

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ І УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему «Дослідження корозійно-механічних властивостей
конструкційних сталей в середовищах добрив і пестицидів»

Виконав: студент групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Бавдик Олег Степанович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Березовецький Андрій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

Міністерство освіти та науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій
Кафедра машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
машинобудування
(назва кафедри)

_____ (підпис)

_____професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ_____
(прізвище, ім'я, по батькові)
“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу студенту

Бавдику Олегу Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження корозійно-механічних властивостей
конструкційних сталей в середовищах добрив і пестицидів»

Керівник роботи к.т.н., доцент Березовецький Андрій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 28 лютого 2025 року №140/к-с

2. Строк подання студентом роботи до “_10_” _12_ 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: *Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи; науково-технічна, методична та довідкова література; результати патентного пошуку; законодавча і нормативна база України з питань охорони праці.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. *Стан питання та актуальність досліджень;* 4.2. *Методика досліджень;*
4.3. *Дослідження впливу добрив і пестицидів на корозійно-механічні властивості конструкційних сталей;* 4.4. *Дослідження сталей на опір малоциклової втоми після попередньої корозії в рідких мінеральних добривах;* 4.5. *Попередня корозія в сипучих мінеральних добривах;* 4.6. *Корозійні дослідження сталей після попередньої корозії в сипучих мінеральних добривах;* 4.7. *Дослідження сталей на опір малоциклової втоми після попередньої корозії в сипучих мінеральних добривах;* 4.8. *Корозійно-втомні дослідження конструкційних сталей після попередньої витримки в середовищах органічних добрив;* 4.9. *Попередня корозія в рідких засобах хімічного захисту;* 4.10. *Охорона праці та захист населення; Висновки; Список використаних джерел.*

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: зразки для випробувань на мало циклову втому; випробування на малоциклову втому в середовищі КАС на машині ІП-2; схеми попередньої корозії зразків в засобах хімізації с. 2: сумарна швидкість корозії сталі 35 за всіма схемами попередньої корозії; вплив середовища на циклічну довговічність сталі 35; малоциклова довговічність ($\epsilon = 0,62\%$) зразків сталі 35 в залежності від висоти мікрорельєфу поверхні; стан поверхні зразка після витримки у хлористому калії; криві циклічної втоми зразків сталі 35 після витримки шість місяців в середовищах органічних добрив; криві малоциклових випробувань сталі Ст3 після витримка зразків у розчинах пестицидів; висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Березовецький А. П. доц. кафедри машинобудування.			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання “ 04 ” березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Огляд літературних джерел за темою	21.10.25	
2	Методика досліджень	11.11.25	
3	Дослідження пливу добрив і пестицидів на корозійно-механічні властивості конструкційних сталей	21.11.25	
4	Охорона праці та захист населення	28.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	03.12.25	
6	Оформлення слайдів	12.12.25	

Студент

Керівник роботи

Олег БАВДИК

Андрій БЕРЕЗОВЕЦЬКИЙ

УДК 631.632.1

Кваліфікаційна робота: 58 с. текст. част., 13 слайдів, рис. 9; 4 табл., 27 джерел.

«Дослідження корозійно-механічних властивостей конструкційних сталей в середовищах добрив і пестицидів»

Бавдик О.С. – Кваліфікаційна робота. Кафедра машинобудування – Дубляни, Львівський НУВМБ - 2025.

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження впливу мінеральних, органічних добрив та пестицидів на корозійно-механічні властивості конструкційних сталей сільськогосподарського призначення. Розглянуто механізми розвитку попередньої корозії, оцінено характер і глибину корозійних уражень, встановлено їх вплив на опір малоциклової корозійній втомі. Дослідження виконано на низьковуглецевих, середньовуглецевих, високоміцних та корозійностійких сталях. Випробування здійснювали методами гравіметрії, профілографії, електрохімічного аналізу, металографії та фрактографії, а також малоциклової втоми на машинах ИП-2, ИП-3, ИП-4.

Показано, що рідкі добрива типу КАС, калійні сипучі добрива та органічні середовища (особливо курячий послід) є найагресивнішими щодо сталі, спричиняючи розвиток локальних дефектів і різке зниження довговічності при циклічному навантаженні. Установлено закономірності формування небезпечних дефектів — пітингів, виразок, каверн, — та їх роль у зародженні втомних тріщин.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1. Вплив добрив і пестицидів на корозійні властивості конструкційних сталей	7
1.2. Дослідження на втомну міцність.....	9
1.3. Корозійно-механічні властивості сталей після зміцнювальних обробок .	12
1.4. Актуальність досліджень.....	17
1.5. Висновки до розділу 1	18
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	20
2.1. Конструкційних сталей для досліджень	20
2.2. Оцінка корозії	21
2.3. Дослідження опору малоцикловій корозійній втомі.....	24
2.4. Корозійні середовища.....	29
2.5. Методика обробки результатів досліджень	30
2.6. Висновки до розділу 2	31
3. ВПЛИВ ДОБРИВ І ПЕСТИЦИДІВ НА КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ.....	33
3.1. Корозійна дія рідких мінеральних добривах	33
3.2. Попередня корозія в сипучих добривах	39
3.3. Дослідження корозійної втоми конструкційних сталей після ПК в органічних добривах	42
3.4. ПК в рідких засобах хімічного захисту	43
3.5. Висновки до розділу 3	47
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ.....	49
4.1. Вимоги безпеки при роботі з мінеральними добривами	49
4.2. Безпека при роботі з органічними добривами	50
4.3. Вимоги безпеки при роботі з пестицидами.....	50
4.4. Захист населення та довкілля.....	51
4.5. Заходи попередження аварій та підвищення надійності техніки	51
Висновки до розділу 4	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	55

ВСТУП

Конструкційні сталі є основним матеріалом для виготовлення робочих органів, рам, трубопроводів, баків, з'єднувальних елементів та іншого обладнання сучасних сільськогосподарських машин. Під час експлуатації така техніка працює в агресивних хімічних середовищах: мінеральних і органічних добривах, різноманітних суспензіях, пестицидах та засобах захисту рослин. Одночасна дія корозійних агентів і повторно-змінних навантажень спричиняє розвиток корозійно-механічного руйнування, що проявляється у зниженні довговічності, появі локальних дефектів, руйнуванні елементів та аварійних ситуаціях.

У зв'язку зі зростанням використання рідких концентрованих добрив (КАС, РКД), суспендованих складів, а також широким застосуванням машин для точного внесення пестицидів, питання корозійного захисту та оцінки опору малоцикловій втомі конструкційних сталей стали особливо актуальними. Більшість видів агрохімікатів характеризуються складною хімічною взаємодією з металами, утворенням пітингів, виразок, оксидних плівок, які істотно впливають на механічну поведінку матеріалу. Для ряду середовищ характерна сильна локальна корозія, яка є ініціатором зародження та розвитку втомних тріщин.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Вплив добрив і пестицидів на корозійні властивості конструкційних сталей

Із розширенням використання хімічних засобів у сільському господарстві все гостріше постає питання їхнього впливу на матеріали машин, які застосовують під час виробництва, зберігання та внесення добрив і пестицидів.

Паралельно зі створенням нових типів добрив розробляється техніка для їх застосування — агрегати для внесення, транспортування рідких добрив і їх сумішей.

Разом з тим, багато сучасних машин не проходили випробувань саме на тих нових хімічних препаратах, для роботи з якими їх передбачалося використовувати.

Чимало машин, призначених для транспортування та внесення мінеральних і органічних добрив чи отрутохімікатів, взагалі не обладнані антикорозійними покриттями, а окремі вузли не відповідають вимогам експлуатації [23]. Також відсутні агрегати, робочі органи яких виготовлені з матеріалів, стійких до корозії. Корозійний вплив добрив і пестицидів на сільськогосподарську техніку та обладнання вивчений недостатньо.

Автори [22] досліджували корозійну стійкість певних конструкційних матеріалів у рідких мінеральних добривах. У випробуваннях застосовували вуглецеву сталь Ст3 та низку економлегованих сталей — X18H10T, 08X22H6T, 08X21H6M2T — у середовищі РКД марки 10-34-0, використовуючи гравіметричний метод.

Встановлено, що глибинний показник корозії змінюється залежно від тривалості випробувань, тому він не може служити однозначним критерієм оцінки корозійної стійкості.

Кінетику корозійного процесу сталі Ст3 у РКД визначали для оцінки величини корозійних втрат металу. Після занурення зразка у розчин РКД зі ступенем конверсії 55% і рН 6,67 починалося виділення водню, яке поступово зменшувалося, але тривало протягом 2–3 діб. Під час перших 50–55 годин експерименту фіксувалися вагові втрати металу. Металографічні дослідження засвідчили утворення на поверхні зразків захисного шару товщиною 3–4 мкм. Подальша витримка зразків від 52 до 1000 годин призводила до збільшення товщини цього шару до 6–7 мкм [22].

Результати досліджень [23] показали, що глибинний показник корозії сталі Ст3 у РКД 9-9-9 у 2–2,5 рази перевищує відповідний показник у базовому розчині, а корозія в РКД 7-7-10 є на порядок інтенсивнішою. Такі відмінності пояснюються присутністю в добривах хлориду калію, який уповільнює утворення фосфатного захисного шару.

Солі мікроелементів $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, що вводились у розчини добрив 10-34-0 і 9-9-9, суттєво змінювали їх корозійну дію. Зокрема, при додаванні 0,7–1,0% Мо у РКД збільшувались корозійні втрати металу та глибинний показник корозії, особливо у добривах марки 10-34-0. У розчинах із 1,0% В протягом 18 діб взагалі не формувався захисний шар. Додавання сірчаноокислого цинку у концентрації 0,2–1,0% прискорювало формування захисного шару на зразках та помітно зменшувало корозійні втрати [23].

Лабораторні дослідження підтвердили, що економлеговані сталі демонструють високу стійкість до корозії у РКД, збагачених мікроелементами. Під час експериментів у суспендованих добривах СРКД 15-15-15 встановлено, що глибинний показник корозії сталі Ст3 на порядок більший, ніж у базовому розчині [4].

Випробування сталі Ст3 у РКД 10-34-0 в умовах межі поділу рідкої і газової фаз показали істотне посилення корозійного ураження у цій зоні. У рідкій фазі та газовому середовищі корозійні втрати були значно меншими,

причому в газовій зоні швидкість корозії не перевищувала 0,0013 мм/рік. У місцях межі фаз утворювалися глибокі заглибини шириною до 0,8 мм, причому поверхня металу тут не покривалася захисним шаром.

Показано [14], що щілинна корозія становить особливу небезпеку, оскільки в клиноподібних щілинах шириною менше ніж 0,3 мм захисний шар не формується. До найбільш уразливих у корозійному відношенні місць належать щілини та ділянки між третювими поверхнями, наприклад, у вузлах насосів.

У роботі [22] оцінювали корозійну активність розчинів КАС стосовно вуглецевої сталі Ст3. Для досліджень використовували як пластинчасті зразки з листового прокату, так і зварні з одностороннім стиковим швом. Зразки піддавали випробуванням у газовій фазі, на межі поділу фаз і у рідкій фазі.

1.2. Дослідження на втомну міцність

Втомні випробування, згідно з даними авторів [20], умовно поділяють на два типи: багатоциклові та малоциклові.

Багатоциклова (звичайна) втома характеризується високою частотою навантаження — понад 2 Гц — та рівнями напружень, що не перевищують межу пружності, а її основним показником є границя витривалості.

Малоциклова втома проявляється за низьких частот (менше 2 Гц) і підвищених напружень, які наближаються до межі текучості або навіть перевищують її.

У низці монографій [17,19] розглянуто ключові закономірності зміни витривалості матеріалів під час циклічного деформування у корозійних середовищах. Однак питання про те, за яких саме режимів циклічного навантаження — багатоциклових чи малоциклових — корозійне середовище найбільше послаблює метал, залишається відкритим.

Аналіз численних експериментальних даних показує, що вирішальним чинником впливу середовища є різниця у швидкості деформації за цикл та у рівні напружень.

Зразки піддавалися випробуванням на багатоциклову та малоциклову втому як у повітрі, так і в 3,5%-му розчині NaCl [20].

Дослідження багатоциклової втоми проводили на машині для визначення втомної міцності матеріалів, де циліндричні зразки діаметром 12 мм навантажували за схемою «чистий згин з обертанням» із фіксованою амплітудою напружень при частоті 50 Гц.

Випробування на опір малоцикловій втомі виконували на машинах ИП-3, що забезпечували навантаження плоских зразків товщиною 12 мм чистим згином у віднульовому пульсуючому циклі при трьох рівнях деформації.

Як критерій впливу корозійного середовища на втомну поведінку сталі застосовували коефіцієнт K , який визначали відношенням кількості циклів до руйнування у середовищі до аналогічного показника на повітрі.

Під час багатоциклових випробувань значення коефіцієнта коливалося в межах 0,9–0,6, тоді як для малоциклової втоми воно становило приблизно 0,4–0,2.

Пружні деформації здатні підсилювати електрохімічну корозію, знижувати електродний потенціал і суттєво впливати на процеси, що відбуваються при напруженнях понад межу текучості.

Деформація зовнішніх волокон круглих зразків, які зазнають чистого згину з обертанням при напруженнях на 20% вищих за межу витривалості, становить 0,02–0,03 % [20].

За середнього значення 0,025% ця деформація набирається за чверть циклу, що при заданій частоті відповідає 1/200 секунди, а швидкість деформування досягає 5% за секунду.

При малоциклових випробуваннях у віднульовому циклі з частотою 0,2 Гц і амплітудою, що викликає 0,5% деформації зовнішніх волокон, потрібна деформація досягається за 3 секунди зі швидкістю близько 0,17% за секунду.

Таким чином, швидкість деформування під час малоциклових навантажень приблизно у 30 разів нижча, ніж при багатоциклових, і саме це зумовлює сильніший вплив середовища на довговічність металу, що підтверджено експериментами [17].

Було встановлено, що корозійний вплив середовища починається з адсорбції його компонентів на поверхні металу. Отже, закономірності, притаманні поверхнево-активним середовищам, повністю застосовні й до корозійних.

Вплив корозійних і поверхнево-активних середовищ на механічні властивості металів визначається швидкістю проникнення їхніх компонентів до поверхонь зародків тріщин, а також швидкістю міграції середовища вздовж стінок тріщини у напрямку її вершини та в область передруйнування. Проникнення середовища в зону передруйнування забезпечує адсорбцію на новоутвореній поверхні під час її виникнення, що полегшує руйнування міжатомних зв'язків і прискорює ріст тріщини залежно від швидкості міграції атомів середовища у деформованому металі.

Коли значна частина зони передруйнування взаємодіє з компонентами середовища, механічні властивості металу помітно змінюються.

За високих швидкостей навантаження тріщина розвивається настільки швидко, що активні елементи середовища не встигають проникнути в субмікродефекти, і вплив середовища практично зникає.

У випадках великих напружень зона передруйнування охоплює значний об'єм металу, де активно проявляється пластична деформація, що сприяє проникненню середовища. За таких умов швидкість росту тріщини значно перевищує швидкість корозійного розчинення, і ступінь руйнування визначається переважно адсорбційною дією середовища.

Ці закономірності дають змогу стверджувати, що вплив середовища на метал, який зазнає циклічного деформування, буде найбільш інтенсивним за певного поєднання величини напружень та частоти циклу.

У міру зростання напружень та зниження швидкості деформування вплив середовища посилюється, оскільки створюються сприятливі умови для його проникнення у глибші зони передруйнування.

Такі умови найбільш характерні для малоциклового навантаження, і саме тому корозійні середовища у цій області становлять найбільшу небезпеку для довговічності металів.

1.3. Корозійно-механічні властивості сталей після зміцнювальних обробок

1.3.1. Вплив поверхнево-пластичне деформування (ППД). У більшості публікацій щодо впливу поверхневого нагартування на циклічну міцність простежується узгоджена позиція: за умови уникнення перенагартування (надмірного зміцнення) поверхневе пластичне деформування сприяє зростанню довговічності металу. Якщо ж інтенсивність нагартування перевищує оптимальний рівень, ресурс, навпаки, може зменшуватися.

Попри те, що нагартовані поверхні активніше взаємодіють з агресивними середовищами, численні дослідження засвідчили, що ППД здатне істотно підвищувати довговічність сталей навіть за тривалої дії корозійно-активних середовищ у поєднанні з циклічними навантаженнями [6].

Разом з тим питання впливу нагартування на багатоциклову втому в повітрі та в корозійних середовищах вивчено значно глибше, ніж його роль за умов малоциклової втоми. Особливо бракує робіт, де одночасно розглядали б вплив поверхневого нагартування і агресивних середовищ (зокрема розчинів мінеральних добрив і пестицидів) на опір малоциклової корозійній втомі.

Характерною особливістю руйнування при малоцикловій втомі є накопичення значних макропластичних деформацій. Це стало підставою для сумнівів щодо доцільності застосування ППД з метою підвищення несучої здатності деталей, що працюють у режимі малоциклових навантажень. Такі сумніви обґрунтовували тим, що нагартований шар має знижений запас пластичності, тоді як здатність матеріалу витримувати великі пластичні деформації часто є визначальним чинником опору малоцикловій втомі.

Крім того, припускали, що в процесі накопичення пластичної деформації при малоцикловому навантаженні стискуючі залишкові напруження, сформовані ППД, поступово релаксують, унаслідок чого їхній позитивний вплив на витривалість зменшується або повністю зникає.

Водночас з'явився ряд робіт [6], у яких на конкретних прикладах (посудини високого тиску, елементи глибоководних конструкцій, підштампові плити пресів тощо) продемонстровано можливість підвищення опору малоцикловій втомі саме завдяки поверхневому нагартуванню.

У таких дослідженнях основний позитивний ефект найчастіше пов'язують із наявністю стискуючих залишкових напружень у приповерхневих шарах. Однак частина авторів не вважає їх єдиним або вирішальним фактором зростання втомної міцності за невисоких рівнів змінних напружень. За навантажень у пружно-пластичній області наголошується, що самі по собі залишкові стискуючі напруження після ППД не можуть повністю пояснити збільшення ресурсу.

Показано, що в зоні малоциклової втоми при великих повторних навантаженнях домінуючим чинником підвищення довговічності високоміцних матеріалів стає поліпшення мікрорельєфу поверхні. Внаслідок ППД згладжуються гострі мікронерівності, збільшуються радіуси западин, зменшується їх глибина та змінюється орієнтація дефектів таким чином, що знижується локальна концентрація напружень. Це приводить до істотного зростання втомної міцності поверхневого шару.

1.3.2. Енергія вибуху. На сьогодні накопичено значний обсяг експериментальних даних про зміну механічних властивостей і мікроструктури металів після дії ударної хвилі вибуху. Детально описано мікроструктурні особливості, пов'язані зі зростанням густини дислокацій, трансформацією субструктури, формуванням зон інтенсивної пластичної деформації тощо.

Попри великий інтерес до фізичних механізмів зміцнення вибухом, кількість робіт, присвячених впливу такої обробки безпосередньо на експлуатаційні характеристики сталей, усе ще є недостатньою. Відомо, що вибухове зміцнення здатне підвищувати опір сталей крихкому руйнуванню.

Окремі дослідження в галузі втомної міцності показали, що вибухове зміцнення маловуглецевої сталі може збільшити її границю втоми з 176 до 315 МПа, а для сталі 30ХГСА після дії ударної хвилі з тиском близько 10 ГПа границя втоми зростає приблизно на 28 %.

Встановлено [24], що вибухова обробка зварних з'єднань здатна підвищити їхню границю втоми до 85 %. Узагальнені результати досліджень впливу вибухового зміцнення на опір корозійному розтріскуванню зварних з'єднань низьковуглецевих сталей у середовищах, які містять H_2S , свідчать про суттєве поліпшення стійкості таких конструкцій.

1.3.3. Лазерне зміцнення. У ряді робіт підтверджено [25] позитивний вплив лазерної обробки на опір втомі сталі 40Х, нержавіючої сталі 420, сплаву D16A, низьковуглецевої сталі 32CDV13, а також на корозійну втомну міцність низки нержавіючих сталей. Водночас наведено й дані, які свідчать про складний, а інколи й суперечливий характер впливу параметрів лазерної обробки на втомну міцність металів.

Поряд із позитивними результатами описано і негативні наслідки. Зокрема, зразки нержавіючих сталей 316SS та 304SS опромінювали CO_2 -лазером потужністю 5 кВт упродовж 1–10 год. Було встановлено, що після такої обробки циклічна міцність обох сталей помітно зменшується. Зародження

втомних тріщин у цьому разі пов'язували з утворенням газових порожнин у зоні проплавлення.

При лазерній обробці сталі 30ХГСНА на CO₂-лазері глибина проплавлення змінювалася в межах 0,4–1,6 мм залежно від потужності. Після такої обробки границя витривалості σ_{-1} знижувалася з 540 до 370–150 МПа. Це пояснювали формуванням у приповерхневому шарі крихкої мартенситної структури та появою несприятливих залишкових напружень розтягу. Описано також низку робіт, де відзначено зменшення втомної міцності окремих марок сталей після лазерного гартування.

Таким чином, вплив лазерного зміцнення на опір втомі не можна вважати однозначно встановленим і остаточно з'ясованим. Це питання потребує подальших, більш детальних досліджень, особливо щодо поведінки матеріалів в агресивних середовищах та за умов значних пружно-пластичних циклічних деформацій (малоциклової втоми), для яких експериментальні дані практично відсутні.

1.3.4. Технологічні методи. Було здійснено спробу кількісно оцінити корозійну стійкість сталевих зразків, оброблених механічно різними методами та в різних режимах, у разі періодичного змочування 3%-м розчином NaCl, а також дослідити, як така попередня корозія впливає на подальшу корозійно-втомну міцність [8].

Для експериментів використовували середньовуглецеву сталь 45 у нормалізованому стані з перлітно-феритною структурою. Із цієї сталі виготовляли зразки для визначення як корозійної стійкості, так і корозійно-втомної витривалості. Поверхню формували шляхом звичайного точіння, силового точіння, високошвидкісного точіння (у двох режимах), а також шліфування й обкатування роликми. Після токарної обробки для всіх режимів шорсткість відповідала 5-му класу, а після шліфування й обкатування роликми – 9-му класу [12].

Попередня корозія зумовлює появу на поверхні концентраторів напружень. Водночас гострота та характер цих концентраторів залежать від фізико-механічного стану поверхні, сформованого конкретним методом механічної обробки. Встановлено, що умовна границя корозійної втоми зразків, які зазнали попередньої корозії та були шліфовані після силового різання, зросла приблизно на 12 %, тоді як зразки, шліфовані після високошвидкісного різання, продемонстрували, навпаки, зниження цього показника на 4 %.

Обкатування роликами, яке суттєво підвищує довговічність сталі за втомних випробувань на повітрі, забезпечило також високу стійкість у разі попередньої атмосферної корозії (зменшення ресурсу становило близько 2%). Водночас попередня корозія у вигляді періодичного змочування солоним розчином спричинила більшу втрату довговічності – приблизно 8%. Попри це, абсолютні значення ресурсу зразків, зміцнених обкатуванням роликами, залишалися більш ніж удвічі вищими порівняно з попередньо прокородованими й шліфованими після різних видів токарної обробки.

Отримані результати підтверджують високу ефективність обкатування роликами як способу механічної обробки для сталевих деталей, що працюють як у повітрі за наявності попередньої корозії, так і безпосередньо в корозійних середовищах (як з попередньою корозією, так і без неї). Така обробка створює в приповерхневих шарах стискуючі залишкові напруження, зменшує кількість і небезпеку поверхневих дефектів, що, у підсумку, знижує негативний вплив попередньої корозії на втомну міцність [10].

У дослідженнях, присвячених тривалому атмосферному впливу на сталі 18Cr-2Mo-Ti та типів AISI 304 і AISI 316, зразки розміщували в умовах міської та морської атмосфери протягом п'яти років. Візуальні огляди виконували через 1, 3 і 5 років, а після завершення випробувань застосовували растрову електронну мікроскопію. Встановлено, що в міських умовах поверхня зразків практично не зазнавала помітних ушкоджень, тоді як у морській атмосфері

сталь 18Cr-2Mo-Ti виявилася більш стійкою, ніж AISI 316. Поліровані поверхні показали вищу корозійну стійкість, ніж травлені, а травлені – кращу, ніж шліфовані.

Електрохімічними поляризаційними методами досліджували вплив параметрів якості поверхні (R_a , R_q) на корозійну стійкість низьковуглецевих сталей. Показано, що зі зменшенням параметрів R_a і R_q корозійна стійкість може знижуватися, що суперечить традиційним уявленням про те, що грубіша поверхня завжди більш чутлива до корозії. Це пояснюється тим, що параметр R_a не враховує форму та геометрію нерівностей: за надто малої ширини дефекту розчин практично не проникає в заглиблення, а за надто великої – не затримується в ньому. Отже, корозійна стійкість визначається не лише числовим значенням шорсткості, а й профілем поверхневих дефектів [21].

У роботах, де аналізували вплив стану поверхні на ступінь зниження втомної міцності внаслідок попередньої корозії, показано, що вирішальним чинником є саме спосіб механічної обробки, а не тільки клас чистоти. Так, шліфовані зразки з високою чистотою поверхні продемонстрували більше падіння циклічної міцності після попередньої корозії, ніж зразки, оброблені токарним різцем.

Відмічено, що дробоструминне зміцнення не забезпечує надійного захисту від пітингової корозії, оскільки зона його ефективної дії обмежується глибиною приблизно 80 мкм. Якщо глибина пітингів перевищує, наприклад, 100 мкм, у ділянці їхнього дна вже діють напруження розтягу, що створює умови для розвитку корозійного розтріскування.

1.4. Актуальність досліджень

З проведеного огляду літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи видно, що в окремих дослідженнях вивчався лише вплив агресивних середовищ на швидкість корозії конструкційних матеріалів. Такі дослідження

проведені тільки для окремих засобів хімізації с.г. Мало досліджень впливу твердих добрив (органічних, сипучих мінеральних), методик визначення корозійної стійкості конструкційних сталей в цих добривах. Практично відсутні дослідження, так і самі методики, на циклічну втому, хоч на практиці більшість машин і механізмів, призначених для приготування, зберігання, транспортування і внесення засобів хімізації сільського господарства працюють в умовах безпосереднього контакту з агресивним середовищем і одночасно піддаються циклічним навантаженням. Довговічність конструкційних сталей за таких умов експлуатації значно знижується, а для підвищення її потрібно: дослідити корозійну активність середовищ; визначити види корозійних уражень досліджуваних сталей в різних середовищах; виявити значення попередньої корозії для наступних досліджень на малоциклову втому; визначення параметрів зміцнювальних обробок, захисних покриттів, ППД.

1.5. Висновки до розділу 1

Аналіз літературних джерел засвідчив, що інтенсивне впровадження мінеральних добрив і пестицидів у сучасних технологіях рослинництва супроводжується зростанням корозійного навантаження на конструкційні сталі, з яких виготовляють елементи технологічного обладнання для транспортування, зберігання та внесення зазначених реагентів. Корозійна дія рідких комплексних добрив, суспендованих форм, розчинів КАС і композицій з мікроелементами істотно змінює кінетику руйнування сталей, причому найнебезпечнішими зонами є межа поділу рідкої та газової фаз, щілини та контактні поверхні, де формуються локальні концентрації напружень і активні корозійні осередки.

Узагальнення результатів досліджень втомної міцності показало, що корозійне середовище здатне суттєво знижувати довговічність сталей як у багатоциклової, так і в малоциклової областях, причому найбільш критичною є

саме малоциклова втома за великих рівнів напружень і низьких швидкостей деформування. За таких умов адсорбція компонентів середовища в зоні передруйнування, їх міграція у субмікродефекти та взаємодія з дислокаційною структурою металу істотно прискорюють зародження і розвиток втомних тріщин.

Разом з тим аналіз впливу зміцнювальних обробок показав, що поверхнево-пластичне деформування, вибухове зміцнення, окремі види лазерної обробки, а також раціональні технологічні методи механічної обробки можуть істотно змінювати корозійно-механічну поведінку сталей. Формування стискуючих залишкових напружень, поліпшення мікрорельєфу поверхні, оптимізація профілю нерівностей та контроль глибини зміцненого шару здатні підвищувати опір як корозійному розчиненню, так і втомному та корозійно-втомному руйнуванню. Водночас наявні дані щодо дії лазерного зміцнення та поведінки матеріалів у специфічних агресивних середовищах (розчини добрив і пестицидів) є фрагментарними та неоднозначними.

Отже, встановлено, що, з одного боку, середовища добрив і пестицидів формують складні корозійно-механічні умови роботи конструкційних сталей, а з іншого – сучасні методи поверхневого зміцнення та технологічної обробки відкривають можливості цілеспрямованого підвищення їхньої довговічності. Це зумовлює актуальність комплексних досліджень корозійно-механічних властивостей конструкційних сталей у зазначених середовищах із урахуванням дії циклічних навантажень та попередніх зміцнювальних обробок, що й обґрунтовує вибір теми та напрям подальших експериментальних досліджень у даній кваліфікаційній роботі.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Конструкційних сталей для досліджень

Розв'язання завдань дослідження вимагало широкої експериментальної бази, тому була відібрана значна кількість конструкційних сталей різного хімічного складу та категорій міцності.

До досліджень були залучені такі матеріали:

- вуглецева сталь звичайної якості Ст3;
- якісні вуглецеві сталі 20, 30, 35, 45;
- високоміцні сталі (наприклад, 30ХГСНА);
- аустенітна марганцевиста сталь 45Г17Ю3;
- корпусні сталі 09Г2, 10ХСНД;
- сталі типу 12ХНЗА;
- корозійностійкі сталі 08Х17Н6Т, Х18Н10Т тощо.

Необхідність використання саме цих марок пояснюється тим, що в Україні тривалий час спостерігалась нестача високоякісних легованих сталей і спеціальних конструкційних матеріалів для аграрного машинобудування. Унаслідок економічних обмежень у виробництво часто надходять дешеві маловуглецеві та низькосортні сталі, навіть для техніки, що працює в агресивних середовищах та під дією циклічних навантажень.

Базовим матеріалом для якісних експериментів була обрана низьковуглецева сталь 20 — типова для роботи в умовах малоциклової втоми. Вона використовувалась як модельний матеріал при оцінюванні впливу попередньої корозії, механічних та зміцнювальних обробок.

2.2. Оцінка корозії

Оцінювання корозійних змін проводили за зміною маси зразків, величиною глибини корозійного ураження, результатами випробувань при повному зануренні в електроліт та електрохімічними методами (поляризаційні криві, мікроелектрохімічна неоднорідність поверхні). Усі процедури виконували згідно з ГОСТ 9.908–85 «Методи визначення показників корозії та корозійної стійкості».

2.2.1. Зміна маси зразка. Метод вагового аналізу є базовим і найбільш надійним при оцінюванні корозійної стійкості, оскільки дозволяє безпосередньо визначити кількість металу, зруйнованого корозією. Його застосовують передусім для маловуглецевих сталей, коли корозія має переважно рівномірний характер.

Корозійні втрати маси (в г/м² або мг/см²) визначають за формулою:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S} \quad (2.1)$$

де m_0 — маса зразка до випробування,

m_1 — маса після видалення продуктів корозії,

S — площа поверхні зразка.

Швидкість корозії обчислюють як:

$$K = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau} \dots\dots\dots (2.2)$$

де τ — час випробування.

Зважування виконували на лабораторних вагах типу ВЛКТ-500г-М (4-го класу) з механізмом компенсації тари.

Метод визначення маси дає усереднений показник руйнування. Додатково за його допомогою визначали індекс нерівномірності корозії — співвідношення площі всього зразка до площі ділянок, уражених корозією.

2.2.2. Глибина корозійного ураження. У випадках, коли корозія має сильно локалізований характер, показник втрати маси не дає повної картини. Для вимірювання глибини корозійних уражень застосовували індикаторні головки з фіксацією вихідного положення та профілографи.

Профілограф дозволяє отримати збільшений запис мікрогеометрії поверхні й оцінити не лише глибину, а й форму корозійних виразок. Для детального аналізу використовували растровий електронний мікроскоп РЕМ-200.

2.2.3. Попередня корозія (ПК). Попередні дослідження корозійної втоми у рідких добривах (аміачна вода, КАС, РКД) та ряді пестицидів показали, що за традиційних методик коефіцієнт впливу середовища часто наближається до нуля. Це пов'язано з тим, що при втомних випробуваннях, особливо малоциклових, контакт металу із середовищем триває лише кілька годин, що недостатньо для формування реальних корозійних уражень.

Однак експлуатаційна практика техніки, яка працює з добривами та отрутохімікатами, свідчить про значний негативний вплив цих середовищ. Тому стандартні методи не підходять для адекватної оцінки корозійно-втомної міцності. Так само вони не дозволяють оцінити дію сипких реагентів.

У зв'язку з цим була розроблена методика випробувань зразків після попередньої корозії (ПК) — тобто після формування реальних корозійних уражень перед втомними випробуваннями.

З урахуванням особливостей роботи сільськогосподарських машин (змінність, сезонність, переривчасте змочування) були використані такі режими витримування зразків у середовищах (рис. 2.1):

1. Безперервне занурення.
2. Періодичне занурення: 0,5 доби в середовищі — 0,5 доби на повітрі.
3. Періодичне занурення з промиванням у проточній воді.
4. Витримування на межі фаз: частина зразка занурена, частина — на повітрі.

Тривалість ПК становила 1, 3 та 6 місяців.

Оскільки виконувати такі цикли вручну складно, була розроблена спеціальна установка (рис. 2.2). Зразки підвішували на капронових нитках до планки вала електродвигуна, який через коромисло забезпечував періодичне занурення та виймання зразків у заданому циклі. Амплітуда коливань обмежувалась кінцевими вимикачами.

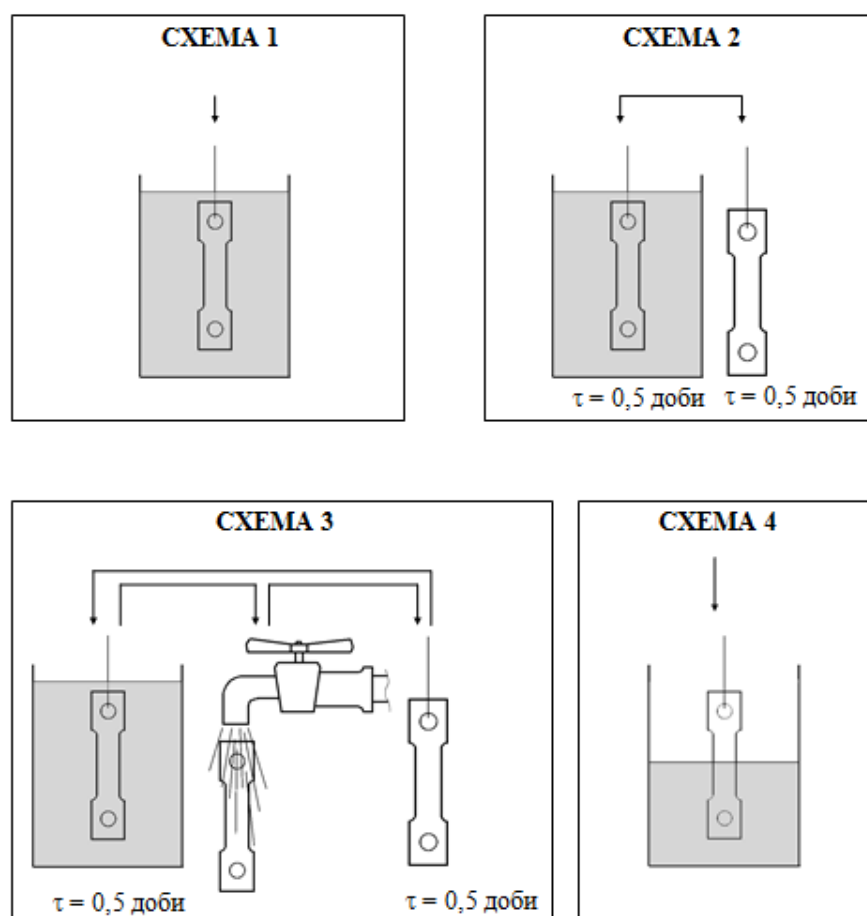


Рис. 2.1. Схеми попередньої корозії зразків в засобах хімізації с. г.: 1 – постійне занурення в середовищі; 2 - періодичне занурення; 3 - періодичне занурення з промиванням; 4 – на межі розділу фаз, (τ - час витримування)

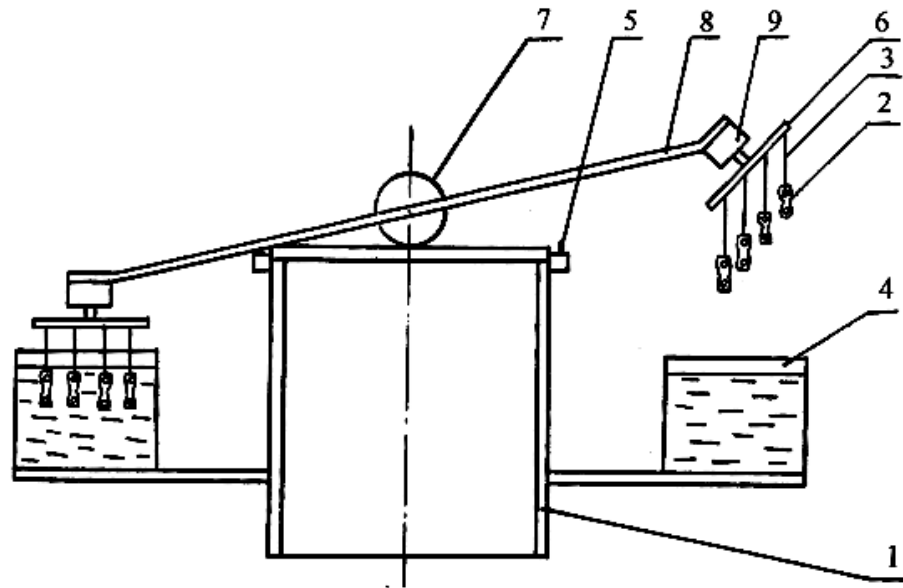


Рис. 2.2. Схема установки для проведення попередньої корозії

2.3. Дослідження опору малоцикловій корозійній втомі

Для більшості конструкційних сталей традиційно орієнтуються на результати випробувань при статичному розтягу. До таких сертифікаційних показників належать характеристики міцності - границя міцності σ_b , границя текучості σ_t , $\sigma_{0.2}$ та пластичності (відносне видовження δ , відносне звуження ψ). Хоча ці параметри й надалі залишаються базовими для оцінки якості металу, самі по собі вони не відображають реальної роботи матеріалу в умовах експлуатації.

Оскільки більшість елементів машин у процесі роботи зазнають не сталих, а повторно-змінних (циклічних) навантажень, ключову роль починають відігравати характеристики опору втомі – границя витривалості σ_w або циклічна довговічність N .

За одночасного впливу корозійно-активного середовища та механічних навантажень характер руйнування конструкції істотно змінюється, тому було проведено випробування при сумісній дії циклічних навантажень і корозійних

середовищ із подальшим порівнянням отриманих результатів із довговічністю зразків на повітрі.

Вплив середовища на довговічність сталі та її стійкість до корозійно-втомного руйнування характеризували коефіцієнтом впливу середовища β_c , який визначали як відношення довговічності на повітрі $N_{\text{пов.}}$ до довговічності в робочому середовищі $N_{\text{середов.}}$:

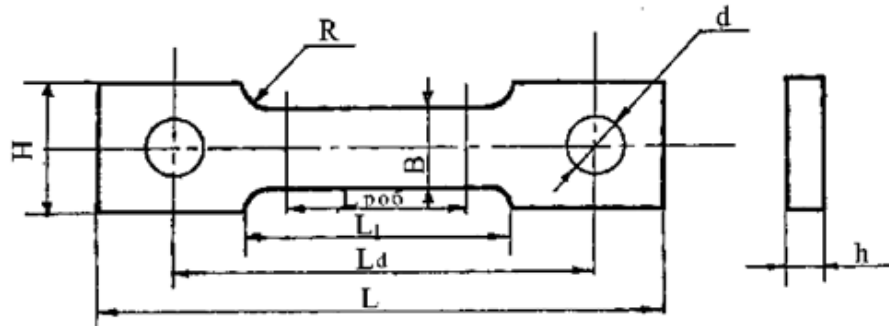
$$\beta_c = \frac{N_{\text{пов.}}}{N_{\text{середов.}}} \dots\dots\dots (2.3)$$

чим більшим є значення β_c , тим відчутніший негативний вплив середовища на ресурс металу.

2.3.1. Зразки листові для досліджень. Випробування на малоциклову втому проводили на листових зразках товщиною 2,5; 6; 12 та 20 мм. Конфігурацію та розміри зразків наведено на рис. 2.3. Окремо досліджували зварні зразки та зразки з концентраторами напружень для оцінки впливу реальних конструктивних особливостей.

Основні якісні експерименти, спрямовані на встановлення принципів закономірностей, виконували на зразках товщиною 2,5 мм. Для розв'язання прикладних задач, пов'язаних з реальними деталями, використовували зразки товщиною 6, 12 і 20 мм, що відповідає перерізам елементів, які працюють у режимі малоциклової втоми.

Після виготовлення зразків до них застосовували різні види зміцнювальних обробок і захисних покриттів, що дозволяло оцінити вплив технологічних факторів на корозійно-втомну довговічність.



Основні розміри (мм)				Допоміжні і габаритні розміри (мм)				
h	B	R	$L_{роб}$	H	L_1	d	L_d	L
2.5	6	10	15	12	27	8	45	57
6	30	30	77	40	110	10	130	160
12	60	60	152	70	200	20	230	320
20	100	100	70	120	110	25	270	420

Рис. 2.3. Зразки для втомних мало циклових випробувань

2.3.2. Випробувальні машини для досліджень. Для випробувань в умовах порівняно низької частоти та значної амплітуди циклічної деформації, характерних для малоциклової втоми, використовували випробувальні машини типу ИП-2, ИП-3, ИП-4 [14], призначені для випробування плоских зразків при повторно-змінному чистому згині.

Конструкція машин забезпечує можливість проведення випробувань як на повітрі, так і в рідких агресивних середовищах. Загальний вигляд машини ИП-2, на якій проводили випробування в рідкому азотно-аміачному добриві типу КАС, показано на рис. 2.4. Усі дослідження малоциклової втоми виконували з використанням пульсуючого (віднульового) циклу навантаження.

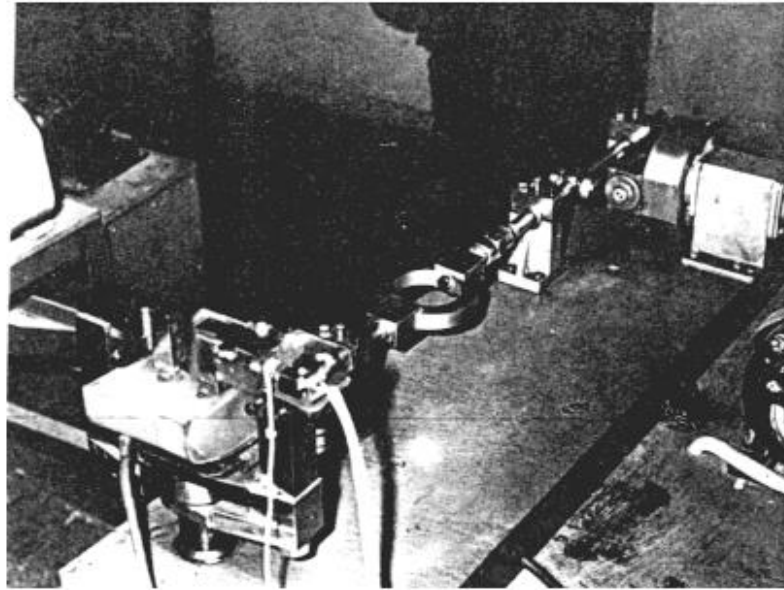


Рис. 2.4. Випробувальна установка ИП-2 на малоциклову довговічність

2.3.3. Вимірювання деформації зразка. Однією з ключових методичних труднощів при вивченні малоциклової втоми є коректне вимірювання деформацій (або напружень) у зразку. У даній роботі, за схемою жорсткого навантаження, основну увагу приділяли визначенню величини відносної деформації.

Максимальний прогин зразка фіксували індикатором годинникового типу (рис. 2.5) з точністю до 0,01 мм. На основі виміряного прогину визначали максимальний радіус кривизни $R_{\max}$ за виразом (2.4), де враховувалась відстань між опорними голками вилки пристосування та максимальний прогин.

$$R_{\max} = \frac{a^2 + 4f^2}{8f} \quad (2.4)$$

Оскільки робоча частина зразка при чистому згині має практично сталий рівень напружень по довжині і постійний поперечний переріз, вісь зігнутого зразка можна розглядати як дугу кола. Тоді відносну деформацію зовнішнього волокна визначали через відношення довжин дуг, утворених поверхнею та середньою лінією зразка (2.5).

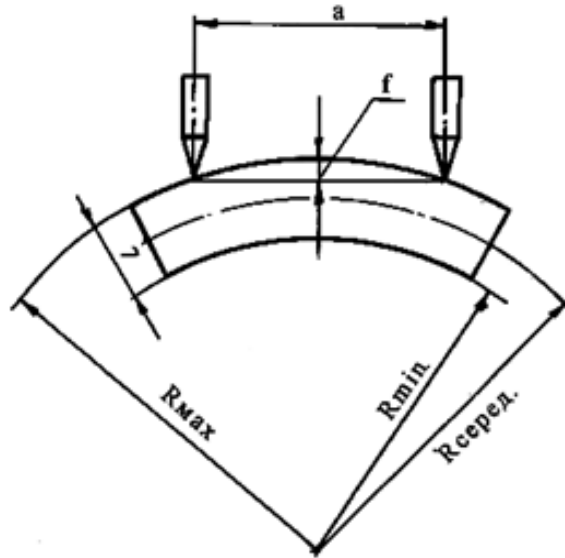


Рис. 2.5. Схема визначення відносної деформації при малоциклових випробуваннях

$$\varepsilon = \frac{l_{\max} - l_{\text{сер}}}{l_{\text{сер}}} = \frac{R_{\max} - R_{\text{сер}}}{R_{\text{сер}}} \quad (2.5)$$

Знаючи $R_{\max}$, обчислювали середній радіус кривизни $R_{\text{сер}}$ за формулою (2.6), у якій враховувалась товщина робочої частини зразка t . Після цього відносну деформацію ε визначали за співвідношенням (2.7).

$$R_{\text{сер}} = R_{\max} - \frac{1}{2}t \quad (2.6)$$

де t - товщина зразка.

$$\varepsilon = R_{\max} - \frac{t}{2R_{\text{сер}}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Отримані значення ε відповідають повній деформації $\varepsilon_{\text{повн.}}$, що включає як пружну, так і пластичну складові. Порівняння з результатами інших дослідників [21] показало, що описана методика забезпечує достатню точність для порівняльних випробувань малоциклової витривалості сталей при аналізі впливу різних факторів.

2.3.4. Металографічні дослідження. Металографічні спостереження виконували на мікроскопі МИМ-7, використовуючи шліфи, вирізані із зразків після випробувань на малоциклову втому. Для виявлення структури та меж

зерен застосовували хімічне травлення, що дозволяло простежити зміни мікроструктури під час циклічної деформації та корозійного впливу.

Електронно-фрактографічні дослідження проводили на електронному мікроскопі «Tesla BS-242» при збільшеннях 1000–6000×. З поверхонь зломів знімали двостадійні целулоїдно-вугільні репліки. Під час аналізу особливу увагу приділяли ділянкам, які відповідають зоні зародження та поширення втомної тріщини з боку максимальних розтягувальних напружень, що дозволяло встановити механізм руйнування.

2.4. Корозійні середовища

Дослідження корозійно-втомного опору конструкційних сталей здійснювали в середовищах мінеральних та органічних добрив, а також у розчинах хімічних засобів захисту рослин.

2.4.1. Мінеральні добрива. Серед сипучих мінеральних добрив використовували:

- аміачну селітру NH_4NO_3 ;
- карбамід (сечовина) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$;
- простий суперфосфат $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4]$;
- хлористий калій KCl ;
- калімагнезію $(\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4)$;
- каїніт $(\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})$;
- нітроамофос.

Із рідких мінеральних добрив застосовували водний аміак, карбамідно-аміачну суміш (КАС) та базовий рідкий комплексний добривний розчин РКД 10-34-0.

Оскільки використання РКД 10-34-0 у чистому вигляді не забезпечує оптимального балансу елементів живлення, для підвищення ефективності живлення рослин до нього додають тверді добрива (азотні, фосфорні, калійні),

утворюючи суспендовані РКД. Такі суспензії характеризуються підвищеною в'язкістю, яка змінюється в процесі зберігання. Корозійно-механічні властивості сталей вивчали в суспендованих добривах марок: СРКД 15-15-15; 20-20-0; 15-10-20; 5-15-20.

2.4.2. Органічні добрива. Як органічні середовища використовували види добрив, типові для сільськогосподарського виробництва:

- підстилковий гній великої рогатої худоби;
- напіврідкий безпідстилковий гній ВРХ;
- гній свиней;
- курячий послід.

Ці середовища істотно відрізняються за хімічним складом, вмістом амонійних сполук, органічних кислот та мікрофлори, що зумовлює різний рівень корозійної агресивності щодо металів.

2.4.3. Пестициди. Корозійно-механічні властивості сталей досліджували також у середовищах 26 основних пестицидів, серед яких:

- інгібітори та регулятори росту – 17 найменувань;
- фунгіциди – 7;
- інсектициди – 2.

Це дозволило оцінити дію широкого спектра препаратів, що використовуються в рослинництві, на довговічність конструкційних матеріалів машин для внесення та транспортування пестицидів.

2.5. Методика обробки результатів досліджень

Результати випробувань на втому завжди характеризуються певним статистичним розкидом. Він зумовлений, з одного боку, відмінностями, пов'язаними з методикою та умовами випробувань (точність обладнання, спосіб виготовлення зразків, відтворюваність режимів навантаження тощо), а з іншого – неоднорідністю структури металу (наявність неметалевих включень,

структурних дефектів, залишкових напружень, анізотропія механічних властивостей).

З огляду на це, для отримання достовірних узагальнених характеристик корозійно-втомної довговічності застосовували методи математичної статистики. Статистична обробка полягала у встановленні функціональної залежності між рівнем напружень (або деформацій) та числом циклів до руйнування.

Як правило, для формування однієї експериментальної точки залучали 8–10 зразків. Подальшу обробку результатів здійснювали відповідно до ГОСТ 23207-78 «Опір втомі», використовуючи рекомендований метод статистичної оцінки для 50-% вірогідності руйнування, що дозволяло порівнювати різні серії випробувань між собою на єдиній методичній основі.

2.6. Висновки до розділу 2

У розділі 2 обґрунтовано вибір матеріалів, методів випробувань та робочих середовищ, необхідних для комплексного дослідження корозійно-механічних властивостей конструкційних сталей в умовах дії мінеральних добрив і пестицидів. Для експериментів залучено широке коло конструкційних сталей – від низьковуглецевих до високоміцних і корозійностійких, що забезпечує репрезентативність результатів щодо реального номенклатурного ряду матеріалів сільськогосподарського машинобудування.

Розроблена та використана система методів оцінки корозії (вагові вимірювання, визначення глибини ураження, електрохімічні методи) дає змогу не лише кількісно оцінити втрати металу, а й дослідити мікрогеометрію поверхні та особливості локального руйнування. Запропонована методика попередньої корозії (ПК) із різними режимами змочування та експозиції в агресивних середовищах дозволяє наблизити лабораторні умови до реальних режимів роботи та зберігання сільськогосподарських машин.

Випробування на малоциклову корозійну втому на машинах типу ИП при повторно-змінному чистому згині, у поєднанні з коректною методикою вимірювання деформацій, забезпечили отримання достовірних даних про циклічну довговічність сталей у різних хімічних середовищах. Введення коефіцієнта впливу середовища β_c дає змогу кількісно оцінити ступінь зниження ресурсу металу в умовах корозійно-втомного навантаження.

Застосування металографічних та електронно-фрактографічних досліджень дозволило пов'язати макрорівневі параметри довговічності з мікроструктурними перетвореннями й особливостями зародження та розвитку втомних тріщин у корозійних середовищах.

Статистична обробка експериментальних результатів згідно з вимогами ГОСТ 23207-78 забезпечила необхідну надійність та відтворюваність отриманих залежностей «напруження (деформація) – кількість циклів до руйнування». Це створює науково обґрунтовану базу для подальшого аналізу впливу складу сталі, стану поверхні, зміцнювальних обробок і типу робочого середовища на корозійно-втомну довговічність конструкційних сталей, що й формує основу для розв'язання задач, поставлених у наступних розділах роботи.

3. ВПЛИВ ДОБРИВ І ПЕСТИЦИДІВ НА КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

3.1. Корозійна дія рідких мінеральних добривах

Сучасний розвиток виробництва мінеральних добрив пов'язаний не лише з розширенням їх асортименту та підвищенням якості, а й із переходом до більш економічних за виготовленням та застосуванням форм. Найбільш перспективними вважають рідкі висококонцентровані мінеральні добрива, ефективність яких підтверджена як науковими дослідженнями, так і практикою. До таких належать рідкі комплексні добрива (РКД) та рідкі азотні добрива (рідкий аміак, аміакати, аміачна вода, а також змішаний розчин карбаміду та аміачної селітри — КАС).

На перебіг корозійних процесів значно впливають режими попередньої корозії, тобто схема витримування зразків. З огляду на можливі експлуатаційні умови роботи сільськогосподарських машин у дослідження включено чотири схеми витримки та три тривалості експозиції — 1, 3 і 6 місяців (див. розділ 2).

3.1.1. Корозійні дослідження сталей після попередньої корозії в рідких мінеральних добривах. Дані щодо впливу різних схем попередньої корозії у середовищах рідких мінеральних добрив на швидкість корозії сталі 35 наведено в табл. 3.1–3.2. Аналіз показав, що зі 63 варіантів лише у п'яти випадках не підтвердилося характерне для схем №2 та №3 зростання швидкості корозії.

Для цих схем типовою є тривала дія дуже тонкого шару електроліту на поверхні зразка. Саме така тонка плівка створює умови для різкого прискорення корозійних процесів. Періодичне оновлення шару електроліту при чергуванні «занурення–виймання» додатково покращує доступ кисню до металу — як за рахунок зменшення товщини електролітної плівки, так і внаслідок її перемішування.

Важливою є й інша обставина: за схемами №2 і №3 частково руйнується фосфатний захисний шар, що природно збільшує активність корозії.

Зведені значення корозійних втрат дають змогу робити узагальнені висновки щодо агресивності різних добрив. Згідно з табл. 3.3 найбільш корозійно-активним середовищем є рідкі азотні добрива типу КАС. Додавання води або РКД знижує їх агресивність, причому РКД у цьому випадку проявляє інгібуючу дію.

Базове РКД формує на поверхні сталі фосфатний захисний шар:

- протягом 50–55 год його товщина становить 3–4 мкм;
- після 60–1000 год шар зростає до 6–7 мкм.

Якщо ж у складі добрива є хлористий калій (KCl), процес утворення фосфатного шару сповільнюється, що збільшує корозійну агресивність РКД, збагачених калієм.

Окремо слід виділити середовище глинистих суспензій: тверді частинки глини, пилу та піску створюють додаткові мікроелементи корозії, утримують вологу та підсилюють капілярну конденсацію. Частинки можуть не лише збільшувати електропровідність електролітної плівки, а й самі бути корозійно активними.

Серед суспендованих добрив високою агресивністю вирізняються лише СРКД марок 5-15-20 та 15-15-15. Інші суспендовані композиції демонструють помірну або низьку активність і можуть розглядатися як одна група середньої агресивності. Подібні залежності описані і в інших дослідженнях [22].

Таблиця 3.1 - Вплив схеми попередньої корозії після місячної витримки в середовищах рідких мінеральних добрив

Середовище	Швидкість корозії, г/м ² ·год		
	Схема №1	Схема №2	Схема №3
H ₂ O	0.08407	-	0.30452
Аміачна вода	0.05483	-	0.00841
РКД 10-34-0	0.00656	0.50802	0.04892
РКД+ H ₂ O (1:5)	0.05497	0.62432	0.16977
РКД+ H ₂ O (1:10)	0.02759	0.37639	0.14720
РКД 9-9-9	0.08642	-	0.34126
РКД 18-18-0	0.04854	-	0.85450
РКД 9-5-12	0.14835	-	0.38829
РКД 3-9-12	0.08904	-	0.14687
СРКД 15-15-15	0.03584	0.45706	0.16991
СРКД 20-20-0	0.02331	-	0.03867
СРКД 15-10-20	0.03935	-	0.26766
СРКД 5-15-20	0.06420	-	0.22868
РКД+КАС (1:1)	-	0.05348	0.72989
КАС	0.02244	0.81154	3.09516
КАС+ H ₂ O (1:1)	0.51001	1.06043	1.40323
КАС+ H ₂ O (1:3)	0.93515	1.54048	0.51731

Таблиця 3.2 - Вплив схем попередньої корозії після шестимісячної витримки в середовищах РМД

Середовище	Швидкість корозії, г/м ² ·год		
	Схема №1	Схема №2	Схема №3
1	2	3	4
H ₂ O	0.16435	-	0.68575
Аміачна вода	0.02541	-	0.08868
РКД 10-34-0	0.00210	0.12593	0.18844

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4
РКД+ Н ₂ О (1:5)	0.10406	0.44869	0.16077
РКД+ Н ₂ О (1:10)	0.06684	0.16659	0.13702
РКД 9-9-9	0.06103	-	0.17756
РКД 18-18-0	0.01717	-	0.21456
РКД 9-5-12	0.13296	-	0.29957
РКД 3-9-12	0.02065	-	0.27600
СРКД 15-15-15	0.03340	-	0.17479
СРКД 20-20-0	0.02742	-	0.18869
СРКД 15-10-20	0.02586	-	0.17190
СРКД 5-15-20	0.14292	-	0.63923
РКД+КАС (1:1)	0.00128	0.15287	0.98367
КАС	0.02470	0.72014	1.89144
КАС+ Н ₂ О (1:1)	0.29752	0.54348	0.63114
КАС+ Н ₂ О (1:3)	0.44938	0.53690	0.56650

Таблиця 3.3 - Сумарна швидкість корозії сталі 35 за всіма схемами попередньої корозії

Середовище	Швидкість корозії, г/м ² ·год
КАС	1.22669
КАС+ Н ₂ О (1:1)	0.60787
КАС+ Н ₂ О (1:3)	0.58567
РКД+КАС(1:1)	0.52451
Н ₂ О	0.27178
СРКД 5-15-20	0.24014
РКД 9-5-12	0.22209
СРКД 15-15-15	0.15589
РКД 9-9-9	0.13749
РКД+ Н ₂ О(1:5)	0.13289
Аміачна вода	0.12506
РКД+ Н ₂ О (1:10)	0.12336
РКД 3-9-12	0.11500
СРКД 15-10-20	0.10576
СРКД 20-20-0	0.08861
РКД 18-18-0	0.08763
РКД 10-34-0	0.09173

Таблиці 3.1–3.3 подають узагальнені кількісні результати.

3.1.2. Дослідження сталей на малоциклову втому після попередньої корозії в рідких добривах

Після проведення попередньої корозії за описаними у розділі 2 схемами виконували випробування зразків на малоциклову втому (МЦВ) на повітрі. Відразу слід відзначити, що найбільше зниження довговічності спостерігалось у зразків, витриманих за схемою № 3, тобто за режиму періодичного змочування: 0,5 доби у середовищі, подальше промивання у водопровідній воді й наступні 0,5 доби на повітрі. Характерною є найнижча довговічність зразків, які витримували по межі поділу фаз. Подібні залежності отримано й для інших середовищ.

Навіть у базовому РКД чітко простежується зона поділу фаз: над фосфатним шаром формується перехідна ділянка зі значним скупченням виразок і каверн. За шестимісячної витримки глибина цих уражень досягала приблизно 0,8 мм. Для Армко-заліза встановлено, що збільшення часу витримки в базовому РКД з одного до шести місяців призводить до додаткового зниження довговічності приблизно на 40 %.

Узагальнення результатів МЦВ після попередньої корозії показало, що найбільший негативний вплив на довговічність мають добрива групи КАС, тоді як дія добрив на основі РКД проявляється меншою мірою (рис. 3.1).

Унаслідок тривалого контакту з рідкими мінеральними добривами на поверхні зразків формувалась велика кількість корозійних дефектів. Експериментально встановлено наявність певної кореляції між висотою мікронерівностей поверхні та малоцикловою довговічністю сталі (рис. 3.2), що узгоджується з даними інших досліджень.

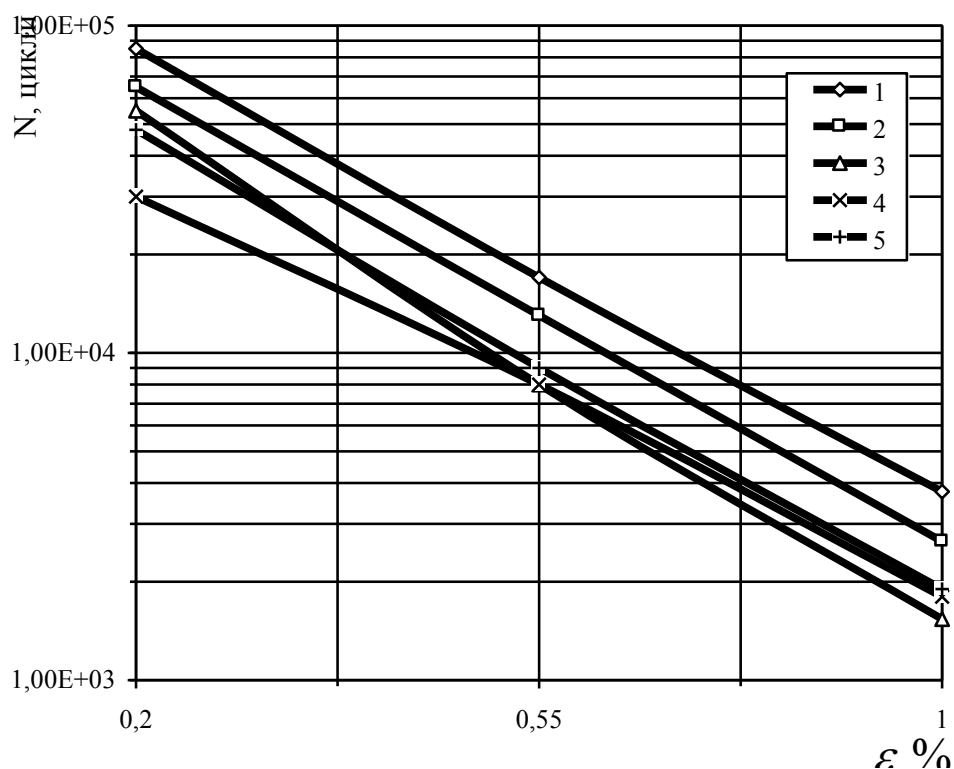


Рис. 3.1. Вплив середовища на циклічну довговічність сталі 35, витримка шість місяців з вийманням без промивання: 1 – на повітрі; 2 - H₂O; 3 – в аміачній воді; 4 - РКД; 5 - КАС

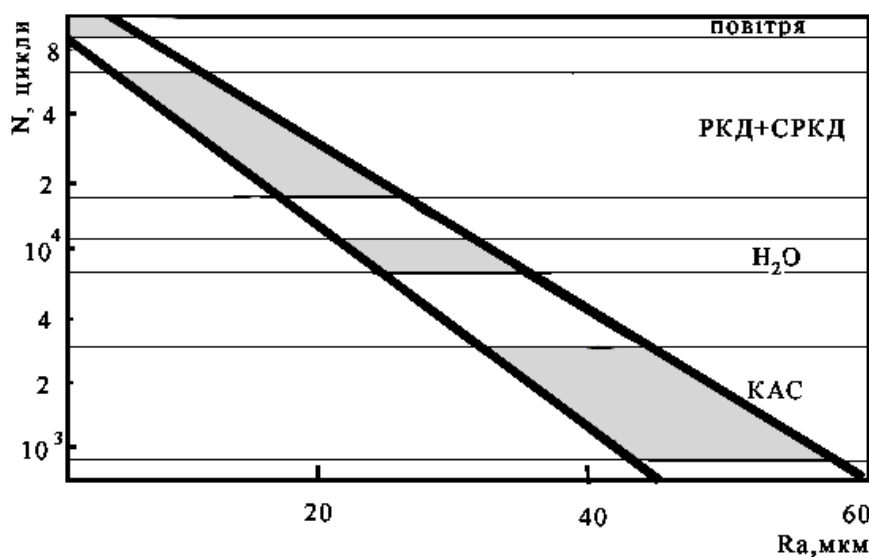


Рис. 3.2. Малоциклова довговічність ($\epsilon = 0,62\%$) зразків сталі 35 в залежності від висоти мікрорельєфу поверхні (витримка шестимісячна, схема 3).

3.2. Попередня корозія в сипучих добривах

Попри активний розвиток технологій внесення рідких туків, у сільськогосподарському виробництві й надалі широко застосовуються тверді сипучі мінеральні добрива (гранульовані, кристалічні, порошкоподібні). Важкі експлуатаційні умови мають машини й механізми, робочі органи яких безпосередньо контактують з такими матеріалами. Найбільш інтенсивній корозійно-абразивній дії піддається техніка для транспортування та внесення твердих добрив.

У роботі досліджували вплив сипучих мінеральних добрив на корозійно-механічні властивості конструкційних сталей. Класичні методики корозійно-втомних випробувань передбачають використання рідких середовищ, тоді як реальні умови експлуатації свідчать, що й тверді туки здатні істотно погіршувати механічні властивості робочих органів, зменшуючи їх довговічність та надійність.

Сипучі добрива є гігроскопічними, до того ж операції внесення часто виконують за підвищеної вологості повітря. Це призводить до зволоження поверхні металу, налипання частинок добрив і, як наслідок, до формування агресивного корозійного середовища.

Дослідження виконували в умовах, наближених до реальної експлуатації. Перед випробуваннями на малоциклову довговічність зразки зі сталі Ст3 витримували в середовищах азотних, фосфорних, калійних та складних добрив. Витримування проводили на відкритому повітрі під навісом протягом одного, трьох і шести місяців. Через гігроскопічність більшість добрив вже за кілька діб ставали вологими, а згодом набували кашоподібної консистенції.

3.2.1. Дослідження корозії сталей після ПК в сипучих мінеральних добривах. У процесі досліджень визначали швидкість корозії та глибину корозійних уражень за допомогою спеціального пристрою з індикатором-глибиноміром, а також оптичними методами.

Після місячної витримки в аміачній селітрі та карбаміді поверхня зразків візуально майже не змінилася. Зразки із суперфосфату були вкриті суцільними коричневими плямами. На зразках, витриманих у каїніті та хлористому калії, спостерігалися рівномірно розподілені точкові ураження. Так, після витримки в КСІ на поверхні одного зразка нараховували в середньому 20–35 точок корозії, у каїніті – дещо менше. Для нітроамофосу характерним був перехід від точкової до виразкової форми корозійних пошкоджень.

За тримісячної витримки стан зразків в аміачній селітрі та карбаміді практично не змінився. На зразках із суперфосфату на тлі коричневих плям почали чітко проявлятися точкові ураження невеликої глибини. Зразки, витримані три місяці в хлористому калії, були уражені глибокою точковою корозією (середня глибина близько 490 мкм), причому точки розташовувалися нерівномірно. Після витримки у каїніті кількість корозійних точок становила 16...21 на поверхню одного зразка, середня глибина – близько 170 мкм. Для нітроамофосу тримісячна витримка характеризувалася переважно плямовою корозією.

Шестимісячна експозиція підтвердила специфіку впливу кожного виду сипучих добрив. Узагальнення результатів показало, що азотні добрива за досліджених термінів витримки спричинювали лише незначне зниження малоциклової витривалості, поверхня навіть після шести місяців залишалася відносно гладкою та слабко ураженою, а швидкість корозії була невеликою.

Натомість витримка в калійних добривах призводила до відчутного зменшення довговічності сталі. Швидкість корозії в цих середовищах істотно перевищувала показники для азотних добрив. Аналіз поверхні показав, що попередня корозія в калійних туках суттєво змінює мікрорельєф: у КСІ формуються виразні точкові ураження, глибина яких після шести місяців досягає приблизно 750 мкм (рис. 3.3). У каїніті та калімагnezії при подібних швидкостях корозії формується переважно плямова корозія з глибиною

уражень до 350 мкм, причому такі дефекти працюють як ініціатори зародження втомних тріщин.

У суперфосфаті, попри нижчу швидкість корозії порівняно з калійними добривами, через переважно точковий характер уражень спостерігається суттєве зниження довговічності сталі [26].

Стан поверхні зразків додатково аналізували за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-200.

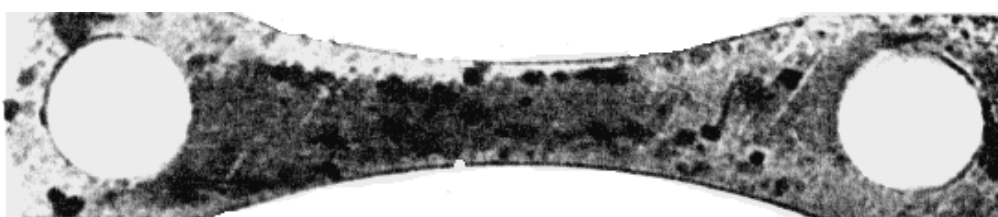


Рис. 3.3. Стан поверхні зразка після шестимісячної витримки в хлористому калії.

3.2.2. Малоциклова втома сталей після ПК в сипучих мінеральних добривах. Попередня корозія в калійних добривах (хлористий калій, калімагnezія) приводить до найбільшого зниження малоциклової довговічності зразків зі сталі Ст3. Суттєве зменшення кількості циклів до руйнування спостерігається також після витримки в суперфосфаті. Азотні добрива в досліджених умовах значно менше впливають на показники МЦВ.

Отже, проведені випробування підтверджують, що сипучі мінеральні добрива негативно впливають на механічні властивості сталей. При цьому сама по собі швидкість корозії, визначена гравіметричним методом, не може повністю характеризувати ступінь зниження втомних характеристик. Вирішальним є характер корозійних уражень (плямовий, виразковий, точковий), їх кількість, форма та розміри, які й визначають довговічність матеріалу.

3.3. Дослідження корозійної втоми конструкційних сталей після ПК в органічних добривах

Окрему групу агресивних середовищ становлять органічні добрива. Термін служби більшості машин та обладнання тваринницьких комплексів (кормороздавачі, гноєнавантажувачі, транспортери, скреперні установки, дугові сита для розділення гною, шибєрні заслінки в самопливних системах, обладнання для утримання птиці, елементи каналізаційних систем тощо) істотно менший за розрахунковий амортизаційний строк [8,26]. Це зумовлено, з одного боку, інтенсивною корозією в агресивних середовищах гноївки, а з іншого – дією змінних механічних навантажень. Аналогічні проблеми характерні й для техніки, призначеної для приготування, транспортування та внесення органічних добрив.

За тією ж методикою, що й для сипучих добрив, було виконано попередню корозію зразків сталі 35 протягом шести місяців у таких середовищах: напіврідкий безпідстилковий гній великої рогатої худоби та свиней, підстилковий гній ВРХ і курячий послід.

Встановлено, що швидкість корозії в курячому посліді приблизно вдвічі перевищує відповідні значення для напіврідкого гною ВРХ і свиней та становить 0,256 проти 0,145 і 0,149 г/м²·год. У підстилковому гної ВРХ швидкість корозії була меншою й становила 0,069 г/м²·год.

Як показано на рис. 3.4, при деформації $\varepsilon = 0,25$ % довговічність зразків після шестимісячної витримки в курячому посліді зменшувалася у 7,8 раза, у напіврідкому гної ВРХ – у 4,3 раза, у свинячому гної – у 3,5 раза, а в безпідстилковому гної – у 2,4 раза. Таке різке зниження опору втомі пов'язане насамперед з інтенсивним розвитком пітингової корозії на поверхні сталі [26]. Найглибші пітинги з різко окресленими краями, що є особливо несприятливими з точки зору концентрації напружень, спостерігалися саме після витримки в курячому посліді. За рік експозиції глибина пітингів досягала

0,5...0,8 мм. Вирішальну роль у їх виникненні відіграє специфічна адсорбція на межі «вода – хлориди», які входять до складу пташиного посліду.

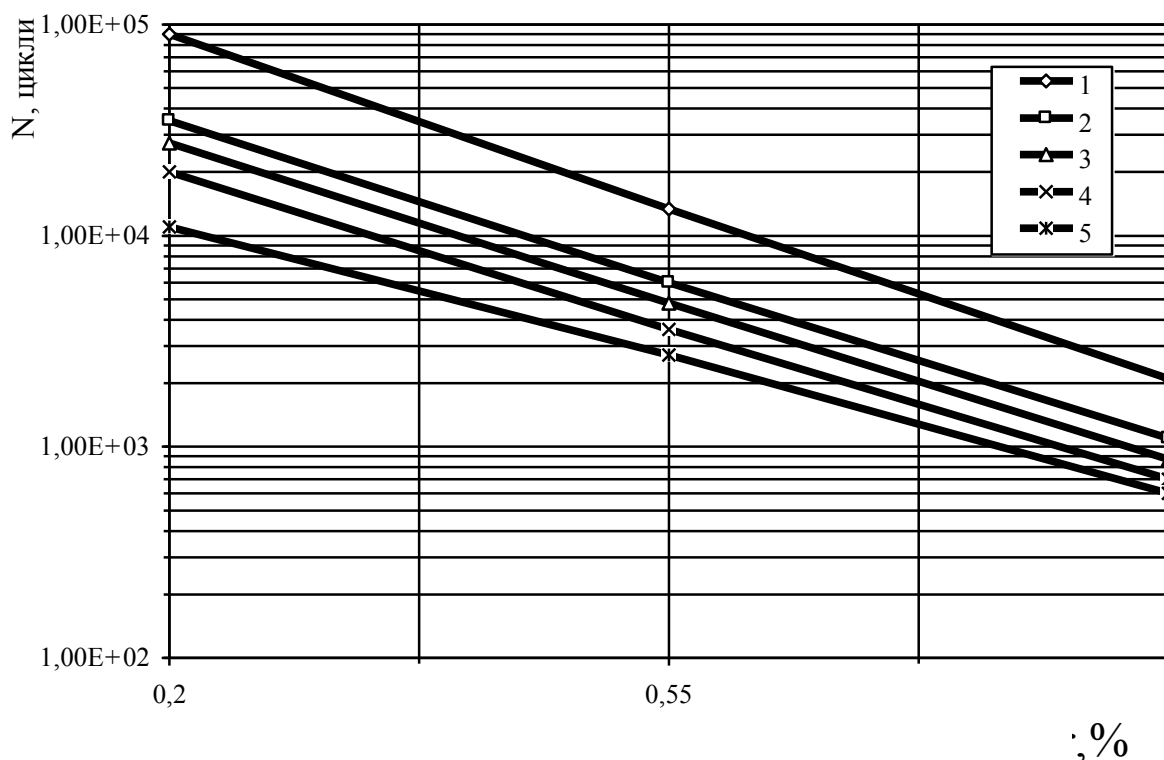


Рис. 3.4. Криві циклічної втоми зразків сталі 35 після витримки шість місяців в середовищах: гній ВРХ підстилковий (2), гній ВРХ напіврідкий безпідстилковий (3), гній свинячий (4), послід курячий (5); 1 – без ПК

3.4. ПК в рідких засобах хімічного захисту

Висока агресивність пестицидів та складні умови роботи машин для хімічного захисту рослин висувають підвищені вимоги до їхньої надійності. Найменш вивченою залишається динаміка навантажень таких машин. Практичний досвід показує, що значна частина відмов обприскувачів уже в перший сезон експлуатації пов'язана з перевантаженнями [21]. Основними причинами є нерівності рельєфу (борозни, вибоїни, горби) на оброблюваних полях та на дорогах при транспортуванні машин. Невеликі робочі й транспортні швидкості в поєднанні з випадковими перешкодами спричиняють

низькочастотні динамічні перевантаження та малоциклове втомне руйнування [20].

Спостереження за роботою техніки в господарствах показали, що найбільш уразливими з точки зору надійності є рамні конструкції, насамперед причіпних обприскувачів. Часто фіксуються руйнування металевих баків (особливо в зоні приєднання опор до обичайки), несучих каркасів секцій штанг, елементів силових передач та інших вузлів. До дії динамічних навантажень додається вплив агресивних робочих розчинів засобів захисту рослин.

Для досліджень було відібрано 26 найпоширеніших пестицидів (17 гербіцидів і регуляторів росту, 7 фунгіцидів та 2 інсектициди) [20]. Концентрацію водних розчинів наведено в табл. 3.4. Зразки зі сталі Ст3 витримували в цих розчинах за схемою, що імітує реальні умови: 1 година витримки в середовищі з обертанням зразків, 1 година – на повітрі, й так протягом 6 місяців. Корозійну стійкість оцінювали за зміною маси зразків (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Швидкість корозії в середовищах пестицидів

Назва пестицидів	Хімічна формула	Склад, концентрація	Швидкість корозії
1	2	3	4
Компазан (регулятор росту)	$C_2H_6ClO_3 P$	175 г на 7 л	4.04500
ТХА (гербіцид)	$C_2Cl_3NaO_2$	350 г на 7 л	0.80880
Хлорофос (інсектицид)	$C_4H_2Cl_3O_4P$	35 г на 7 л	0.49390
ТУР (регулятор росту)	$C_5H_{13}Cl_2N$	70 г на 7 л	0.42560
Ацетлур (гербіцид)	75% ТХА і 11% ленацилу ($C_{13}H_{18}N_2O_2$)	100 г на 5 л	0.29520
Дихлоральмочевина ДХМ	$C_5H_6Cl_6N_2O_3$	100 г на 5 л	0.23170
Нітицид (рамрод) (гербіцид)	$C_{11}H_{11}Cl N O$	70 г на 5 л	0.18730
Хомецин (фунгіцид)	15% цинебу ($C_4H_6N_2S_4Zn$) і 65% хлорокису міді	70 г на 7 л	0.18040

Продовження табл. 3.4

1	2	3	4
Симазин (гербіцид)	$C_7H_{12}Cl N_5$	75 г на 5 л	0.17500
Феназон (гербіцид)	$C_{10}H_8Cl N_3O$	40 г на 5 л	0.13540
Фентуриам (фунгіцид)	40% тираму ($C_6H_{12}N_2S_4$), 20% гама-ізомеру ГХЦГ ($C_6H_6Cl_6$), 10% трихлорофенолату міді ($C_{12}H_4Cl_6CuO_2$) і наповнювач	30 г на 5 л	0.13385
Децис (фунгіцид)	$C_{15}H_{21} NO_4$	20 г на 5 л	0.12070
Ридоміл (фунгіцид)	$C_{15}H_{22}NO_4$	20 г на 5 л	0.12070
Бентал (фунгіцид)	$C_{14}H_{18}N_4O_3$	20 г на 6 л	0.11510
Пропахлор (гербіцид)	$C_{11}H_{14}Cl NO$	50 г на 7 л	0.11230
Байлетон (фунгіцид)	$C_{14}H_{18}Cl N_3O_2$	125 г на 5 л	0.11210
2М-4Х (гербіцид)	$C_9H_9Cl O_3$	35 г на 7 л	0.10780
Ситрин (гербіцид)	14% сімазину і 36% прометрину	50 г на 5 л	0.10410
Амінна сіль 2,4-ДА (гербіцид)	$C_{10}H_{13}Cl_2N O_3$	12 г на 7 л	0.10178
Бетанал (гербіцид)	$C_{16}H_{16}N_2O_4$	35 г на 7 л	0.09302
Прометрин (гербіцид)	$C_{10}H_{19}N_5S$	35 г на 7 л	0.09181
Тилт (фунгіцид)	$C_{15}H_{17}Cl_2N_3O_2$	1 г на 7 л	0.09130
Гексилур (гербіцид)	$C_{13}H_{18}N_2O_2$	35 г на 7 л	0.08861
Протразин (гербіцид)	33,3% атразину ($C_8H_{14}Cl N_5$) і 16,7% прометрину ($C_{10}H_{19}N_5S$)	35 г на 7 л	0.06950
Байтан (фунгіцид)	$C_{14}H_{18}Cl N_3O_2$	40 г на 7 л	0.05717
Майазин (гербіцид)	15% атразину ($C_8H_{14}ClN_5$)+ +синтетичне масло і емульгатор	35 г на 7 л	0.03495

Отримані дані дали змогу ранжувати пестициди за рівнем корозійної активності. Виявлено дуже широкий діапазон швидкостей корозії: у компазані вона становила $4,045 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$, тоді як у майазині – лише $0,03495 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$.

Щодо опору малоцикловій втомі прокородованих зразків, то встановлено, що всі досліджені пестициди тією чи іншою мірою знижують МЦВ сталі. Водночас:

- за зміни швидкості корозії майже на три порядки зменшення малоциклової довговічності не перевищувало приблизно трикратного;
- не виявлено чіткої кореляції між швидкістю корозії та довговічністю при пружно-пластичному циклічному деформуванні;
- не вдалося однозначно впорядкувати пестициди за ступенем впливу на довговічність, тому результати подано графічно у вигляді узагальненої «смути» (рис. 3.5).

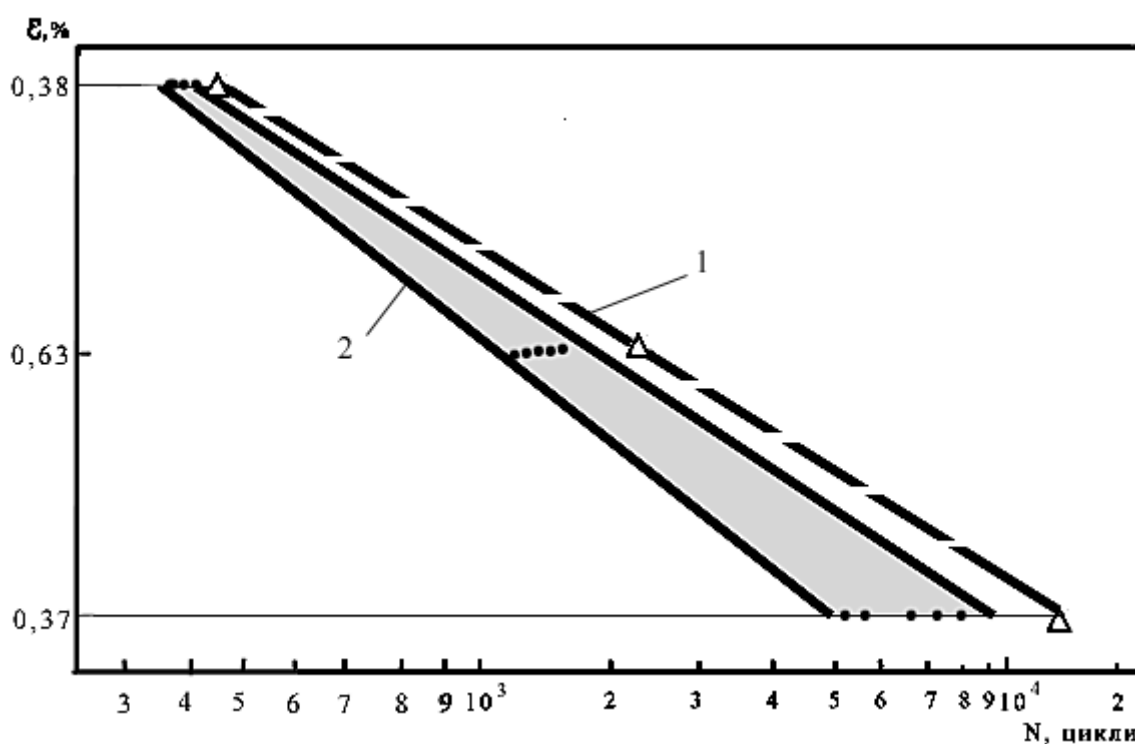


Рис. 3.5. Криві малоциклових випробувань сталі Ст3: 1 – без ПК; 2 – шестимісячна витримка зразків у розчинах пестицидів.

3.5. Висновки до розділу 3

У розділі 3 проаналізовано вплив різних груп агресивних середовищ – рідких і сипучих мінеральних добрив, органічних добрив та пестицидів – на корозійно-механічні властивості та малоциклову довговічність конструкційних сталей.

Встановлено, що режими попередньої корозії в рідких мінеральних добривах (схеми витримки, тривалість контакту, положення зразка відносно межі поділу фаз) істотно впливають як на швидкість корозії, так і на характер корозійних уражень та подальшу малоциклову витривалість сталей. Найбільш несприятливим виявився режим періодичного змочування з промиванням, за якого інтенсифікується корозія у тонкому шарі електроліту, частково руйнується фосфатний захисний шар, а на поверхні формуються виразки та каверни, особливо небезпечні у зоні межі поділу фаз.

Показано, що серед рідких азотних добрив найбільш агресивними є композиції типу КАС. Вони забезпечують максимальне зниження малоциклової довговічності, тоді як базові РКД, здатні формувати захисний фосфатний шар, чинять менш руйнівний вплив. Наявність хлористого калію в складі добрив уповільнює формування фосфатної плівки й підвищує корозійну активність розчину. Виявлено кореляцію між параметрами мікрорельєфу поверхні (висотою мікронерівностей) та МЦВ, що підтверджує вирішальну роль стану поверхневого шару в процесах корозійно-втомного руйнування.

Для сипучих мінеральних добрив встановлено, що сам по собі гравіметрично визначений рівень корозії не є достатнім критерієм для оцінки впливу на втомну міцність. Вирішальне значення мають тип корозійних дефектів (плямові, точкові, виразкові ураження), їх кількість, глибина та форма. Калійні добрива (хлористий калій, каїніт, калімагnezія) спричиняють найглибші точкові й виразкові ураження, що призводить до значного зниження малоциклової довговічності. Азотні сипучі добрива (аміачна селітра, карбамід)

за досліджених умов спричиняють відносно невеликі корозійні пошкодження й, відповідно, слабший вплив на МЦВ.

Показано, що органічні добрива, зокрема курячий послід та напіврідкі гноївки, є надзвичайно агресивними середовищами щодо конструкційних сталей. Швидкість корозії та глибина пітингів у цих середовищах призводять до багаторазового (до 7–8 разів) зменшення малоциклової довговічності. Найбільш небезпечними є глибокі пітинги з різкими краями, які формують висококонцентровані зони напружень і стають осередками зародження й розвитку втомних тріщин.

Дослідження впливу пестицидів показали, що всі вивчені препарати знижують опір малоцикловій втомі сталі Ст3, однак ступінь цього зниження не корелює лінійно зі швидкістю корозії. При значних відмінностях у корозійній активності (до трьох порядків) малоциклова довговічність зменшувалася не більш як у 3 рази. Це свідчить про складний характер взаємодії «метал – середовище» при пружно-пластичному циклічному деформуванні, де на результат впливають не лише середні показники корозійної швидкості, а й локальні процеси адсорбції, розчинення та зародження мікротріщин.

У цілому результати розділу 3 підтверджують, що для об'єктивної оцінки працездатності конструкційних сталей в агресивних середовищах добрив і пестицидів необхідно комплексно враховувати:

- тип, концентрацію та агрегатний стан робочого середовища;
- режими й тривалість попередньої корозії;
- характер і геометрію корозійних дефектів;
- умови малоциклового деформування.

Отримані дані є основою для обґрунтування вимог до вибору матеріалів, захисних покриттів і режимів експлуатації сільськогосподарських машин, що працюють у контакті з мінеральними та органічними добривами і засобами хімічного захисту рослин.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

Дослідження корозійно-механічних властивостей конструкційних сталей у середовищах мінеральних, органічних добрив та пестицидів безпосередньо пов'язане із питаннями безпеки праці персоналу та захисту населення. Робота з агрохімікатами, їх зберігання та застосування належать до підвищеної небезпеки, оскільки впливають як на технічний стан машин, так і на здоров'я працівників та довкілля [15].

4.1. Вимоги безпеки при роботі з мінеральними добривами

Під час експлуатації техніки, що контактує з рідкими та сипучими добривами (КАС, РКД, аміачна вода, суперфосфат, каїніт, калімагnezія), необхідно враховувати хімічну агресивність цих речовин. Дотримання вимог охорони праці включає: використання індивідуальних засобів захисту (герметичні рукавиці, окуляри, спецодяг, респіратори марки А1–В2 для роботи з аміаком та азотними добривами); запобігання прямому контакту шкіри з азотними та калійними добривами, що викликають хімічні опіки; організацію зон завантаження та змішування добрив на відкритому повітрі або під навісами з природною вентиляцією; постійний контроль ущільнень, шлангових систем та з'єднань, оскільки агресивні добрива прискорюють корозію металу [15].

Особливу небезпеку становлять композиції типу КАС та суміші $\text{КАС} + \text{H}_2\text{O}$, які викликають глибоку точкову корозію металу. Такі дефекти можуть спричинити раптовий вихід з ладу трубопроводів, ємностей і робочих органів, що збільшує ризик аварій та забруднення ґрунтів.

4.2. Безпека при роботі з органічними добривами

Органічні добрива (гній, гноївка, курячий послід) містять хлориди, сірку та органічні кислоти, що призводять до утворення пітингової корозії на деталях машин. Ці середовища є біологічно небезпечними, тому передбачають: використання захисних костюмів, водонепроникного взуття, фільтруючих респіраторів від аміаку; регулярну дезінфекцію обладнання і місць завантаження; обов'язкове миття рук та обличчя після роботи, особливо перед прийомом їжі; недопущення потрапляння органічних відходів у системи водопостачання; своєчасне видалення пітингів та пошкоджень на металевих деталях, щоб запобігти аваріям.

Під час роботи з органічними добривами існує ризик поширення інфекцій, тому техніка повинна регулярно проходити санітарну обробку.

4.3. Вимоги безпеки при роботі з пестицидами

Пестициди (гербіциди, фунгіциди, інсектициди) належать до високотоксичних речовин і вимагають підвищених заходів безпеки: роботу дозволено виконувати тільки навченим працівникам, які мають допуск; всі операції (розведення, змішування, налив, ополіскування тари) виконують у герметичних зонах або під витяжною вентиляцією; застосовують ЗІЗ: комбінезони, герметичні рукавиці, протигази типу ПФК або респіратори з фільтрами А–В–РЗ; обприскування проводять у ранкові та вечірні години за швидкості вітру $< 3\text{--}5$ м/с; місця обробки маркують та обмежують доступ населення і тварин на термін від 3 до 20 діб (залежно від пестициду).

Оскільки пестициди значно прискорюють корозію сталевих деталей техніки, необхідно регулярно контролювати стан баків, рами та штанг обприскувачів, щоб уникнути руйнування металу під час роботи у полі [13].

4.4. Захист населення та довкілля

Використання великої кількості агрохімікатів у сільському господарстві може становити потенційну небезпеку для населення та екосистем, тому необхідно забезпечити: недопущення витоків агрохімікатів під час транспортування; облаштування спеціальних майданчиків для миття техніки зі збірними ємностями для стоків; своєчасне технічне обслуговування машин, що запобігає аваріям через корозійне руйнування сталевих елементів; створення санітарно-захисних зон навколо полів, складів та місць зберігання добрив і пестицидів; інформування населення про проведення хімічних обробок та обмеження доступу у небезпечні зони.

У випадку аварійного розливу агрохімікатів проводять локалізацію забруднення, нейтралізацію токсичних речовин та недопущення їх потрапляння у водні об'єкти.

4.5. Заходи попередження аварій та підвищення надійності техніки

З огляду на значну корозійну активність добрив і пестицидів необхідно: використовувати сталі з підвищеною стійкістю або захисні покриття (фосфатування, емалювання, порошкові фарби); проводити регулярні огляди та діагностику металоконструкцій; своєчасно видаляти корозійні ураження та відновлювати покриття; застосовувати резервні ємності та ізольовані системи для агресивних компонентів.

Висновки до розділу 4

Проведений аналіз показав, що безпечна робота з мінеральними, органічними добривами та пестицидами безпосередньо залежить від дотримання вимог охорони праці, оскільки ці речовини характеризуються

високою хімічною активністю і здатністю викликати прискорену корозію конструкційних сталей. Саме корозійне ураження металів є однією з головних причин аварійності техніки та ризиків для персоналу під час експлуатації машин у сільському господарстві.

Встановлено, що робота з агрохімікатами передбачає застосування комплексу технічних та організаційних заходів: використання індивідуальних засобів захисту, забезпечення належної вентиляції, регулярний контроль стану обладнання, герметизації з'єднань та поверхонь, схильних до корозії. У випадку роботи з рідкими добривами (КАС, РКД, аміачна вода) особливого значення набуває попередження корозійних пошкоджень, оскільки вони можуть призвести до раптового руйнування ємностей, трубопроводів і робочих органів машин.

Дослідження впливу органічних добрив показало, що ці середовища характеризуються не лише хімічною, а й біологічною небезпекою, тому вимагають санітарної обробки техніки та захисту працівників від потенційних інфекційних ризиків. У середовищах пестицидів техніка працює в умовах одночасної дії токсичних речовин та малоциклових навантажень, що підвищує вірогідність корозійного розтріскування та аварій.

З позиції захисту населення важливо забезпечити контроль за переміщенням агрохімікатів, недопущення їх потрапляння у ґрунт і водні об'єкти, своєчасне інформування місцевого населення про проведення хімічних обробок, а також організацію санітарно-захисних зон.

Узагальнюючи, заходи охорони праці та захисту населення є невід'ємним елементом безпечної експлуатації сільськогосподарської техніки, що працює з агресивними добривами та пестицидами. Їх дотримання не тільки зменшує ризики травматизму та аварій, а й сприяє збереженню технічного ресурсу машин і підвищенню екологічної безпеки аграрного виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено всебічний аналіз впливу рідких, сипучих та органічних мінеральних добрив, а також пестицидів на корозійно-механічні властивості конструкційних сталей, що застосовуються у сільськогосподарському машинобудуванні. На основі отриманих результатів сформульовано такі узагальнення:

1. Хімічний склад та агрегатний стан агросередовищ суттєво визначають інтенсивність корозійного ураження. Найбільш агресивними рідкими добривами є КАС та його суміші; серед сипучих — хлористий калій, каїніт та суперфосфат; серед органічних — курячий послід.

2. Попередня корозія істотно знижує опір малоциклової втомі, причому вирішальну роль відіграє не лише швидкість корозії, а й тип дефектів: точкові пітинги та виразки є найнебезпечнішими ініціаторами тріщиноутворення.

3. Схема витримки має значний вплив на ступінь пошкодження металу. Періодичне змочування з промиванням (схема №3) спричиняє найінтенсивніші корозійні процеси та найбільше зниження довговічності.

4. Довговічність сталей у середовищах добрив і пестицидів може знижуватися у 3–8 разів, що підтверджує критичну роль корозійних локальних дефектів у процесі малоциклового руйнування.

5. Пестициди характеризуються найширшим діапазоном корозійної активності, але всі без винятку призводять до зменшення опору малоциклової втомі, незалежно від групи та призначення.

6. Металографічні та електронно-фрактографічні дослідження підтвердили прямий зв'язок між мікромеханікою руйнування та корозійною структурою поверхні, зокрема вплив глибини і крутизни пітингів на швидкість поширення втомних тріщин.

7. Розроблені рекомендації дозволяють підвищити корозійну стійкість машин, зокрема завдяки вибору відповідних покриттів, регулярному

очищенню поверхонь, контролю ступеня корозії та зменшенню зон локального накопичення агрохімікатів.

8. Проведений аналіз аспектів охорони праці показав, що корозійно-механічні пошкодження є важливим фактором аварійності, а тому контроль корозії є не лише технічною, а й безпековою вимогою.

Загалом встановлено, що корозійно-механічна взаємодія сталей з агросередовищами суттєво впливає на надійність та ресурс машин, а результати роботи можуть бути використані при проектуванні техніки, виборі матеріалів, плануванні технічного обслуговування та розробці заходів захисту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Totten, G. E., West, S. R. Corrosion and Corrosion Control of Agricultural Equipment. – Boca Raton: CRC Press, 2003. – 276 p.
2. Influence of Corrosive Environments on Fatigue Behavior of Steels. // International Journal of Fatigue. – 2017. – Vol. 45, No. 6. – P. 120-130.
3. Андрейків О. Є., Лучко Й. Й., Божидарник В. В. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : монографія. – Львів : Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2002. – 634 с.
4. Афанас'єв О. П. (2017). Дослідження впливу агресивних середовищ на втомну міцність сталей. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, № 856.
5. Бодрова Л. Г., Крамар Г. М., Ковальчук Я. О., Коваль І. В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство : навч. посібник. – Тернопіль : Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2023. – 362 с.
6. Гавриш А. П., Киричок П. О., Підберезний М. П. Зміцнення металевих поверхонь деталей машин та механізмів : монографія. – Київ : Наукова думка, 1995. – 748 с.
7. Гринько, Ю. Г. (2016). Втома конструкційних матеріалів в агресивних середовищах. *Науковий вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, № 844.
8. Іванченко Ю.В. "Вплив агресивних середовищ на втому металів в агропромисловому комплексі". — Вінниця: ВНТУ, 2012.
9. Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво : навчальний посібник. – Вінниця : Універсум–Вінниця, 2005. – 486 с.

10. Лукашенко І. О. Вплив агресивних середовищ на втомну поведінку сталей // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2021. – № 52.
11. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навчальний посібник / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко, К. Г. Лопатько. – Київ : Либідь, 2002. – 712 с.
12. Пахаренко В. Л., Марчук М. М., Пахаренко О. В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство (обробка металів різанням) : навч. посібник. – 2-ге вид., перероб. і доповн. – Рівне : НУВГП, 2018. – 386 с.
13. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецька О. Г. Небезпека аварійного руйнування машин для хімічного захисту // Охорона праці та соціальний захист працівників : зб. тез доп. міжнар. конф., м. Київ, 19-21 листопада 2008 р. – Київ: НТУУ "КПІ", 2008
14. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тубальцев А. М. Малоциклова втома суднобудівних сталей (стан поверхні та приповерхневий шар): монографія. – Львів: Тріада плюс, 2009. – 332 с.
15. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник. – Львів: Тріада плюс, 2017. – Ч. І. – 640 с.
16. Погребова І. С. Інгібітори корозії металів : навчальний посібник. – Київ : Хай-Тек Прес, 2012. – 292 с.
17. Похмурський В. І., Хома М. С. Корозійна втома металів та сплавів : монографія. – Львів : Сполом, 2008. – 664 с.
18. Похмурський В. І., Хома М. С., Куньч З. Д. Електродугові відновні та захисні покриття : монографія. – Львів : Сполом, 2005. – 547 с.
19. Похмурський В. І., Хома М. С., Білас І. В. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій : монографія. – Київ : Наукова думка, 1995. – 312 с.

20. Савченко Т. В. Втомна міцність сталей в умовах агресивних середовищ // Матеріали III Міжнародної конференції з матеріалознавства. – Харків: ХНУРЕ, 2020.
21. Сахненко М. Д., Красовський А. І., Ільяшов М. І. Основи теорії корозії та захисту металів : навчальний посібник. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – 376 с.
22. Стельмах М. А. Антикорозійні покриття в аграрному машинобудуванні. – Харків: ХНАМГ, 2003.
23. Рубаненко В. О. Антикорозійні властивості матеріалів для сільськогосподарської техніки. – Полтава: ПНТУ, 2010.
24. Трембач О. М. Підвищення зносостійкості деталей із сталі 110Г13Л зміцненням вибухом : дис. канд. техн. наук : 05.02.01. – Краматорськ, 2018.
25. Фальченко Ю. В., Дзюба С. Г., Нагану С. П. Лазерне зміцнення елементів машинобудівних конструкцій : монографія. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 396 с.
26. Федоренко О. С. Дослідження втомної міцності сталей в агресивних середовищах: проблеми та рішення // Механіка та матеріали. – 2022. – Т. 65, № 2.
27. Шиліна О. П., Клименко В. М. Практикум з конструкційних матеріалів : навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 643 с.