

Г. В. Кречковська. Фрактодіагностичні аспекти корозійно-водневої деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації. Розвинуто напрям діагностування експлуатаційної деградації конструкційних сталей. Проаналізовано відповідність фактографічних ознак зламів, отриманих в експлуатаційних та лабораторних умовах. Їх кількісне оцінювання та встановлення кореляційних залежностей між фрактографічними та фізико-механічними характеристиками до різної міри деградованих сталей відкривають перспективу для аналізу поточного технічного стану сталей, експлуатованих на різних об'єктах, та прогнозування на цій основі експлуатаційних руйнувань. Оцінено технічний стан металу пошкоджених елементів за механічними характеристиками та побудовано кореляційні залежності між фрактографічними і механічними характеристиками деградованих сталей після тривалої експлуатації.

Д. Б. Куриляк

ПРОБЛЕМИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ

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

У 2017 р. на семи засіданнях семінару заслухано та обговорено такі доповіді.

І. Ю. Завалій. Розроблення фізико-хімічних засад синтезу, модифікування та оброблення воденьакумулювальних, електродних і магнетних матеріалів на основі легких металів та сплавів РЗМ з поліпшеними робочими характеристиками. Відпрацьовано режими механохімічного помелу для синтезу нових порошкових воденьакумулювальних сплавів та композитів на основі магнію, модернізовано обладнання для синтезу металогідридів (механічний помел у водні) та дослідження воденьсорбційних характеристик синтезованих гідридів сплавів та композитів, оптимізовано параметри помелу та процесу гідрування–диспропорціонування–десорбції–рекомбінації, щоб отримати анізотропні порошки феромагнетних сплавів на основі SmCo_5 . Синтезовано нові інтерметалічні сполуки Mg_3MNi_2 ($M = \text{Al}, \text{Mn}, \text{Ti}$) та їх гідриди, встановлено особливості сорбції–десорбції водню. Вивчено фазовий склад та наводнювання сплавів $\text{Mg}_{88}\text{M}_4\text{Ni}_8$, які володіють ємністю за воднем $\sim 5 \text{ wt.}\%$ та пониженою (проти магнію) температурою десорбції $\sim 235^\circ\text{C}$. Синтезовано низку нових субнітридів (η -фаз) та їх гідридів $(\text{Ti}, \text{Zr})_4\text{Ni}_2\text{N}_x\text{H}_y$ зі структурою типу $\eta\text{-Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, яким притаманна ємність $2,0\text{...}2,4 \text{ wt.}\% \text{ H}_2$. Досліджено електрохімічні властивості мелених композитів Mg та Mg_2Ni із графітом, міддю, кобальтом та нікелем. Максимальну розрядну ємність ($809,6 \text{ mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$) зафіксовано для композиту $\text{Mg}_2\text{Ni}/\text{Ni}$. Встановлено умови помелу сплавів $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Zr})_5$. Зафіксовано, що найбільше здрібнюється мікроструктура сплавів на основі SmCo_5 під час легування ванадієм. Виявлено, що для синтезу матеріалів з високою магнетострикцією під час водневої обробки слід вибрати феромагнетні сполуки, а для додаткового підвищення температури точки Кюри і відносної зміни розмірів магнетика λ слід виконувати водневу обробку інтерметалідів на основі d -перехідних металів та РЗМ, які заздалегідь модифіковані азотом.

І. М. Погреблюк. Підвищення зносо- та корозійної тривкості титанових сплавів, синтезованих методом порошкової металургії. Одержати вироби з титанових сплавів спіканням порошкових матеріалів – одна з перспективних та економічних технологій титанової промисловості, яка мінімізує відходи під час виготовлення виробів складної форми. Тому актуально визначити закономірності триботехнічної та корозійної поведінки порошкових титанових сплавів, властивості яких не гірші, ніж деформованих, досягнути інших фізико-механічних характеристик, достатніх для

практичного використання, а також розробити методи та способи формування поверхневих шарів з високими зносотривкістю та антикорозійними характеристиками. Підвищити зносо- та корозійну тривкість титанових сплавів в особливо агресивних середовищах можна, застосовуючи інженерію поверхні, у тому числі термодифузійне насичення з контрольованих газових середовищ, комбінований поверхневий деформаційний та дифузійний впливи, щоб сформувати захисні модифіковані шари заданих складу та морфології, досягнути зміцнення та фізико-хімічних властивостей, які б відповідали функціональному призначенню. Проте пряме перенесення цих підходів на порошкові сплави не зовсім правомірне через формування в них специфічних структурних станів.

Л. М. Свірська. Структурно-механічні закономірності експлуатаційної деградації теплотривких сталей кріпильної арматури та гинів парогонів ТЕС. Вперше оцінено ефект експлуатаційної деградації сталі 25X2M1Ф кріпильної арматури циліндрів високого тиску парової турбіни за механічними характеристиками і пов'язано його зі структурними змінами. Обґрунтовано можливість повторного термічного оброблення експлуатованих елементів кріпильної арматури для відновлення структури та механічних характеристик сталі, що регламентовані для виробів у вихідному стані. Експериментально доведено, що і за структурними ознаками (розміри карбідів удовж меж зерен), і за опором крихкому руйнуванню (ударна в'язкість, статична і циклічна тріщиностійкість) сталь 12X1MФ деградує в усіх зонах гинів парогонів ТЕС інтенсивніше, ніж на прямих їх ділянках. Виявлено, що критично деградованим може стати не лише метал розтягнутої зони гину (внаслідок повзучості), але і стисненої (через структурні особливості внаслідок інтенсивного деформування труби під час виготовлення гину).

В. С. Труш. Вплив градієнтного твердорозчинного зміцнення поверхневого шару елементами втілення (O, N, C) на фізико-механічні властивості сплавів на основі елементів IV групи (Ti, Zr, Hf). Виявлено та експериментально підтверджено ефект підвищення ресурсних характеристик титанових сплавів за різних видів навантаження (мало- та багатоциклова втома, довготривала міцність) під час регламентованого зміцнення поверхневих шарів елементами втілення (кисень, азот, вуглець). Визначено оптимальні параметри модифікованого поверхневого шару (градієнт твердості і глибини) для кожного елемента втілення. Встановлено, що після відпалу пластин гафнієвого сплаву ГФЕ-1 ($T = 850^\circ\text{C}$, $\tau = 2 \text{ h}$, $P = 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$) формується дифузійно зміцнений поверхневий шар ($l = 30 \dots 35 \mu\text{m}$, $\Delta HV = 100$), який підвищує довговічність зразків за чистого згину (амплітуда деформації $\pm \epsilon_a = 0,6\%$) в $\sim 1,7$ рази порівняно з обробкою у високому вакуумі ($T = 850^\circ\text{C}$, $\tau = 2 \text{ h}$, $P = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$). Досліджено вплив обробки в кисне- та азотовмісному середовищах ($T = 650^\circ\text{C}$, $\tau = 1 \dots 20 \text{ h}$) на кінетику насичення зразків-кілець, вирізаних із цирконієвої ТВЕЛЬНОЇ трубки. Виявлено, що зовнішня поверхня після окисдування та азотування твердіша, ніж внутрішня.

В. Я. Подгурська. Структурна оптимізація фізико-механічних властивостей композитів на основі МАХ-фаз титану. Встановлено, що при 600°C композит на основі МАХ-фази Ti_3AlC_2 (модифікація 312) володіє високим опором окисненню, оскільки здатний "заліковувати" приповерхневі пори матеріалу, а також нечутливий до впливу водню. Ці властивості поліпшуються під час його легування ніобієм (до 5%). Виявлено, що перспективним для виготовлення інтерконектів паливних комірок є композит на основі Ti_2AlC (модифікація 211), який жаротривкіший проти композиту на основі Ti_3AlC_2 . За жаро- та воднетривкістю, а також опором високотемпературному пластичному деформуванню він перевершує феритні сталі типу Stofeg, які традиційно використовують для з'єднувальних елементів твердооксидних паливних комірок, і, крім того, дає можливість знизити їх вагу майже у двічі. Композити на основі МАХ-фаз титану перспективні в трибоспряженнях за контактних навантажень 1 МПа, зокрема, в електротранспорті. Зносотривкість композитів на основі модифікацій 312 і 211 тим вища, що більший вміст МАХ-фази. Опір зношуванню силуміну (традиційного матеріалу вставок пантографів) суттєво менший (у 20 разів), ніж

МАХ-фаз. За критерієм зношування пари “композит–мідь” перевагу мають компози-ти на основі Ti_3AlC_2 і $(Ti, Nb)_3AlC_2$, а на основі Ti_2AlC зумовлюють більше (у 4–5 разів) зношування контртіла (міді).

В. М. Федірко. Встановлення корозійно-адсорбційного впливу свинцевих розплавів на експлуатаційну деградацію властивостей ферито-мартенситних та аустенітних сталей. Встановлено, що для хромистих феритних та ферито-мартенситних сталей за швидкості навантаження $5 \cdot 10^{-4} s^{-1}$ у розплаві свинцю або евтектики свинець–вісмут при $300 \dots 450^\circ C$ реалізується ефект рідкометалевого окрихчення, що проявляється у зниженні на $10 \dots 20\%$ пластичності. Для сталі аустенітного класу X18N10T його не виявлено. Підтверджено універсальність ефекту рідкометалевого окрихчення феритних, ферито-мартенситних та аустенітних сталей і встановлено, що він проявляється в інтервалі $350 \dots 450^\circ C$ за деформації $\pm \epsilon_a = 0,8 \dots 1,0\%$ і знижує на порядок довговічність за чистого згину. Корозія хромистих сталей у розплавах свинцю залежить від концентрації розчиненого кисню. За $C_{O[р\%]} \approx 10^{-7} \dots 10^{-6} wt.\%$ розчиняються легувальні елементи Cr, Ni, розтравлюються межі зерен і розплав проникає у матрицю. Зі збільшенням концентрації кисню до межі розчинності ($10^{-4} \dots 10^{-3} wt.\%$) визначальним стає окиснення з утворенням оксидів на основі заліза та хрому. Розплав свинцю в інтервалі $500 \dots 600^\circ C$ знижує на $30 \dots 40\%$ довготривалу міцність, причому розплав евтектики – суттєвіше. На малих часових базах падіння міцності визначають адсорбція та рідкометалеве окрихчення. В подальшому опірність сталей руйнуванню залежить від корозійної дії розплавів, зокрема процесів, що відбуваються на межах зерен.

І. М. Погрелюк. Розроблення способів поверхневого модифікування спеченого титану для підвищення корозійної тривкості в агресивних середовищах неорганічних кислот. Виявлено, що корозійна тривкість спеченого титану у висококонцентрованих водних розчинах хлоридної і сульфатної кислот зростає зі зменшенням залишкової поруватості компактованого порошкового матеріалу та розміру порошкових фракцій у вихідній суміші, збільшенням тиску пресування і підвищенням температури спікання. Вона у цих розчинах на один–три порядки нижча, ніж титану, одержаного за традиційною технологією. Швидкість корозії титану зі залишковою поруватістю до 9% становить $0,9 \dots 14,7 g/(m^2 \cdot h)$ у 20% розчині хлоридної кислоти і $1,1 \dots 1,3 g/(m^2 \cdot h)$ – в 40% розчині сульфатної. Розроблено схеми та рекомендовано режими оксидування та азотування спеченого титану ВТ1-0 із такою поруватістю для формування захисного покриття. Ефект антикорозійного захисту азотуванням у 20% хлоридній кислоті на порядок вищий, ніж оксидуванням. Застосовуючи такі режими для спеченого титану ВТ1-0 із залишковою поруватістю до 9% , можна знизити температуру спікання (до $1000^\circ C$) та тиск пресування (до $400 \dots 460 MPa$), зменшуючи енергозатрати та підвищуючи ресурс обладнання для синтезу матеріалу.

О. П. Остап. Розроблення методів оцінювання і способів підвищення міцності і тріщиностійкості конструкційних матеріалів та їх зварних з’єднань з урахуванням структурно-механічної деградації в експлуатаційних середовищах. Для прогнозування втомної довговічності зразків з концентраторами напружень різної геометрії запропоновано нові інженерні методики на основі базової кривої втоми ($\Delta\sigma_y^* - N_i$) і кінетичних діаграм втомного руйнування ($da/dN - \Delta K_{eff}$) чи ($da/dN - \Delta K$), отриманих на стандартних зразках. Встановлено, що роботоздатність високоміцних вуглецевих сталей в умовах складного напруженого стану під циклічним навантаженням залежить від їх здатності релаксувати механічні напруження. Виявлено, що найвищу витривалість таких сталей забезпечує мішана структура нижнього бейніту ($\sim 60\%$) і мартенситу ($\sim 40\%$), сформована після ізотермічного гартування і запропонованого режиму охолодження. На основі діаграм конструкційної міцності, які характеризує комплексний параметр ($\sigma_B \cdot \Delta K_m \cdot \Delta K_{fc}$), встановлено, що під час зварювання плавленням з’єднання сплаву Д16М за цим параметром поступаються з’єднанням сплаву АМг5. Ефективне підвищення конструкційної міцності зварних з’єднань сплаву Д16Т досягнуто за зварювання у твердому стані – тертям з перемішуванням. Побу-

довано кінетичну діаграму втомного руйнування, де відсутня прямолінійна ділянка Періса, що пов'язано зі специфічною структурою металу шва після термомеханічної обробки зсувом. Виявлено, що водяна пара спричиняє експлуатаційну деградацію кермету YSZ–Ni тим відчутніше, що вища її концентрація, зокрема, міцність однократно відновленого кермету зменшується на 23%, а попередньо redox-обробленого – на 35%. Для робочої температури 600°C (паливні комірки) рекомендовано композити на основі МАХ-фаз Ti_2AlC , а для температури 1200°C (лопатки двигунів) – на основі МАХ-фази Ti_3AlC_2 . Вказана можливість прогнозувати роботоздатність зварних з'єднань алюмінієвих сплавів системи Al–Mg і Al–Cu–Mg неруйнівними методами за кореляційними залежностями між локальною питомою електропровідністю та характеристиками міцності і циклічної тріщиностійкості. Запропоновано і апробовано вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання, які працюють у режимі імпульсного збудження, що дає можливість розробляти нові комплексні технології структуроскопії і дефектоскопії приладами типу Eddycon C і Eddycon D.

О. Г. Лук'яненко

КОРОЗІЯ. ЗАХИСТ МЕТАЛІВ ВІД КОРОЗІЇ

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

У 2017 р. на засіданнях семінару заслухано та обговорено такі доповіді.

В. Р. Івашків. Корозійно-електрохімічні властивості сталі 20 з цинковим та алюмінієвим покриттями у хлоридно-сірководневих середовищах. Встановлено, що швидкість корозії електрометалізаційного покриття у морській воді більша, ніж нанесеного з розплаву і не змінюється за додавання сірководню. У кислих ацетатних розчинах вона зменшується за додавання сірководню, що зумовлено дифузійними обмеженнями у заглибинах цинкового напиленого покриття. На основі електрохімічних досліджень гальванопар сталь 20–покрив розроблена методика визначення граничних розмірів пошкоджень у покриттях анодного типу. Встановлено, що в сірководневих середовищах захисні властивості пошкоджених покриттів на основі алюмінію як протектора більш ніж на порядок ліпші за покриття на основі цинку.

О. П. Хлопик. Захисні властивості нових екологічно безпечних інгібіторів корозії на свіжоутвореній поверхні алюмінієвих сплавів. Вперше виявлено високу протикорозійну ефективність на механічно активованій поверхні алюмінієвого сплаву в середовищі синтетичного кислого дощу біогенної поверхнево-активної речовини (біоПАР) – рамноліпідного біокомплексу. Механізм інгібування корозії полягає в гідрофобізації поверхні металу в результаті адсорбції органічних молекул і створення захисної плівки. Аніони біоПАР проявляють тенденцію до включення в зовнішні шари відновлюваної оксидної плівки на алюмінієвому сплаві. Рамноліпід утворює з іонами алюмінію малорозчинну комплексну сполуку, яка осаджується на анодних ділянках металу. Встановлено, що екологічно безпечна органо-неорганічна композиція на основі рамноліпідного біокомплексу та цинку фосфату проявляє синергізм захисної дії та є ефективною для захисту конструкцій з алюмінієвих сплавів від трибокорозійного руйнування.

Г. М. Никифорчин. Розроблення науково-методичних підходів до консервативного оцінювання корозійно-водневої деградації конструкційних сталей за їх характеристиками опору крихкому руйнуванню. Встановлено закономірності зміни характеристик опору крихкому руйнуванню як консервативних показників деградації конструкційних сталей, експлуатованих у корозивно-наводнювальних середо-