Mg_3TiNi_2 , $TiNi$ та Ti_2Ni . Встановлено кристалічну структуру нових магнієвмісних гідридів/дейтеридів. Показано, що дейтерид $Mg_3MnNi_2D_{0.3}$ перший досліджений гідрид втілення на основі магнію. Показано, що механічне легування магнію Ti, TiFe оксидами титану, субоксидами $Ti_4Fe_2O_{0.3}$ покращує кінетику “сорбції–десорбції” водню та понижує температуру реакції. Найліпші сорбційні властивості отримані для композитів, синтезованих методом реактивного помелу в середовищі водню для системи Mg–20 $Ti_4Fe_2O_{0.3}$.

О. Г. Лук'яненко