

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу
Винара Василя Андрійовича
" Наукові основи фрикційної взаємодії металів
за дії корозійного та водневого чинників",

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.17.14 – Хімічний опір матеріалів та захист від корозії

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Проблема захисту металів є однією з найважливіших, оскільки втрати металофонду внаслідок корозії оцінюються від 10 до 20% річного виробництва сталі. Значний відсоток корозійних втрат приходить на руйнування металів внаслідок їх роботи в умовах експлуатаційного зносу, в тому числі під час трибомеханічних процесів. Останні пов'язані з незворотною трансформацією поверхневих шарів металів від одночасної фізико-хімічної та механічної взаємодій під час їх фрикційного контакту в корозивних середовищах.

Трибокорозія характерна для обладнання цілого ряду підприємств харчової, нафтогазовидобувної, хімічної промисловостей, в енергетиці, комунальному господарстві, морському транспорті, тобто там, де відбуваються процеси механічного тертя у вузлах агрегатів, механізмів та ін. Особливістю трибокорозії є те, що цей процес включає ефекти ряду процесів, а саме механічні, хімічні та електрохімічні, що зумовлює складний, часом синергетичного типу, механізм та закономірності його перебігу, через які відбуваються непрогнозовані втрати металу.

Тож розроблення та розширення наукових основ теорії фрикційної взаємодії металів під дією корозійних та водневих чинників є актуальною науковою та прикладною проблемою, яка вирішується в дисертаційній роботі Винара В.А. шляхом вдосконалення електрохімічних підходів до визначення точності вимірювань показників трибокорозійного процесу на прикладі поширеного алюмінієвого сплаву, неіржавіючої сталі 08X18N10T, комплексу досліджень чистих металів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Доцільність та своєчасність дисертаційної роботи Винара В.А. підтверджена зв'язком з темами НДР, які виконувалися у відповідності з планами науково-дослідних робіт у відділі фізико-хімічних методів зміцнення матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України «Дослідження впливу водню на контактну взаємодію та руйнування металевих поверхонь у процесі тертя», №0110U000430; «Встановлення закономірностей впливу водню на структурно-фазовий стан, властивості та трибологічну поведінку поверхонь металевих трибопар», №0113U003420; «Встановлення закономірностей трансформації поверхневих шарів корозійнотривких сталей та композиційних матеріалів на нікелевій основі від фрикційного контакту в корозивних середовищах», №0116U004949; «Дослідження трибокорозійної поведінки розроблених ІНМ ім. В.М.Бакуля НАНУ матеріалів для деталей пар тертя герметичних насосів і оптимізація їх структури для підвищення корозійної тривкості», №0113U004216; «Вивчення механізму корозії активованих механічними напруженнями легких сплавів із поверхнево модифікованими шарами та покриттями» №0105U004303; «Дослідження механізму трибокорозії легких сплавів із захисними покриттями» №0108U004273; «Розробка композиційних мастильних матеріалів для захисту від трибокорозії вузлів тертя, що працюють в екстремальних умовах» №0113U004224; «Дослідження впливу електрохімічних характеристик та розміру локальних електродних ділянок на корозійне

руйнування поверхні гетерогенних сплавів», №0114U004008; «Підвищення надійності та подовження ресурсу обладнання нафтогазовидобувної, переробної та комунальної галузей за рахунок збільшення його опірності корозійно-механічному руйнуванню», №00116U006340; «Розроблення комбінованих метало-оксидних покриттів на основі алюмінію з підвищеною зносо- та корозійною тривкістю», №0117U000527; «Оцінювання впливу процесів корозії та наводнювання на опір корозійно-механічному руйнуванню конструкційних сталей у хлоридвмісних середовищах з різною концентрацією сірководню», № 0118U000463.

В більшості проєктів автор був науковим керівником або відповідальним виконавцем зазначених тем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення і висновки, сформульовані у дисертації, є достатньо обґрунтованими. Зміст дисертації викладено з урахуванням існуючих теорій фундаментальних наук та надбань практики, логічно та послідовно.

Автором виконано надзвичайно широкий спектр різноманітних досліджень різними методами. Так, дослідження з фрикційної взаємодії поверхонь металів та сплавів виконано на повітрі та в корозивних середовищах за допомогою спроектованого і виготовленого обладнання за схемами кулька-площина та диск-колодка. Зміну мікромеханічних характеристик поверхонь досліджували методами індентування та склерометрії.

Електрохімічні дослідження потенціалу, струму поляризації, поляризаційні криві, імпедансну спектроскопію виконано як за стаціонарних умов так і під час фрикційної взаємодії із застосуванням потенціостатів Gill AC, ПИ-50-1.1. Дослідження концентрації водню в металах та сплавах проводили методами вакуумної екстракції за допомогою аналізатора фірми BRUKER Galileo G8 та за допомогою локального мас-спектрального аналізу на установці ЭХО-4М конструкції ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України. Металографічні дослідження проводили на сканівному електронному мікроскопі EVO 40XVP з системою мікрорентгеноспектрального аналізу на енергодисперсійному рентгенівському спектрометрі INCA ENERGY 350 та системи аналізу картин дифракції відбитих електронів Oxford Instruments для текстурного та фазового аналізу металів та сплавів. В роботі використано профілометрію, двокрокову фазозсувну інтерферометрію, рентгеноструктурний аналіз та гравіметричні дослідження.

Достовірність наукових положень і результатів підтверджується коректним застосуванням широкого переліку сучасних методів експериментальних досліджень, високою точністю вимірювання, статистичною обробкою результатів експерименту, їхньою відтворюваністю, узгодженістю з наявними практичними та теоретичними результатами вітчизняних та закордонних авторів.

Структура та зміст дисертації.

Дисертація Винара В.А. складається із анотації, вступу, восьми розділів, загальних висновків, списку літературних джерел та чотирьох додатків. Основний текст дисертації викладено на 325 сторінках друкованого тексту, у тому числі 26 таблиць та 184 рисунків, 378 джерел, що відповідає вимогам до обсягу та структури докторських дисертацій.

Основний зміст дисертації викладено за класичною схемою – від аналізу відомої інформації на основі огляду науково-технічної літератури через теоретичні дослідження, експериментальні дослідження трибокорозійних процесів на поверхні сплавів та чистих технічних металів, металографічні дослідження їх структури та електрохімічних показників, розробки нових підходів з метою покращення точності вимірів при вивченні

трибокорозійних процесів, і до розробки ефективних кроків щодо підвищення зносостійкості сплавів та практичного підтвердження отриманих висновків.

У *вступі* дисертаційної роботи обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета та завдання, зазначені наукова новизна роботи та її практична цінність, яка підтверджена апробацією розробок у виробництві.

У *першому розділі* подано огляд сучасних уявлень щодо механізму корозійно-механічного зношування (трибокорозії) внаслідок складності інтерпретації результатів через синергічний перебіг процесів. Показано, водневий чинник, який суттєво змінює перебіг електрохімічних реакцій при фрикційній взаємодії, вивчений недостатньо. На основі літературного огляду сформульовані мета та завдання до її вирішення.

Об'єкти та методи дослідження подано у *другому розділі* роботи, де охарактеризовані метали та сплави, що використано в дослідженнях, представлені методики отримання композиційних матеріалів, склади електролітів та режими формування покриттів на нікелевій основі, методики плазово-порошкового наплавлення, наводнювання та визначення концентрації водню в металах та сплавах, дослідження фрикційної взаємодії металевих поверхонь за умов реверсивного, однонапрявленого руху та зворотно-поступального руху, методики склерометрії, рентгеноструктурних та електронно-мікроскопічних корозійно-електрохімічних та корозійно-втомних досліджень.

У *третьому розділі* представлені дослідження по вдосконаленню електрохімічних підходів до вивчення процесів трибокорозії металів.

З'ясовано, що для підвищення точності визначення електродного потенціалу під час трибокорозійного процесу, особливо у слабопровідних середовищах, необхідно застосовувати електрод порівняння з мікрокапіляром максимально наближеним до зони контакту трибопари. Це дозволяє значно знизити похибку вимірювань, оскільки остання в слабопровідних середовищах може складати до 600 мВ.

Встановлена емпірична залежність між шириною доріжки тертя (V) при трибокорозії та струмом поляризації за потенціалу корозії ($I_{\text{пол}}$), що дає змогу пришвидшено оцінювати ступінь зносу металу за електрохімічними властивостями фрикційної пари. Для фрикційної пари Д16Т – Al_2O_3 ширина доріжки у дистильованій воді визначається залежністю $V=13,4 \cdot I_{\text{пол}}$, яка дозволяє оцінити зношування матеріалу безпосередньо при дослідженнях.

Показано, що за співвідношенням між значеннями потенціалу вільної корозії корозії, трибопотенціалу та потенціалу свіжооновленої поверхні можна здійснити оцінку фрикційних властивостей утворюваних в процесі зносу вторинних структур та механізм зношування сплаву Д16Т: за наближення потенціалу до потенціалу СОП зношування протікає за адгезійного механізму, а за наближенням до потенціалу корозії – за окиснювальним. При анодній поляризації пришвидшується утворення вторинних структур, внаслідок чого всупереч загальноприйнятій тенденції спостерігається – зростання втрат матеріалу при зниженні коефіцієнта тертя, що свідчить про змащувальні властивості утворених в зоні тертя продуктів. Даний підхід може бути використаний при підборі пар тертя, що працюють у корозивному середовищі.

В *четвертому розділі* досліджений механізм трибокорозії сплаву Д16Т та 08Х18Н10Т.

Вивчено вплив зовнішньої катодної та анодної поляризації на трибокорозію за зворотно-поступальної взаємодії сплаву Д16Т в кислому дощі з інертною керамічною поверхнею Al_2O_3 . Встановлено двоїстий вплив катодної поляризації на процеси трибокорозії сплаву Д16Т, а саме до досягнення потенціалу свіжооновленої поверхні спостерігається гальмування руйнування внаслідок зниження швидкості корозійних

процесів, та за його перевищення – навпаки інтенсифікація корозійно-механічного зношування внаслідок підлугування приелектродного шару електроліту за водневої деполаризації при несуттєвій зміні коефіцієнта тертя. Максимальне зниження під час катодної поляризації ~45% спостерігається в області потенціалу свіжоутвореної поверхні -1,2 В.

Досліджено вплив зовнішньої поляризації за різних потенціалів на трибокорозійну поведінку сталі 08X18H10T у 3% розчині NaCl в контакті з корундовою кулькою. Показано, що механічний чинник зміщує потенціал пітингоутворення в від'ємний бік на 0,170 В у порівнянні з поверхнею без тертя. Виявлено, що час припрацювання, коефіцієнт тертя та втрати матеріалу в процесі трибокорозії якісно корелюють між собою і залежать від рівня прикладеного електродного потенціалу.

Встановлено, що за катодної поляризації при виділенні в зоні контакту водню, полегшується деформація та збільшується деформаційна зона біля доріжки тертя. За анодної поляризації спостерігається процес росту пітінгів, які за фрикційного контакту з'являються за більш від'ємних потенціалів і зосереджені на ділянці тертя.

Показано, що анодна поляризація інтенсифікує утворення вторинних структур та зростання зносу за суттєвого пониженні коефіцієнта тертя, внаслідок чого, всупереч загальноприйнятій тенденції, спостерігається – зростання втрат матеріалу при зниженні коефіцієнта тертя, що свідчить про змащувальні властивості утворених в зоні тертя продуктів, які інтенсивно виносяться із зони тертя.

Таким чином анодна поляризація при трибокорозії обох розглянутих в роботі сплавів – сталі 08X18H10T та сплаву Д16Т– сприяє розчиненню матеріалу при одночасному зниженні коефіцієнту тертя та інтенсифікації процесу руйнування матеріалу. Тоді як вплив катодної поляризації є неоднозначний, оскільки водень, що виділяється в процесі катодних реакцій, під час взаємодії з поверхнею в залежності від рівня потенціалу може по різному впливати на механізм фрикційної взаємодії – як підвищувати стійкість, так і знижувати. .

В *п'ятому розділі* представлено результати дослідження електролітичного наводнювання (в розчині сульфатної кислоти) в процесі фрикційної взаємодії технічно чистих металів: алюмінію, міді, заліза, нікелю, ніобію, цирконію, титану з інертним контртілом (кулька Al_2O_3). На основі комплексу досліджень, в тому числі рентгенографічних, мікромеханічних характеристик, показано особливості процесу трибокорозії наведених металів за дії водневого чинника.

Встановлено, що при терті у наводнювальних середовищах в цирконії та титані у зоні тертя утворюються їх гідриди причому гідриди титану, окрихчуючи метал зони контактування пар тертя, відіграють негативну роль, а гідриди цирконію $\delta-ZrH_2$ навпаки виступають твердим змащувальним шаром, полегшуючи процес тертя. Сила тертя за скретч-випробувань титану знижується у 3 рази, а втрати матеріалу за попереднього наводнювання та в його процесі зростають на 30-50%.

Наводнювання алюмінію і міді не спричиняє суттєвої зміни їх триботехнічних характеристик. Алюмінію властивий окислювальний вид зношування, який малочутливий до дії водню, а мідь практично його не поглинає.

Для міді спостерігається навіть позитивний вплив за рахунок відновлення оксидів на поверхні та зменшення опору тертя.

Зі збільшенням концентрації залишкового водню у поверхневому шарі заліза відбувається його окрихчення, що стимулює руйнування поверхні тертя за механізмом диспергування. Відтак за умов сухого тертя величина зносу попередньо наводненого заліза-армко зростає на 40...60%.

У нікелю під час наводнення зростає твердість та напруження, що викликає зниження опору руйнуванню за трибокорозії. У залізі окрихчування поверхневого шару пришвидшує руйнування поверхні за механізмом диспергування, а для ніобію сумісна дія водню та механічного чинника приводить до руйнування поверхні за рахунок перенаклепу.

Отже трибокорозійна поведінка чистих металів за впливу водневого чинника (катодна поляризація) визначається хімічним складом та властивостями вторинних структур, які в свою чергу залежать від концентрацією водню в зоні фрикційної взаємодії.

Встановлено, що після десорбції водню в поверхневих шарах матеріалів ферито-перлітного класу зростає мікротвердість, напруження та знижується пластичність, причому зі зростанням вмісту вуглецю в сталях відносна зміна цих характеристик зменшується.

В роботі запропоновано нову методику раннього виявлення геометричних параметрів мікрodefektів поверхні заліза та вуглецевих сталей, які виникають внаслідок їх взаємодії з воднем.

Автором показано, що після електролітичного наводнювання відбувається фрагментація структурних складових: фериту у вигляді подрібнення структури зі зміною кристалографічної орієнтації площин, перліту – подрібнення цементитних пластин та їх деструкції. Встановлено, що за сухого тертя трибологічна поведінка сталей описується механізмом диспергування. Показано, що в процесі десорбції водню за фрикційної взаємодії процес зношування матеріалів інтенсифікується.

В *шостому розділі* наведені результати досліджень впливу водневого та корозійного чинників на трибокорозійну поведінку гетерогенних гальванічних покриттів та шарів, нанесених методом плазмово-порошкового наплавлення, з метою використання їх для підвищення опору корозійно-механічному зношуванню.

Встановлено, що гальванічні композиційні покриття на нікелевій основі є ефективними для захисту поверхонь сталей та алюмінієвих сплавів від руйнування в умовах трибокорозії, зокрема за дії водневого чинника.

Так, показано, що гальванічні покриття Ni-P та Ni-B після термообробки знижують зношування сталі 17Г1СУ у 2-5 рази у наводнювальному середовищі за катодної поляризації, а для алюмінієвого сплаву Д16Т – у хлоридвмісному середовищі в ~7 разів.

За умов відпалу (450°C) у покритті Ni-B проходить твердофазна взаємодія частинок бору з нікелевою матрицею за типом реакційної дифузії з утворенням твердого розчину та боридів нікелю Ni₃B. Для покриття Ni-P після відпалу до кристалізації аморфної матриці утворюється рівноважна суміші фаз Ni та Ni₃P. Це відображається на триботехнічних характеристиках термооброблених покриттів: величина зношування знижується – у 2-5 рази для композиційних покриттів, а для чистого нікелевого – зростає, оскільки знижується його твердість. Фрикційна взаємодія індентора з поверхнею катодно поляризованих зразків характеризується збільшенням величини зносу майже усіх досліджуваних покриттів за рахунок різної морфології, хімічного і фазового складу покриттів, що зумовлюють неоднакову їх абсорбційну здатність щодо водню.

Встановлено, що в умовах катодного наводнювання принципово відмінним від решти покриттів є характер та інтенсивність зношування Ni-P покриття у вихідному стані за рахунок утворення у поверхневих шарах зміцнювальної фази Ni₃P, яка підвищує його зносотривкість в процесі фрикційної взаємодії.

Досліджено різні за складом та структурою наплавлені шари 01X17H8C6Г (основа Fe), 06X17H80C3P3 (основа Ni), 08X17H35C3P3 (основа Ni-Fe), нанесені на поверхню сталі 17Г1СУ. Електрохімічно визначено, що зі збільшенням водневого показника середовища від $\text{pH}=4$ до $\text{pH}=10$ густина струмів корозії композитів знижується. За умов трибокорозії у парі з керамічною корундовою кулькою більш стійкими є композитні наплавлені шари на Ni-Fe основі.

Встановлено, що різниця між потенціалами корозії, трибокорозії і пасивації корелює із концентрацією вуглецю, яка в свою чергу визначає твердість наплавленого шару і відповідає за інтенсивність руйнування і утворення вторинних структур. Показано, що висока корозійна тривкість поверхні, зокрема наплавлених шарів, в стаціонарних умовах не завжди визначає їх опір руйнуванню за умов корозійно-механічного зношування. Тобто для захисту від трибокорозійного руйнування поверхонь сталей ефективно використовувати захисні покриття, які знижують сумісний негативний вплив корозії та наводнювання.

В сьомому розділі Досліджено корозійні і трибокорозійні властивості легованих графітом, кобальтом та карбідами хрому і ванадію карбідо-вольфрамових твердих сплавів у 3% розчині NaCl. Показано, що включення 2-4 % графіту до складу композита ВН20 інтенсифікують локальні корозійні процеси, виступають додатковими катодними ділянками. Це погіршує трибокорозійні властивості модифікованих графітом сплавів, оскільки корозія в ділянці графітних включень призводить до викришування зерен карбідів вольфраму.

З урахуванням позитивного впливу карбіду хрому на корозійні, а карбіду ванадію на фрикційні властивості композиту, було запропоновано сплав, легований одночасно двома карбідами. Таким чином, у пари тертя ВН20+1%VC/ВН20+1%Cr₂C₃ виявлено зниження коефіцієнта тертя до 0,01 та найвищу зносотривкість у 3% розчині NaCl за відсутності пошкоджень на поверхні тертя. Покращення трибокорозійних властивостей цієї пари тертя, за свідченням автора дисертації зумовлено підвищенням корозійної стійкості сплаву легуванням карбідом хрому і зносотривкості - легуванням карбідом ванадію, а також оптимальною структурою матеріалу.

У восьмому розділі наведені результати впливу середовищ з добавками інгібіторів та наночастинок на трибокорозію сплаву Д16Т. В якості інгібіторів вивчено цинк фосфатний та стронцій хроматний інгібітори. Показано, що маючи високий протикорозійний ефект, стронцій хромат негативно впливає на процес трибокорозії алюмінієвого сплаву. Він сприяє утворенню вторинних структур, які у зоні фрикційної взаємодії діють як абразив, при цьому коефіцієнт тертя зростає, викликаючи збільшення корозійного руйнування. На противагу цинк фосфатний інгібітор сприяє утворенню пластичних структур, що викликає зменшення коефіцієнту тертя та корозійних втрат. Про негативний вплив свідчить потенціал пасивації, який встановлюється після фрикційного впливу, і свідчить про незворотні зміни у поверхневому шарі. Додатково представлено результати позитивного впливу інгібувальної композиції Zr1 на трибокорозію цього сплаву та її оптимальної концентрації у кислому дощі, а також за умови катодної поляризації сплаву Д16Т.

В розділі представлено вплив нанорозмірних частинок Zn₃(PO₄)₂ та MgZn₂(PO₄)₂ на трибокорозійну поведінку пари «сталь 20 – ШХ15» при терті у дистильованій воді та в складі індустріальної оливи.. Показано, що в при введенні цих наночастинок спостерігаються несуттєве зміщення потенціалу в область від'ємних значень, що свідчить про пасивацію ювенільної поверхні іонами PO₄³⁻ та утворенням захисної фосфатної плівки. Досліджено, що ефективність наночастинок MgZn₂(PO₄)₂ вища, ніж у Zn₃(PO₄)₂ за рахунок інтенсивнішого утворення вторинних структур.

Досліджено позитивний вплив наночастинок срібла на трибокорозійні характеристики пари тертя сталь 20 – ШХ15 у дистильованій воді. Виявлено, що додавання наночастинок срібла в оптимальному розмірі (20 нм) та за оптимальних концентрацій призводить до зменшення коефіцієнта тертя та ширини доріжки тертя. Цей вплив полягає в тому, що наночастинки срібла, утворюючи агломерати певного розміру, полегшують контактну взаємодію на 52%, а отже сприяють зменшенню рівня трибокорозійних процесів.

Висновки, зроблені дисертантом з комплексу проведених трибокорозійних випробувань за одночасного вивчення впливу поляризації, водневого чинника на поведінку ряду чистих технічних металів, а також алюмінієвого сплаву Д16Т, неіржавіючої сталі та інших композитних систем, впливу додатків інгібуючого типу та наночастинок в корозивне середовище охоплюють весь обсяг отриманих результатів і є достовірними.

В додатках роботи представлено отримані автором патенти на корисні моделі, а саме на спосіб вимірювання електродного потенціалу металів під час фрикційної взаємодії та на спосіб визначення інтенсивності зношування матеріалів, що пасивують, за струмами поляризації в умовах трибокорозії, акти дослідно-промислової перевірки ефективності нанорозмірних композиційних додатків до мастильних матеріалів для вузлів тертя шарошkových бурових доліт, акти про використання результатів досліджень на Конотопському арматурному заводі та Державним науково-виробничим підприємством «Алкон-твердосплав»..

В цілому за змістом дисертація є завершеною роботою, яка забезпечує суттєвий внесок у науку і практику хімічного опору матеріалів і захисту від корозії.

Тема та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Наукова новизна отриманих результатів

До нових наукових результатів, одержаних здобувачем особисто, слід віднести наступне.

- Розроблено та науково обґрунтовано метод прогнозу швидкості руйнування металу в умовах трибокорозії шляхом співставлення потенціалів корозії, трибокорозії та свіжооновленої поверхні. Встановлений емпіричний зв'язок між втратою маси сплаву Д16Т та струмом поляризації за потенціалу корозії під час корозійно-механічного зношування, що покладено в основу методу визначення ступеня пошкодження металів, що схильні до пасивації при трибокорозії.

- Встановлено двозначний вплив катодної поляризації на руйнування сплаву Д16Т за трибокорозії: корозія та корозійно-механічний знос гальмується за поляризації в межах потенціалів корозії і свіжооновленої поверхні, трибокорозійні процеси інтенсифікуються – при зміщенні потенціалу в більш від'ємний бік через приповерхневе піддуговування середовища внаслідок водневої деполаризації. Анодна поляризація за фрикційної взаємодії сприяє зростанню схильності сталі 08Х18Н10Т до пітінгоутворення та зносу.

-Показано, що вторинні структури, сформовані в процесі фрикційної взаємодії за одночасного впливу водню, визначають механізм трибокорозії чистих металів (алюміній, мідь, залізо, нікель, ніобій, цирконій, титан)

-Вперше показано, що підвищення зносотривкості сплавів з нікель-фосфорним покриттям забезпечується пришвидшенням дифузійних процесів при сумісній дії наводнювання та тертя з утворенням у поверхневих шарах зміцнювальної фази Ni₃P.

-Показано, що підвищення стійкості до корозійно-механічного зношування сплаву Д16Т досягається використанням інгібіторів фосфатів цинку, які сприяють формуванню зносостійких вторинних структур на поверхні сплаву.

-Встановлено, що на відміну від класичних уявлень про трибологічні процеси, для трибокорозійних процесів внаслідок формування вторинних структур спостерігається зниження коефіцієнта тертя за інтенсифікації зношування.

Практична цінність отриманих результатів.

Визначені в дисертаційній роботі Винара В.А. залежності мають значну практичну цінність. Так, в роботі запропоновано та запатентовано два способи щодо інтенсифікації визначення трибокорозії, а саме спосіб вимірювання електродного потенціалу металів під час фрикційної взаємодії, що підвищує точність вимірювання трибопотенціалу, та спосіб визначення інтенсивності зношування схильних до пасивування матеріалів за струмами поляризації в умовах трибокорозії.

Показано значний вплив на зниження зносу сплаву Д16Т у кислих розчинах та низьколегованої сталі 17Г1СУ від 7 до 5 разів відповідно.

Встановлено, що легування твердого сплаву системи WC-Ni карбідами хрому (1%Cr₃C₂) підвищує опір корозії у 1,4 ...3,7 рази та трибокорозії (на ~15%), що застосовується на державному науково-виробничому підприємстві “Алкон-твердосплав”.

З метою підвищення зносостійкості трибоспряжених металевих поверхонь автором запропоновано до використання в складі мастильних матеріалів, що працюють у вузлах бурових доліт, наночастинок срібла та фосфатів.

Повнота викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 64 друковані праці, у тому числі 38 статей у фахових журналах України та інших держав, з яких 14 статей індексовані міжнародними наукометричними базами; три патенти України на корисну модель та 23 публікації у матеріалах міжнародних конференцій та симпозіумів.

Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях, в тому числі на The European Corrosion Congress “EUROCORR-2007, 2011, 2017 (2007, Фрайбург, Німеччина); 2011р., Стокгольм, Швеція); (2017, Прага, Чехія), IX, X, XI, XII, XIII Міжнародних конференціях-виставках “Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів. Корозія-2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020” (2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 рр. Львів), II, III Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (2010, 2012 рр., Львів, Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми трибології», (2010 р, Київ) та багатьох інших конференціях різного рівня.

Мова та стиль дисертації.

Дисертаційна робота написана державною мовою, поділ на розділи логічний і обґрунтований. Застосована в роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Результати в роботі достатньо проілюстровані.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, написаний грамотно та з використанням сучасної наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає вимогам державних стандартів.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі досить ґрунтовно та глибоко вивчений механізм трибокорозійного зношування ряду металів та сплавів. При описі цих процесів автор посилається на вторинні структури металу, які утворюються під час трибомеханічного впливу, при цьому не розкриваючи що саме розуміють під терміном «вторинні структури» та чим відрізняються ці структури на різних сплавах. Автору бажано було б описати ці структури більш детально.
2. В дисертації зазначено, що за співвідношенням між значеннями потенціалу вільної корозії, трибопотенціалу та потенціалу свіжооновленої поверхні для сплаву Д16Т можна оцінити фрикційні властивості вторинних структур та механізм зношування. Чи можна застосувати цей же підхід для інших металів та сплавів, для яких невідома емпірична залежність. Чи можна оцінити ці властивості умовно або гіпотетично.
3. В якості інгібіторів корозії, які можуть бути застосованими для захисту металу від трибокорозії, автор обрав цинк фосфат та стронцій хромат. Проте ці інгібітори мають дещо різний механізм дії. Так, інгібітор цинк фосфат відноситься до інгібіторів, які утворюють з іонами корродуючого металу важкорозчинні сполуки. Сформований в цьому випадку осад солі, якщо він достатньо щільний та добре зв'язаний з поверхнею метала, захищає її від контакту з агресивним середовищем. Стронцій хромат - це інгібітор-пасиватор, який сприяє формуванню захисної плівки оксидного типу та викликає перехід металу в пасивний стан. Виникаючий хемосорбційний шар близький за складом до поверхневого оксиду. Такий інгібітор є небезпечним, оскільки працює лише за певних концентрацій. До того ж загальновідомо, що сполуки шестивалентного хрому, тобто хромати, на сьогодні давно заборонені в Євросоюзі, а сам стронцій хромат використовується, головним чином, в лакофарбових покриттях, як пігмент. Таким чином вибір стронцій хромату як інгібітору для досліджень впливу інгібуючих речовин на процес трибокорозії є недостатньо обґрунтованим. Як альтернатива стронцій хромату автору можна було порекомендувати провести дослідження з іншими інгібіторами пасивуючого типу, наприклад молібдатами, які є нетоксичними та могли б продемонструвати цікаві результати.
4. В дисертаційній роботі інколи трапляються пояснення до отриманих результатів, які носять дещо декларативний характер. Так, на стор. 152 автор пояснює нижчу витривалість сплаву Д16Т при $E = -1,15$ В недостатнім гальмуванням корозійних процесів на поверхні циклічно деформованого матеріалу. Проте чому це гальмування є недостатнім не зрозуміло та не пояснено. Декларативний характер пояснень відноситься і до опису механізму впливу концентрації наносрібла (стор.330) на фрикційні процеси. Так, автором зазначається, що при збільшенні кількості наносрібла швидкість агломерації з іонами заліза є більшою, що призводить до інтенсивного утворення агломератів великих розмірів. Для підтвердження висновку бажано було б продемонструвати структуру цих агрегатів та за можливості експериментально підтвердити цю залежність між концентрацією наносрібла та іонів Fe^{2+} і швидкістю утворення агломератів.
5. В дисертаційній роботі є незначні неточності та описки. Наприклад, в роботі помилково зроблено посилання на рис. 8.12, хоча це реально зображення 8.11. Автор дисертації на стор. 312, описуючи процес порушення пасивної плівки на сплаві Д16Т за умов трибокорозії, не навів реакції, хоча сам на них посилається.

Відмічені недоліки ні в якому разі не применшують високої науко-практичної цінності дисертаційної роботи.

Одержані в роботі результати можуть бути використані на підприємствах хімічної, металургійної, нафтогазовидобувної та переробної промисловості, в машинобудуванні та теплоенергетичній галузі для захисту від корозії обладнання, що працює в умовах трибомеханічного навантаження.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Винара Василя Андрійовича " Наукові основи фрикційної взаємодії металів за дії корозійного та водневого чинників " є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові та практичні результати щодо вирішення важливої науково-практичної проблеми встановлення механізмів фрикційної взаємодії контактних поверхонь за дії корозійного та водневого чинників, що дає можливість здійснювати науково обґрунтований вибір методів підвищення роботоздатності трибопар.

Дисертація Винара В.А. за своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, за отриманими новими науково обґрунтованими результатами, висновками, практичними рекомендаціями та реалізацією в промисловості сприяє вирішенню проблеми підвищення хімічного опору матеріалів та протикорозійного захисту в умовах трибокорозійного впливу.

Робота відповідає вимогам пп. 9, 10 "Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а її автор Винар Василь Андрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент:

**доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри фізичної хімії
Національного технічного університету
України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського"**

О.Е.Чигиринець

**Підпис д.т.н., проф. Чигиринець О.Е.
засвідчую.**

Вчений секретар університету



В.В. Холявко