

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процеси, машини і обладнання

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

**ЗЕМБИЦЬКИЙ ВЛАДИСЛАВ ВАЛЕРІЙОВИЧ**

**УДК 631.3**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення надійності деталей сільськогосподарських машин,  
які працюють в умовах корозійно-активного середовища**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело \_\_\_\_\_ В.В. Зембицький

**Керівник роботи**

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Зембицький Владислав Валерійович. Підвищення надійності деталей сільськогосподарських машин, які працюють в умовах корозійно-активного середовища. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Висока інтенсивність і своєрідність руйнування поверхні металу при корозійно-механічному зношуванні в агресивних сільськогосподарських середовищах вказують на перебіг в зоні контакту специфічних структурних змін. Розрушення поверхневого шару металу обумовлено особливим станом вільної поверхні і специфікою стану джерел дислокацій в умовах зношування.

Як конструкційний матеріал для деталей сільськогосподарських машин, що працюють в корозійно-активних середовищах, застосовуються доєвтектоїдні сталі, зносостійкість яких залежить головним чином від вмісту в них перліту.

Аналізуючи результати досліджень зносостійкості сталей і чавунів в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах, можна зробити висновок, що при зношуванні в середовищах високої хімічної активності швидкість процесу визначається головним чином умовами утворення і міцністю вторинних структур. Зносостійкість в цьому випадку знаходиться в прямій залежності від корозійної стійкості. У середовищах з вельми високою абразивної здатністю зносостійкість сталей і чавунів визначається перш за все їх структурою.

*Ключові слова: зношування, надійність, добрива, робочі органи, сільськогосподарські машини*

## ANNOTATION

**Zembitsky Vladislav Valerievich. Improving the reliability of parts of agricultural machinery operating in a corrosive environment. – Qualification work on the rights of the manuscript.**

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The high intensity and originality of the destruction of the metal surface during corrosion and mechanical wear in aggressive agricultural environments indicate the course in the contact zone of specific structural changes. The destruction of the surface layer of the metal is due to the special state of the free surface and the specifics of the state of the sources of dislocations under conditions of wear.

Pre-eutectoid steels are used as a structural material for parts of agricultural machines operating in corrosive media, the wear resistance of which depends mainly on the content of perlite in them.

Analyzing the results of studies of wear resistance of steels and cast irons in corrosive agricultural environments, we can conclude that the wear rate in environments of high chemical activity is determined mainly by the conditions of formation and strength of secondary structures. Wear resistance in this case is directly dependent on corrosion resistance. In environments with very high abrasive ability, the wear resistance of steels and cast irons is determined primarily by their structure.

*Key words: wear, reliability, fertilizers, working bodies, agricultural machines*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗНОШУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	8
РОЗДІЛ 2. СПІЛЬНІ ПРОЦЕСИ ТЕРТЯ І КОРОЗІЇ ПРИ ЗНОШУВАННІ МЕТАЛІВ В КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....	18
РОЗДІЛ 3. ВИПРОБУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНЕ ЗНОШУВАННЯ.....	23
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

## ВСТУП

Довговічність сільськогосподарської техніки, що працює в контакті з корозійно-активними середовищами, в значній мірі визначається зношуваючою здатністю цих середовищ. При зносі деталей машин в поверхневих шарах металу під впливом зовнішніх механічних впливів, хімічно активного середовища, а також теплоти тертя виникають і отримують розвиток різні фізичні, хімічні та механічні процеси: окислення, утворення і руйнування продуктів взаємодії металу із середовищем, абразивні і втомні руйнування, один з яких в залежності від комплексу умов зношування стає провідним.

Абразивна здатність і хімічна активність корозійно-активних сільськогосподарських середовищ коливається в значно ширших межах, тому різний механізм їх зношування. Наприклад, при зношуванні в фосфоритному борошні, що володіє високою твердістю частинок і малою хімічною активністю, провідним має бути абразивне зношування. При терті в сульфаті амонію - середовищі високої хімічної активності і низькою абразивною здатності - переважають корозійно-механічні процеси.

При вирішенні інженерних задач, пов'язаних з розрахунком оптимальних конструктивних параметрів сільськогосподарських машин і раціональним вибором матеріалів для робочих органів, в першу чергу повинні враховуватися зношувана здатність середовищ і механізм зношування.

Використання розрахункових методів прогнозування довговічності машин з урахуванням зношування здатності сільськогосподарських середовищ дозволяє:

- скоротити обсяг випробувань на надійність, замінивши їх аналітичними розрахунками:
- прискорити проектування нових машин, так як вже на цій стадії можна буде вибрати оптимальні варіанти конструкції з точки зору зносостійкості деталей;

- заздалегідь правильно виявити номенклатуру і кількість необхідних запасних частин.

**Мета і задачі дослідження.** Мета досліджень підвищити надійність деталей сільськогосподарських машин, які працюють в умовах корозійно-активного середовища за рахунок вибору оптимальних властивостей матеріалів для виготовлення деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати зношувану здатність корозійно-активних середовищ
- Розробити методику досліджень;
- Провести лабораторні дослідження.

**Об'єкт дослідження:** процес зношування деталей сільськогосподарських машин, які працюють в умовах корозійно-активного середовища

**Предмет дослідження:** закономірності зміни триботехнічних характеристик матеріалів, які піддаються зношуванню в корозійно-активних середовищах.

**Методи дослідження.** Досліджено виконано з використанням методів механіки, електронної мікроскопії та прикладної фізики. Обробку експериментальних методів виконували із застосуванням математичної статистики, методики планування та обробки експерименту за допомогою прикладних програм на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Зембицький В. В.** Зношувана здатність корозійно-активних середовищ. Збірник тез *V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 288.

2. **Зембицький В. В.** Спільні процеси тертя і корозії при зношуванні металів в корозійно-активних середовищах. Збірник тез *VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку*

конструкції та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 205-206.

3. Грабар І. Г., **Зембицький В. В.**, Сичевський В. М., Швагро М. В., Курис І. М., Шиханцов М. В. Рідинно-абразивне зношування деталей сільськогосподарських машин. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 122-124.

4. Грабар І. Г., **Зембицький В. В.**, Сичевський В. М., Швагро М. В., Курис І. М. Зношувальна здатність мінеральних добрив. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 49-50.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути впроваджені в ремонтних майстернях аграрних підприємств при експлуатації ремонті, виготовлені і зміцненні робочих органів сільськогосподарських машин, які працюють в умовах корозійно-активного середовища.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменування. Загальний обсяг роботи становить 42 сторінки комп'ютерного тексту містить 6 таблиць і 9 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### ЗНОШУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

При експлуатації сільськогосподарських машин обов'язково виникають зупинки, під час яких при наявності хімічно-активних речовин інтенсивно протікають корозійні процеси на зношуються поверхні, що призводить до збільшення загального зносу деталей. Тому дослідження зношеної здатності корозійно-активних сільськогосподарських середовищ необхідно проводити при терті з зупинками [1-4].

Розрахунки показали, що середня тривалість безперервної роботи, наприклад, агрегату для внесення мінеральних добрив для умов України становить 3,5 хв, а середня тривалість подальшої зупинки - 2,2 хв. Такий режим тертя і був прийнятий і в наших дослідженнях [5-9].

У табл. 1.1 представлені результати досліджень зношування спроможності мінеральних добрив при відповідній агротехнічній вимогам вологості. Дослідження проводили на установці типу «Крильчатка», переривчастість тертя в якій підтримується автоматично. У вільно насипаної масі добрив одночасно зношується два зразка розміром 1,5 x 40 x 50 мм при швидкості обертання близько 1 м / с і куті атаки 30 °. Після кожного досвіду добрива замінювали. Знос визначали гравіметрично на аналітичних вагах з точністю 0,1 мг.

Зношуються здатність мінеральних добрив характеризується відповідним коефіцієнтом, що дорівнює відношенню швидкостей зношування в даному і еталонному добривах. В якості еталонного добрива прийнята сечовина, інтенсивність зношування в якій найменша .

Як видно з табл. 1.1, коефіцієнти при терті з зупинками в хімічно-активних добривах вище, ніж при безперервному зношуванні. Зворотне явище спостерігається при зношуванні в фосфоритному борошні, що володіє низькою корозійною активністю і значною абразивною здатністю. Це вказує на



відмінність в механізмі зношування в середовищах високої і малої хімічної активності і абразивною здатності. А від цього залежать вибір матеріалів для виготовлення деталей робочих органів і конкретні методи підвищення їх зносостійкості [7].

Таблиця 1.1 – Ряд зношується здатності мінеральних і органічних добрив (по відношенню до сталі Ст. 5)

Вид добрива	Коефіцієнт зношеної здатності	
	при терті з зупинками	при безперервному терті
Сечовина	1,0	1,0
Нітрофоска	2,3	1,8
Складно-змішане гранульоване добриво	7,5	6,3
Торфожіжевой компост	7,8	6,2
Сильвініт	8,0	6,2
Жижа свиней	8,8	7,4
Суперфосфат подвійний	11,0	10,8
Гній свиней на солом'яній підстилці	12,2	11,3
Аміачна селітра	14,7	12,1
Суперфосфат гранульований	15,8	13,9
Суперфосфат простий	15,9	14,9
Сульфат амонію	18,8	14,7
Фосфоритне борошно	22,6	23,6

Відомо, що корозійно-активні середовища істотно впливають на дислокаційну структуру деформованих твердих тіл. В електролітах тверді тіла покриваються адсорбційними і бар'єрними шарами, плівками вторинних структур, що підвищують їхню енергію активації і межа плинності. Це явище пояснюється заліковуванням субмікроскопічних тріщин при утворенні оксидів і труднощами відображення або виходу дислокацій на поверхню [9-16].

При механічному зношуванні метал зазвичай руйнується після видалення плівок оксидів. Тому, на думку багатьох дослідників, вторинні структури екранують поверхні, що труться, поділяють і захищають їх від пошкоджень. Відзначаючи важливе значення механічних властивостей плівок вторинних

структур, слід зазначити, що інтенсивність корозійно-механічного зношування металів визначається швидкістю утворення і видалення плівок з поверхонь тертя. Якщо утворюються при зношуванні плівки мають більш високі механічні характеристики, ніж основний метал, то вони підвищують зносостійкість останнього. При наявності вторинних структур, які слабкіше металу, спостерігається зворотне явище - зниження зносостійкості.

Відповідно до енергетичної теорії тертя зносостійкість металів визначається їх здатністю акумулювати енергію деформації. Тому зносостійкість залежить в основному від деконцентрації напружень в поверхневих шарах, що характеризується ступенем їх локалізації і рівнем в окремих мікрооб'ємах, а також швидкістю накопичення. Розвиток процесів корозійно-механічного зношування металів визначається не тільки механічними властивостями плівок вторинних структур, але і фізико-хімічними змінами, що відбуваються на сполучених поверхнях в результаті адсорбції і окислення.

Вода як полярна рідина, адсорбується на поверхні твердих тіл, викликає їх пластифікацію. Це пояснюється полегшенням виходу дислокацій на поверхню твердого тіла, а також зародженням і генерацією поверхневих джерел дислокацій внаслідок зниження поверхневого потенційного бар'єру. Надалі відбувається корозійне руйнування поверхні з утворенням плівок вторинних структур, які зазвичай підвищують здатність металів адсорбувати поверхнево-активні речовини [7-9].

Дослідження абсорбційних процесів показують, що хімосорбіровані шари термодинамічно більш стійкі, а швидкість їх утворення вище, ніж у адсорбованих шарів і хімічних сполук. Тому можна припустити, що при зношуванні в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах на поверхнях тертя найбільш ймовірними є процеси хімосорбції і подальшого твердофазної хімічної взаємодії.

Таким чином, корозійно-механічне зношування металів може бути визначено як співвідношенням швидкостей руйнування і освіти плівок вторинних структур, так і зміною їх поверхневої енергії в результаті хімосорбції і подальших корозійних процесів. Наслідком цього є зміна кінетики електродних і дифузійних процесів, структурні і фазові перетворення в поверхневих шарах.

При зношуванні металу в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах утворюються неміцні вторинні структури, що складаються переважно з солей невисокою механічною міцністю, тому зносостійкість конструкційних сталей тут вельми низька. Результати досліджень показали, що при зношуванні в цих середовищах велику роль відіграють фактори протікання корозійних процесів. Двофазна фрикційна система (метал - електроліт) може розглядатися як специфічна електрохімічна пара, до якої застосовні відповідні закони і методи досліджень. При зношуванні в цих умовах механізм тертя і дії середовища багато в чому залежить від електродних потенціалів металу і будови подвійних електричних шарів, які виникають при контакті металевої поверхні з електролітом на кордоні розділу фаз. При терті металу в середовищі вологих мінеральних добрив коефіцієнт тертя і величина зносу залежать від наявності адсорбційних і фазових плівок, утворення яких в значній мірі визначається електродним потенціалом. У свою чергу, тертя, що супроводжується механічним руйнуванням плівок і оновленням поверхні, значно впливає на електрохімічні явища. Зв'язок процесу зношування і електрохімічних явищ в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах вивчена недостатньо. У роботах, присвячених вивченню тертя металів в хімічно агресивних середовищах, відзначається провідна роль корозійно-механічного зношування і показано, що швидкість утворення і руйнування плівок вторинних структур можна характеризувати зміною величини електродних потенціалів.

Вплив поляризації фрикційної системи та механічні характеристики (знос і мікротвердість поверхні) при зношуванні в середовищі мінеральних добрив вивчали на установці для виміру електродних потенціалів і зняття поляризаційних кривих при терті в сипучій масі. Мікротвердість заміряли на приладі ПМТ-3, знос визначали гравіметрично на аналітичних вагах з точністю 0,0001 р

Перед початком досвіду вимірювали стаціонарні електродні потенціали і знімали катодні і анодні поляризовані криві без наявності тертя. Потім виробляли зношування з одночасним вимірюванням електродних потенціалів і зняттям поляризованих кривих в динаміці. Кожен досвід тривав протягом певного проміжку часу. Задане значення потенціалу при цьому підтримувалося потенціостатом.

Процеси тертя в корозійно-активних середовищах значно полегшують катодні вирішення внаслідок перемішування середовища і звільнення металу від плівок вторинних структур. На рис. 1.1 видно, що поляризованість сталі 45 в сильвініті при зношуванні набагато менше, ніж в спокійному стані.

Результати досліджень показали (рис. 1.2), що в середовищах високу корозійну активність (сульфат амонію, нітрофоска) з початком зношування (час 60 хв.) спостерігається різкий стрибок потенціалу. Зсув останнього в негативну сторону свідчить про переважання процесів руйнування над процесами утворення вторинних структур. При подальшому терті (до 100 хв.) відбувається поступова стабілізація потенціалу, що вказує на динамічну рівновагу процесів зношування та формування поверхневих плівок. На рис. 1.3, а видно, що поверхню зношених в нітрофоски зразків стали Ст. 3 складається з окисних плівок без видимих слідів механічного руйнування, що підтверджується облагороджуванням потенціалу (див. рис. 1.1).

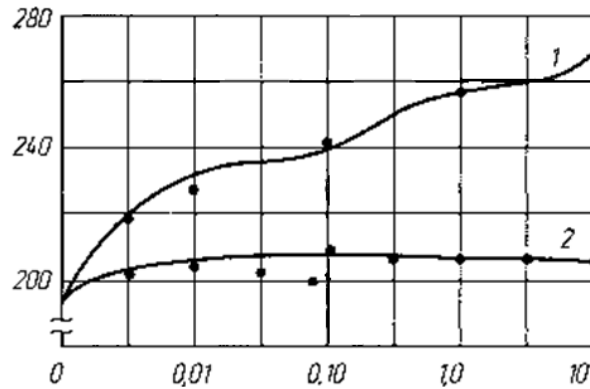


Рисунок 1.1. Катодна поляризація сталі 45: 1 – в сильвініті в спокійному стані; 2 – при зносу [7].

При випробуванні в корозійно-неактивному фосфоритному борошні зміщення потенціалу на початку зношування дуже незначне, що свідчить про відсутність корозійного чинника в процесі руйнування поверхні.

Про це ж можна судити, розглядаючи мікрофотографію зношеної поверхні (рис. 1.3, б). Тут явно видно відсутність плівок вторинних структур і наявність слідів механічного зносу.

Таким чином, результати досліджень показали, що корозійно-механічне зношування вуглецевих сталей в агресивних сільськогосподарських середовищах є електрохімічним процесом і підпорядковується закономірностям пластичного і пружного передформуванням відповідно до молекулярно-механічної теорії тертя: інтенсивність зношування характеризується наявністю і швидкістю відтворення структур і їх властивості до передформуванню.

Зміни фізико-хімічних і механічних властивостей зовнішніх шарів деталей машин при зношуванні залежать як від хімічного складу і структури самого металу, так і від зовнішніх умов тертя (тиск, швидкість, температура, середовище та ін.).

Навантаження при зношуванні, змінюючи умови деформування зовнішніх шарів, робить сильний вплив на інтенсивність теплоутворення і розвиток дифузійних і окислювальних процесів. Для розуміння фізичної природи зношування деталей машин в корозійно-активних

сільськогосподарських середовищах вельми важливо знати характер зміни властивостей по поверхневих шарах при зміні навантаження.

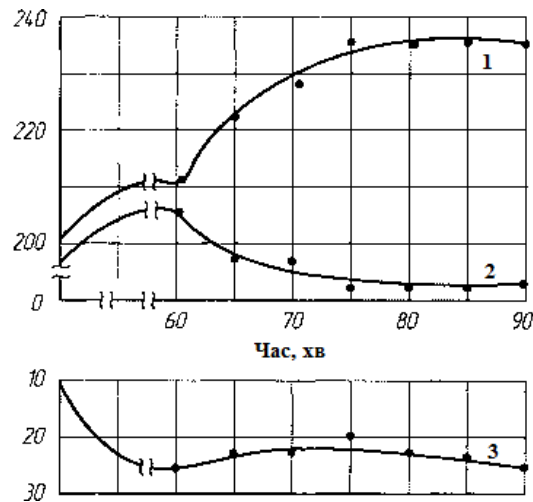


Рис. 1.2. Зміна потенціалу сталі Ст.3 при зношуванні в вільній масі добрив: 1 - сульфат амонію; 2 - нітроамофоска; 3 - фосфатне борошно [12].

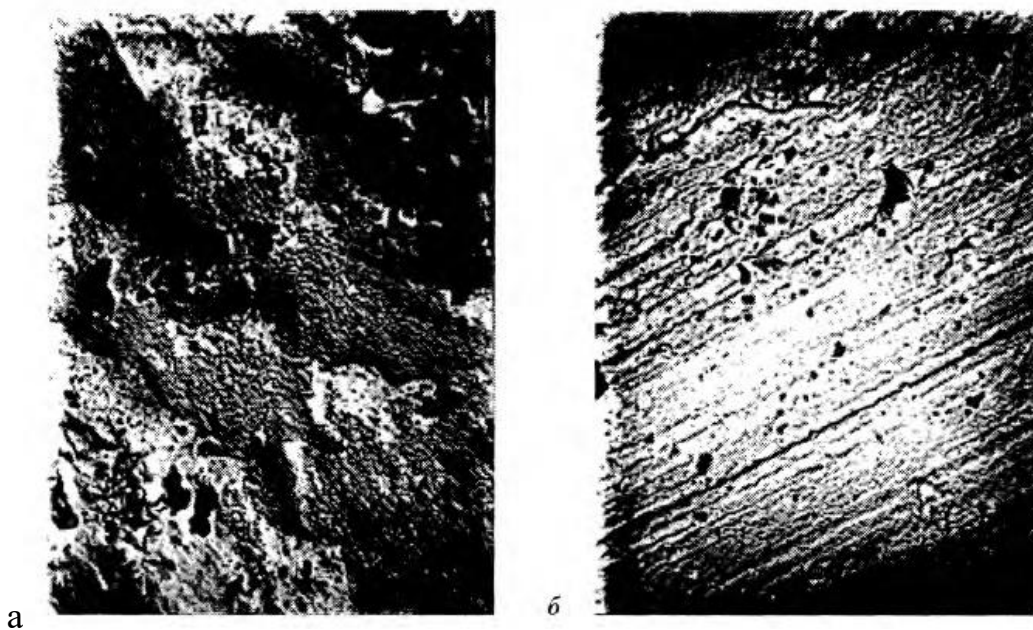


Рис. 1.3. Поверхня зразків зі сталі Ст.3, зношених в нітроамофосці (а) і фосфоритному борошні (б) [2-6].

Наявні в даний час теоретичні та експериментальні дослідження показують, що при терті в залежності від умов навантаження і середовища здійснюються два режими зношування: нормальний і патологічний, при цьому сили тертя і швидкості зносу в цих режимах відрізняються на порядок. При патологічних режимах в зоні тертя можуть відбуватися найрізноманітніші

процеси мікроскопічної пошкоджуваності (змінання, зварювання і т.п.). Нормальний режим характеризується протіканням строго визначених механічних і фізико-хімічних процесів, локалізованих в тонких поверхневих шарах. При цьому відбувається динамічна рівновага процесів руйнування і відновлення вторинних структур, що призводить до метастабільного стану поверхонь тертя. Мікроскопічно мала товщина плівок (порядку сотень ангстрем), в яких відбуваються процеси зношування, не дозволяє проводити дослідження на рівні мікроскопічних уявлень [1-18].

Проведені раніше дослідження показали, що при зношуванні в вільній абразивній масі спостерігається невелике відхилення прямолінійної залежності швидкості зношування від навантаження. Це пояснюється тим, що зі зміною тиску на поверхні тертя змінюється також швидкість відносного ковзання частинок, тобто шлях тертя за одне і те ж час при різних навантаженнях буде різний, від чого порушується прямолінійна залежність між зносом і тиском. При зношуванні в добривах малої сипучості, таких як сільвініт і аміачна селітра, відхилення від прямолінійної залежності між зносом і тиском мало помітно.

Аналіз цих даних, а також інших робіт по корозійно-механічному зношуванні показав, що до теперішнього часу немає досліджень, які відображають роль корозійного чинника зі зміною навантаження. вивчення цієї залежності має практичне значення для вибору матеріалів робочих органів в конкретних умовах роботи.

Методика визначення частки корозійного чинника при різних навантаженнях ґрунтується на порівнянні швидкості зношування при терті в корозійно-активному і нейтральному середовищах при однаковому абразивному впливі.

Досліди проводили в кварцовому піску, зволоженому в одному випадку насиченим розчином мінерального добрива, а в іншому – дистильованою водою. Стосовно швидкості зношування в корозійно-активному середовищі до

швидкості зношування в нейтральному середовищі можна судити про корозійному факторі при даному навантаженні: чим більше цей показник, тим сильніше вплив корозійних процесів при зношуванні даним навантаженням.

Дослідження проводили на лабораторній установці типу «гільза» за методикою. Знос за час випробувань оцінювали гравіметричним способом на аналітичних вагах з точністю 0,1 мг.

Попередні досліди дозволили встановити оптимальну вологість піску рівну 8%. Максимальне навантаження обмежувалася 0,18 МПа, так як при подальшому збільшенні відбувалося сильне нагрівання зношуваного зразка.

Слід зазначити, що підвищення температури збільшує швидкість протікання корозійних процесів і тим самим порушує умови експерименту.

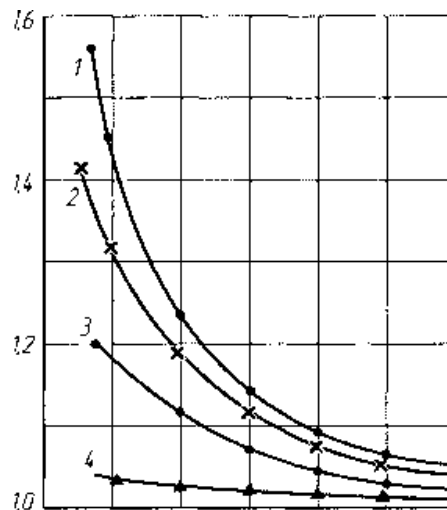


Рисунок. 1.4. Вплив тиску на корозійний фактор при зношуванні в кварцовому піску, зволоженому розчинами мінеральних добрив: 1 – аміачна селітра; 2 – сульфат амонію; 3 – сильвініт; 4 – вода

Результати досліджень показали, що зі збільшенням навантаження вплив корозійного чинника в спільному корозійно-механічному зношуванні зменшується за класичною показовою функції (рис. 1.4):

$$K_{\phi} = a_1 e^{a_2 P} \quad (1.1)$$

де -  $K_{\phi}$  - корозійний фактор;  $P$  - навантаження, МПа;  $a_1, a_2$  – коефіцієнти пропорційності (табл. 1.2).



Таблиця 1.2 Значення коефіцієнтів  $a_1$ ,  $a_2$ 

Зносостійке середовище	$a_1$	$a_2$
Аміачна селітра	1,49	-2,48
Сульфат амонію	1,36	-1,93
Сильвініт	1,22	-1,19
Вода	1,04	-0,21

Такий характер протікання залежності корозійного чинника від навантаження пояснюється різним механізмом зношування. При малих тисках знос в корозійно-активних середовищах відбувається за рахунок утворення і руйнування плівки продуктів корозії не на всю глибину. При навантаженні вище 1 МПа відбувається повне руйнування вторинних структур і частково зношування самого металу. Це положення підтверджується дослідженнями на електронному мікроскопі. Поверхня сталі 45, зношена в сильвініті при навантаженні 0,03 МПа, не має подряпин, видно тільки сліди корозії. На поверхні ж, зношення при тиску 0,15 МПа, спостерігаються ризики і подряпини - явні сліди механічної дії абразивних частинок.

### **Висновок по розділу 1**

При терті сталей безпосередньо в сипучих мінеральних добривах зберігається залежність впливу навантаження на корозійний фактор, але в менш вираженому вигляді, так як абразивну дію частинок туків набагато нижче, ніж кварцового піску.

## РОЗДІЛ 2

### СПІЛЬНІ ПРОЦЕСИ ТЕРТЯ І КОРОЗІЇ ПРИ ЗНОШУВАННІ МЕТАЛІВ В КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Питання тертя і зношування займають одне з центральних місць в загальній проблемі надійності сільськогосподарської техніки, що працює в корозійно-активних середовищах. Під час експлуатації машин в результаті зносу при одночасній дії зовнішнього середовища і навантажень змінюються розміри і геометричні характеристики, структура, властивості і напружений стан поверхневих шарів деталей і робочих органів.

На жаль, якщо основні уявлення загальної теорії тертя і зносу в останні десятиліття висвітлені в літературі досить ґрунтовно, то питання зношування матеріалів в корозійно-активних середовищах ще тільки починають привертати до себе увагу. Нечисленні роботи в цьому напрямку містять в основному або дані по підбору пар тертя в тому чи іншому середовищі, або представляють собою окремі спостереження окремих випадків експериментів.

Наявність корозійно-активного середовища на металевих поверхнях тертя обумовлює виникнення специфічного виду їх руйнування, що отримав назву «механохімічний». Під цим видом зношування металів і сплавів зазвичай розуміється руйнування поверхонь тертя під дією двох одночасно протікаючих процесів: хімічного (або електрохімічного) взаємодії металу з навколишнім середовищем і механічного руйнування продуктів цієї взаємодії.

Виходячи з механізму корозійних явищ, з якими може бути пов'язане тертя, слід розглядати окремо два різновиди процесу механохімічного зношування:

1) при протіканні його в умовах хімічної взаємодії металу з навколишнім середовищем (наприклад, при терті в присутності рідин неелектролітів або в газовому середовищі);

2) при протіканні його в умовах електрохімічної взаємодії металу з навколишнім середовищем (наприклад, при терті в присутності рідин електrolітів - розчинів кислот, лугів, солей).

Ці два різновиди механохімічного зношування доцільно розглядати окремо, так як різний механізм і закономірності їх протікання. Вплив окислення поверхонь тертя на величину зносу в газовому середовищі або в присутності рідин неелектrolітів абсолютно протилежну впливу електрохімічної корозії.

Численними дослідженнями Б. І. Костецького [7] встановлено, що при окислювальному зношуванні в області сухого і граничного тертя величина зносу значно менше, ніж при інших видах зношування. Це пояснюється тим, що в середовищі окислення газів зношувався не сам метал, а його оксиди, які мали більш високу міцність.

Зовсім інші результати виходять при спільній дії тертя і електрохімічній корозії. Дослідження Н. Д. Томашова [3] показало, що електрохімічна корозія при постійному доступі досить сильних електrolітів значно прискорює руйнування поверхонь тертя. При цьому безперервне руйнування продуктів електрохімічної корозії обумовлює велику швидкість взаємодії металу з навколишнім середовищем.

У корозійно-активних середовищах втрата маси при терті з зупинками набагато більше, ніж за той же час при безперервному терті або сумарної втрати маси при терті без зупинок і корозії. На зношеній поверхні немає слідів механічного зносу (рис. 2.1 а). При зношуванні ж в кварцовому піску, де корозійний вплив відсутній, втрата маси при терті з зупинками і без зупинок практично однакова, на зношеній поверхні явно видно сліди механічного зносу (рис. 2.1, б).

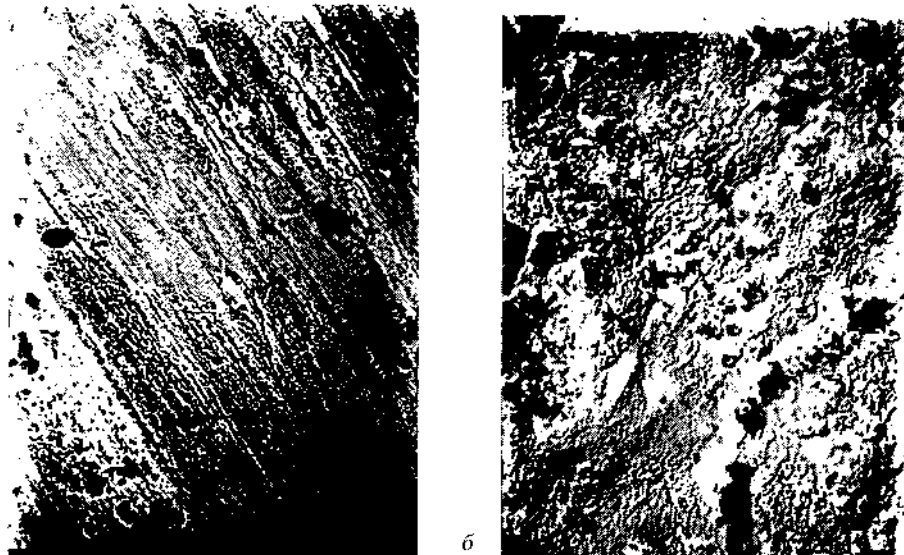


Рис. 2.1. Поверхня зразків зі сталі 45, зношених в сульфаті амонію (а) і кварцовому піску (б). Електронна мікрофотографія зношених поверхонь при збільшенні у 8000 разів

Всі наведені приклади вказують на те, що електрохімічна корозія, на відміну від хімічного впливу матеріалу і середовища, значно прискорює процес зношування металевих поверхонь. Численними дослідженнями відзначається, що різний вплив хімічної взаємодії і електрохімічної корозії на величину зносу обумовлений неоднаковими станами поверхневих шарів металу. При окислювальному зношуванні в газовому середовищі спостерігається пластична деформація поверхневих шарів металу і підвищення твердості. При терті з наявністю електрохімічної корозії ці явища не спостерігаються.

У сільськогосподарському виробництві завдяки стрімкому розвитку хімізації безперервно збільшується число машин, які працюють безпосередньо в корозійно-активних середовищах (електролітах): мінеральних і органічних добривах, гербіцидах, пестицидах і т.д. Зношування робочих органів в цих середовищах можна назвати корозійно-механічними, так як воно відбувається при наявності електрохімічної корозії. За ДСТУ корозійно-механічне зношування визначається як зношування при терті матеріалу, який вступив в хімічну взаємодію з середовищем.

Питання про доцільність розгляду корозійно-механічного зношування як самостійної форми руйнування металевих поверхонь тертя представляє не тільки теоретичний інтерес з точки зору класифікації видів зносу деталей машин. Від підходу до цього питання і перш за все від підходу до доцільності розмежування механічного та корозійного факторів в процесі зносу багато в чому залежить вибір конкретних методів підвищення зносостійкості поверхонь тертя, що знаходяться під одночасною дією цих факторів.

Питання це досить складний. Є, щонайменше, дві обставини, що перешкоджають однозначному його рішенням.

Перше - це те, що в даний час при дослідженні зношуваних здібностей середовищ і зносостійкості матеріалів найбільш розроблена механічна сторона явищ; а фізичні уявлення в більшості випадків суперечливі або недостатні, хімічні ж явища ще менш вивчені. А без цього неможливо досить достовірно описати спільний ефект тертя і корозії.

Відомо, що швидкість утворення окисних плівок на поверхні металу визначається величиною зміни вільної енергії при переході металу в іонний стан. Однак, хоча і є дані про зміну вільної енергії металів в реакціях окислення, обчислення дійсних швидкостей освіти окисних плівок ускладнюється тим, що в реальних умовах швидкість процесу окислювання не знаходиться в простому відношенні до величини зміни вільної енергії. Деякі автори вважають швидкість утворення первинних окисних плівок настільки великою, що при кімнатній температурі вона не піддається дослідженню за допомогою сучасного лабораторного обладнання.

Другою обставиною є відсутність достатньої кількості проведених за єдиною методикою лабораторних експериментів і даних спостережень за характером і закономірностями корозійно-механічного через зношування деталей машин в різних умовах експлуатації. Створення методики, що поєднує оцінку величини матеріальних втрат з металознавчими дослідженнями поверхневих шарів металу і вивченням кінетики і динаміки електродних

процесів, що протікають на поверхні тертя, набагато прискорить вирішення багатьох теоретичних і практичних питань, пов'язаних з корозійно-механічним спрацюванням металів і сплавів.

Оцінюючи роботи з дослідження корозійно-механічного зношування, слід зазначити, що в цьому напрямку зроблені тільки перші кроки. Сам механізм процесу представляється лише в загальних рисах, без детальної розробки впливу електрохімічної корозії, ролі адсорбційних процесів, дислокацій і т.д.

Проблема підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарських машин, що працюють в корозійно-активних середовищах, стосовно до вимог технічного прогресу потребує подальшого розвитку досліджень, а в області тертя і зношування, методів розрахунку машин на знос - в створенні нових методик і засобів випробувань. Для вирішення цих завдань необхідний комплексний підхід із залученням сучасних досягнень матеріалознавства, досліджень фізико-хімічних процесів на поверхнях тертя, а також розробка теорії моделювання процесів зношування в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах на базі широких досліджень.

Таким чином, корозійно-механічне зношування деталей сільськогосподарських машин слід розглядати як самостійну форму руйнування металевих поверхонь тертя. Основний шлях вивчення його закономірностей - шлях експерименту. Узагальнення дослідних даних призводить до отримання ряду залежностей між властивостями матеріалу і умовами його роботи. Засновані на експерименті феноменологічні залежності служать для керівництва в інженерній практиці.

## **Висновок по розділу 2**

В другому розділі магістерської роботи розглянуто спільні процеси тертя і корозії при зношуванні металів в сільськогосподарських корозійно-активних середовищах

### РОЗДІЛ 3

## ВИПРОБУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНЕ ЗНОШУВАННЯ

Наявність корозійно-механічного зносу визначається за допомогою фізичних методів дослідження зношеної поверхні. Ці методи трудомісткі, вимагають складних, дорогих приладів, спеціально підготовлених працівників. Спосіб виявлення ролі корозійного чинника при корозійно-механічному зношенні взагалі невідомий.

Нами розроблена методика визначення корозійно-механічного зношування і ролі корозійного чинника заснована на порівнянні швидкості зношування при безперервному терті і терті з зупинками. Зупинки створюють умови для багаторазового утворення і руйнування окисних плівок, властивості міцності яких відрізняються від основного металу. Чим більша різниця в швидкості зношування, тим більшою мірою воно визначається корозійними процесами, що протікають на поверхні тертя.

У разі відсутності корозійно-механічного зношування швидкість зношування однакова при терті з зупинками і без них, так як тут окисні плівки не утворюються, а зношується основний метал.

Таким чином, при терті з перервами можливе утворення більш-менш міцних в порівнянні з основним металом окисних плівок. Якщо плівки утворюються під час перерв, то при терті умови для їх утворення поліпшуються внаслідок зменшення можливості пасивації.

У досліджах використовували сталь 45: чисту корозію; при безперервному терті, коли корозійний вплив середовища обмежений; при терті з зупинками, коли створюються умови для багаторазового утворення і руйнування плівок продуктів взаємодії сталі і середовища (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. – Порівняльні дані втрати маси при зношуванні з перервами і без зупинок, г / (м<sup>2</sup> год).

Середовище	Втрати маси			
	при корозії	при терті без зупинок	сумарна	при терті з зупинками *
Хлористий калій	0,07	0,80	0,87	1,14
Аміачна селітра	0,12	5,35	5,47	8,19
Сульфат амонію	0,21	3,45	3,66	6,74
Кварцовий пісок	-	6,22	6,22	6,39

\* Режим досліджень при терті з зупинками: 1 хв - зупинка; 1 хв - тертя.

З табл. 1.1 видно, що в агресивних середовищах найбільша втрата маси при терті з зупинками. При зношуванні в кварцовому піску, де корозійний вплив відсутній, втрати маси при терті з зупинками і без зупинок практично однакові.

Корозійну активність даного середовища при терті в ній даного матеріалу визначали за допомогою безрозмірної величини:

$$K_{mp} = \frac{i_n - i_n}{i_n}, \quad (2.1)$$

де  $i_n, i_n$  - швидкості зношування при перервному і безперервному терті.

Чим ближче значення  $K_{mp}$  наближається до нуля, тим менша роль корозійного фактора при корозійно-механічному зношуванні. При  $K_{mp} = 0$  зношування визначається тільки механічним фактором. Якщо  $K_{mp} < 0$ , це означає, що при терті утворюються окисні плівки більш зносостійкі, ніж основний метал.

Дослідження корозійно-механічного зношування сталей проводили на установці типу «крильчатка» (рис. 3.2). Переривчастість тертя можна задавати в двох режимах: ручному й автоматичному. Автоматичний режим забезпечується командним електропневматичним приладом КЭП-12У і реле часу ВС-10, спільна робота яких дозволяє змінювати тривалість тертя і зупинки від 30 с до 18 год з будь-яким інтервалом в межах цього часу, кратному 30 с.

Ведучий вал 3 приводиться в обертальний рух від електродвигуна змінного струму 1 через клинопасову передачу 2. За допомогою швидко-



рознімного пристосування провідний вал з'єднується з державкою 5, до важелів якої кріпляться два плоских зразка 7. При цьому чаша з добривом 6, діаметр якої 250 мм і висота 160 мм, отримує обертання в протилежному, ніж зразки, напрямку від виконавчого механізму 10 через

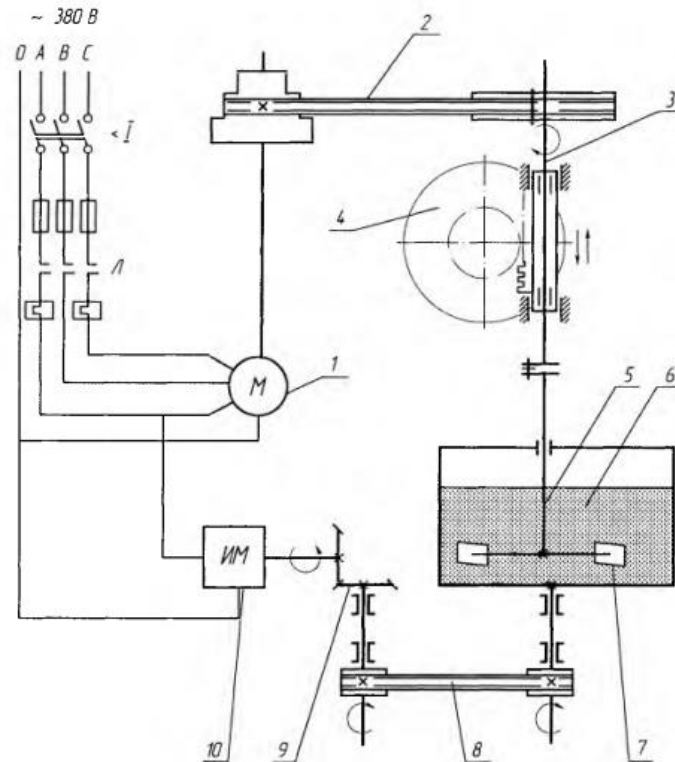


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки для дослідження корозійно-механічного зношування металів в мінеральних добривах: 1 – електродвигун; 2, 8 – клинопасова передача; 3, 4 – механізм вертикального переміщення зношувальних зразків; 5 – державка; 6 – зношувальне середовище; 7 – зношувальні зразки; 9 – конічна передача; 10 – виконавчий механізм конічну 9 і клинопасову 8 передачі. Слід зазначити, що швидкість обертання чаші може змінюватися установкою шківів різного діаметру. Для повного перемішування абразивного середовища осі обертання зразків і чаші не збігаються. Ексцентриситет можна змінювати від 0 до 60 мм. Занурення зразків на різну глибину чаші здійснюється за допомогою черв'ячного механізму 4. Кріплення плоских зразків до пластин державки 5 дозволяє змінювати кут атаки від 0 до 60° з інтервалом 15°.

Одночасно в вільно насипаній масі добрив зношуються два зразка, швидкість обертання яких близько 1 м/с. Обсяг різних добрив в чаші 6 однаковий. Зразки плоскі, шліфовані, розміром 1,5 x 40 x 50 мм. Нетерткові їх поверхні покривали епоксидною смолою. Перед випробуванням зразки опрацьовували в ідентичних умовах. Після випробувань їх очищали від залишків добрив, ретельно промивали водою і ацетоном, просушували. Знос визначали гравіметричним методом на аналітичних вагах з точністю до 0,1 мг. Повторність дослідів на одну точку 4-6 в залежності від їх стабільності. Точність експериментальних даних в межах 6%.

При зношуванні металів в корозійно-активних середовищах в зоні контакту відбувається руйнування і видалення окисних і адсорбованих плівок, що безперервно утворюються під дією навколишнього середовища. Від структури плівок вторинних структур залежить не тільки інтенсивність і характер зношування, а й міцність поверхневого шару третього металу. Так, якщо матричний метал і плівка мають різні параметри кристалічної решітки, то сітка дислокацій невідповідності перешкоджає їх виходу на поверхню, гальмує роботу підповерхневих джерел і тим самим збільшує його межу текучості. Суцільні плівки екранують поверхню, зменшують, а пористі підвищують інтенсивність корозійних процесів, так як є катодами по відношенню до ювенільних поверхонь. Аморфізовані плівки забезпечують позитивний градієнт механічних властивостей по глибині металу і служать своєрідним демпфером, що зменшує концентрацію напружень на поверхні. Тому висота мікрорельєфу, утвореного в процесі тертя, а також адгезійна і деформаційна складові сили тертя в цьому випадку невеликі. Утворення товстих плівок супроводжується виникненням під ними великих напруг, внаслідок чого на поверхні тертя з'являються значні мікросходинок у вигляді смуг ковзання. Збільшення висоти сходинок підвищує мікроконцентрацію напруг і швидкість деформації поверхні тертя. Зі збільшенням мікронерівностей зменшується частота і підвищується амплітуда контактних автоколивань. Повторні деформації викликають ще

більшу концентрацію напружень на поверхні тертя і підвищують її електрохімічну гетерогенність. Таким чином, при зношуванні в корозійно-активних середовищах на поверхнях, що труться одночасно протікають різні за своїм характером процеси, взаємно впливають і підсилюють один одного.

Виходячи із сучасних уявлень про корозійно-механічне зношуванні, в цьому розділі диференціюється весь комплекс явищ, що виникають при терті, досліджуються окремі впливові на них фактори в залежності від хімічного складу і властивостей агресивних сільськогосподарських середовищ, природи і структури металів, а також від характеру навантажень.

Властивості поверхневих плівок вторинних структур, швидкість їх відновлення і руйнування визначали за допомогою електронної мікроскопії і з електрохімічного потенціалу зразків при терті в робочому середовищі, а також за характером і величиною його після зношування.

При зіткненні металу з робочим середовищем на кордоні утворюється подвійний електричний шар, який призводить до встановлення різниці потенціалів між металом і електролітом. Плівки вторинних структур, що виникають на поверхні тертя, змінюють величину потенціалу в бік позитивних значень. Таким чином, значення електродного потенціалу характеризує всі зміни, які можуть спостерігатися з плівками як при корозійних процесах, так і при зношуванні.

При терті, коли плівка видаляється, електродний потенціал буде більш негативним. За абсолютним значенням він буде тим негативніший, чим менше опір плівки зрушення і чим нижче швидкість відтворення плівки. Величина електродного потенціалу залежить також від активності середовища, швидкості ковзання, навантаження і температури в зоні тертя. Так, зі збільшенням навантаження електродний потенціал поверхні тертя набуває все більш негативного значення наближаючись за своєю величиною до потенціалу поверхні звільненої від плівки. При досягненні цієї величини поряд з руйнуванням плівки вторинних структур має місце знос металу. Таким чином,

при корозійно-механічному зношуванні електродний потенціал поверхні тертя повинен бути позитивніше потенціалу металу звільненого від продуктів взаємодії з середовищем. Можна припустити, що зі зменшенням цієї різниці потенціалів швидкість корозійно-механічного зношування підвищується. Якщо плівки вторинних структур при зношуванні не руйнуються, то електродний потенціал в статичних умовах і при терті повинен бути однаковий. При механічному зношуванні в умовах малого впливу корозійних процесів потенціал при терті дорівнює потенціалу металу без плівки. Залежно від середовища і марки металу спостерігаються різні значення потенціалів на поверхні тертя і металі вільному від плівок вторинних структур. Отже, значення потенціалу для корозійно-механічного зношування є такою ж величиною, якою, наприклад, при оцінці механічних властивостей металу є величина твердості або значення тимчасового опору.

Взаємозв'язок механічних і електрохімічних параметрів при терті встановлюється широко відомим в електрохімії потенціостатичним методом. З його допомогою можна оцінити роль електродного потенціалу в поведінці металів при пасивації, схильності металів і сплавів до корозії. Зняттям поляризаційних кривих в статиці і динаміці можна отримати інформацію про кінетику електрохімічних процесів при терті матеріалів в різних середовищах. Величина зсуву поляризації характеризує електродні процеси, дозволяє дати кількісну оцінку ступеня їх гальмування окремими ступенями.

Таким чином, методика електрохімічних досліджень при корозійно-механічному зношуванні матеріалів в агресивних сільськогосподарських середовищах повинна включати: вимір електродних потенціалів і зняття поляризаційних кривих в статиці і динаміці; виявлення на них характерних областей потенціалів (анодного розчинення, пасивації і ін.); оцінку величини зсуву стаціонарних потенціалів і поляризаційних кривих, знятих при терті і в спокої; визначення впливу характерних потенціалів на механічні параметри процесу тертя.

Дослідження проводили на спеціально виготовленій установці (рис. 3.3).

Зразок 5, з якого знімається електродний потенціал, навертається на текстолітовий вал 3. Крутний момент передається на цей вал від двигуна постійного струму М через шестеренку і ремінну передачі. Це дозволяє змінювати в широких межах частоту обертання зразка, який треться об абразивну масу насипану в стакан 6 з органічного скла. Тиск на поверхні зразка можна змінювати за допомогою змінних вантажів 4. Контакт абразивної маси з насиченим хлорсрібним електродом 8 досягається за допомогою гумової трубки 7, наповненою вологим кварцовим піском. Електроди порівняння 8 і допоміжний 9 з'єднані з потенціостатом П-5827П. Досліджуваний зразок 5 через провідник 2, вмонтований в вал і ртутний струмознімач 1 також з'єднані з потенціостатом. Показання приладу записуються на самописний потенціометр С. Вся установка змонтована на рамі виконаної з текстолітової плити.

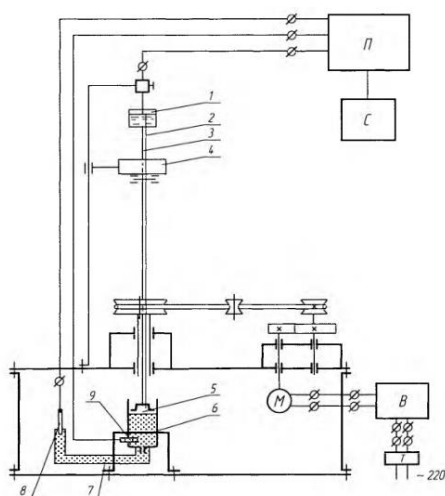


Рис. 3.3. Схема експериментальної установки для електрохімічних вимірювань при зношуванні в мінеральних і органічних добривах: 1 – ртутний струмознімач; 2 – провідник; 3 – вал; 4 - вантаж; 5 - зношувальний зразок; 6 – стакан з корозійно-активним середовищем; 7 – трубка з агаром; 8 – хлорсрібний електрод порівняння; 9 – допоміжний електрод; В - випрямляч; С – самописний потенціометр; П - потенціостат; М- електродвигун; Т – трансформатор.

Вимірювані величини електродного потенціалу перераховували по відношенню до нормального водневого напівелемента.

Зносостійкість визначається як властивість матеріалу чинити опір зношування в певних умовах тертя. В даний час є велика кількість різних за складом і якістю марок вуглецевих сталей. Про їх властивості та призначення є відомості у відповідній довідковій літературі. Однак в цих джерелах відсутні будь-які дані про опірності цих сталей корозійно-механічному зношуванню в агресивних сільськогосподарських середовищах.

Зносостійкість не є абсолютною характеристикою матеріалу, в залежності від умов зношування вона змінюється. Вуглецеві сталі мають різну структуру і властивості, які в тій чи іншій мірі відображають їх здатність чинити опір корозійно-механічному зношуванню. Однак при руйнуванні металу в мікрооб'ємах спостерігається велика неоднорідність і усереднені механічні характеристики виявляються непридатними для оцінки зносостійкості при зношуванні в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах. Тому для правильного вибору конструкційного матеріалу необхідно проводити лабораторні та експлуатаційні дослідження зносостійкості в цих середовищах.

Результати досліджень показали (табл. 3.2), що швидкість зношування сталі звичайної якості Ст. 3 нижче якісних конструкційних - 45 і 50 в добривах високу корозійну активність (аміачна селітра, сульфат амонію). Це пояснюється тим, що внаслідок більшого вмісту вуглецю плівки вторинних структур на сталях 45 і 50 утворюються і руйнуються швидше.

Для всіх марок сталей, крім нержавіючої Х18Н9Т, швидкість зношування з перервами вище, ніж без перерв. Це свідчить про те, що утворюються плівки вторинних структур менш міцні, ніж основний метал, і має місце корозійно-механічне зношування. При зношуванні в корозійно-неактивному фосфоритному борошні відмінності в швидкості зношування сталей з перервами і без перерв практично немає, значить тут переважає абразивне зношування.

Таблиця 3.2 – Швидкість зношування сталей в мінеральних добривах, мг/(см · год)

Добриво	Ст.3	Ст.45	Ст.3Х	Ст.50	Ст.65Г	Ст.У8	Ст.Х18Н9Т
Аміачна селітра	<u>12,4</u>	<u>15,2</u>	<u>12,5</u>	<u>19,9</u>	<u>17,1</u>	<u>12,5</u>	<u>0,4</u>
	8,1	8,8	7,3	10,6	14,4	7,1	0,4
Сульфат амонію	<u>7,3</u>	<u>19,9</u>	<u>16,9</u>	<u>18,4</u>	<u>21,4</u>	<u>15,5</u>	<u>0,5</u>
	12,0	14,4	12,9	12,8	11,8	11,4	0,5
Сечовина	<u>1,2</u>	<u>0,9</u>	<u>0,7</u>	<u>0,8</u>	<u>0,6</u>	<u>0,7</u>	<u>0,1</u>
	1,1	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	0,1
Сильвініт	<u>10,4</u>	<u>8,1</u>	<u>7,5</u>	<u>7,7</u>	<u>8,4</u>	<u>9,1</u>	<u>0,4</u>
	8,3	6,0	5,8	5,8	6,4	7,1	0,4
Фосфоритна мука	<u>24,3</u>	<u>18,1</u>	<u>15,5</u>	<u>18,9</u>	<u>15,5</u>	<u>17,4</u>	<u>1,1</u>
	24,1	17,6	15,2	18,4	14,8	16,7	1,1
Суперфосфат: простий	<u>16,2</u>	<u>17,8</u>	<u>14,8</u>	<u>16,8</u>	<u>12,9</u>	<u>14,0</u>	<u>0,7</u>
	13,4	14,2	11,5	13,2	10,9	12,1	0,7
подвійний	<u>13,4</u>	<u>11,9</u>	<u>9,8</u>	<u>11,2</u>	<u>10,4</u>	<u>8,4</u>	<u>0,4</u>
	11,4	9,3	7,9	9,1	8,6	6,8	0,4
гранульований	<u>12,6</u>	<u>11,8</u>	<u>12,7</u>	<u>11,7</u>	<u>7,6</u>	<u>7,0</u>	<u>0,4</u>
	10,4	8,8	9,7	9,3	6,2	5,7	0,4
Нітрофоска	<u>2,3</u>	<u>3,8</u>	<u>2,6</u>	<u>3,3</u>	<u>2,0</u>	<u>1,4</u>	<u>0,1</u>
	1,8	2,8	1,5	2,3	1,3	1,1	0,1
Складнозмішане гранольоване	<u>6,9</u>	<u>5,6</u>	<u>6,4</u>	<u>5,8</u>	<u>5,8</u>	<u>3,6</u>	<u>0,3</u>
	5,6	9,4	4,5	4,4	4,2	2,9	0,3

Над рискою – швидкість зношування при терті з зупинками, під рискою – без зупинок. Те ж для табл. 3.3, 3.4.

Швидкість корозійно-механічного зношування вуглецевих сталей визначається головним чином умовами утворення і міцністю плівок вторинних структур. Зношування робочих органів сільськогосподарських машин відбувається з перервами, під час яких створюються сприятливі умови для

протікання корозійних процесів на сталевих поверхнях. Утворені плівки продуктів корозії менш міцні і зносостійкі, ніж основний метал, і при подальшому механічному впливі більш легко видаляються. Тому при зношуванні в корозійно-активних середовищах зносостійкість, певна при безперервному терті, буде вище, ніж при переривчастому, що вносить додаткові похибки при розрахунку на знос деталей сільськогосподарських машин.

При зношуванні конструкційних сталей в мінеральних і органічних добривах спостерігається інверсія ряду зносостійкості внаслідок різного впливу середовищ на сплави з різною структурою. Нерівномірний розподіл домішок в сталі призводить до анізотропності механічних властивостей в окремих мікрооб'ємах, внаслідок цього руйнування при корозійно-механічному зношуванні відбувається нерівномірно.

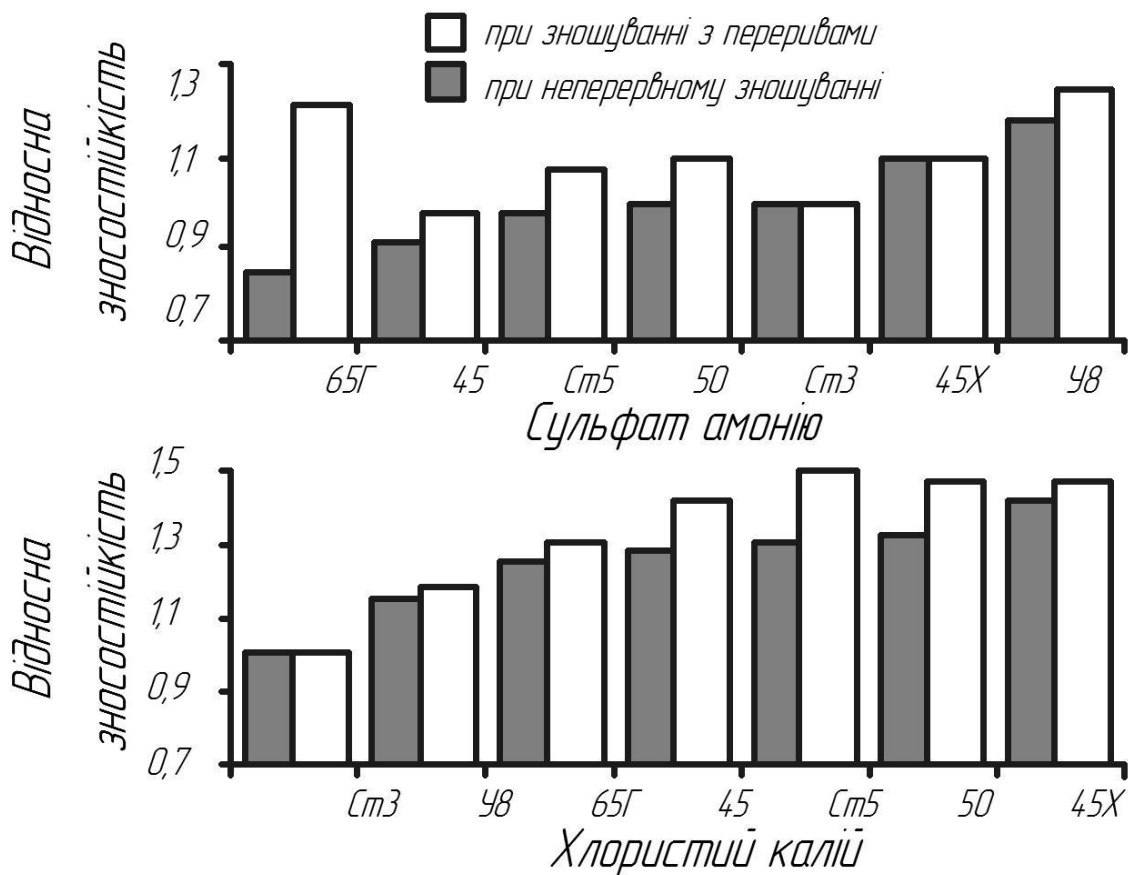


Рис. 3.4. Відносна зносостійкість сталей



Зносостійкість вуглецевої сталі при зношуванні в корозійно-активних середовищах визначається в основному властивостями двох структурних складових - фериту і перліту. Розчин фериту крім вуглецю може мати і інші елементи (наприклад, кремній, хром і ін.), які впливають на його властивості. Властивості перліту залежать в основному від форми цементиту, зерна якого можуть мати глобулярну або пластичну форму. Дослідження показують, що зносостійкість сталі при корозійно-механічному зношуванні в агресивних сільськогосподарських середовищах залежить від властивостей окремих структурних складових і їх взаємозв'язку в загальній структурі сплаву.

Ферит в вуглецевій сталі є найбільш слабкою структурною складовою. Він першим починає руйнуватися при мікроударному впливі корозійно-активного середовища. Руйнування фериту найчастіше починається на краях зерен, а іноді й усередині зерна.

Перліт в порівнянні з нелегованим феритом має більшу корозійно-механічну міцність, внаслідок того що він представляє собою механічну суміш фериту і цементиту. Зносостійкість перліту з карбідами пластинчастої форми значно вище міцності перліту з карбідами глобулярної форми. Остання зменшує поверхню карбідної фази, тому її участь в опорі руйнуванню різко знижується. При наявності в перліті карбідів глобулярної форми основне поле зайнято феритом, які приймають на себе більшу частину навантаження, внаслідок чого опір руйнуванню знижується.

Металографічні дослідження показують, що руйнування перліту при глобулярній формі карбіду найчастіше починається на кордонах з карбідами і розвивається в бік фериту. Тріщини і осередки руйнування найбільш часто утворюються близько скупчень карбідів, де ферит збіднений легуючими елементами.

Перліт з карбідами пластинчастої форми руйнується рівномірно. В цьому випадку сталь має великий опір зношування, так як пластинчастий перліт володіє вищими пружними властивостями. При пластинчастій формі карбіду

ферито-карбідна суміш більш однорідна, і кожна з її складових приймає майже однакову участь в опорі руйнуванню.

Як конструкційний матеріал для деталей сільськогосподарських машин, що працюють в корозійно-активних середовищах, застосовуються доевтектоїдні сталі, зносостійкість яких залежить головним чином від вмісту в них перліту.

Кількість перліту в сталі визначається вмістом в ній вуглецю: чим більше в сталі вуглецю, тим більше в її структурі перліту. Доевтектоїдні сталі з підвищеним вмістом вуглецю при зношуванні в добривах підвищеної корозійної активності мають більш низьку зносостійкість ніж низьковуглецеві сталі (табл. 3.3). Це пояснюється тим, що при корозійно-механічному зношуванні металу в цих середовищах провідну роль відіграють електрохімічні процеси, а зі збільшенням вмісту вуглецю корозійна стійкість сталей знижується внаслідок збільшення гальванічних мікропар.

Опірність сталей корозійно-механічному зношуванню багато в чому залежить від легуючих елементів, впливу яких на зносостійкість проявляється головним чином у взаємодії їх з залізом і вуглецем. Нержавіючі сталі при корозійно-механічному зношуванні показують в 20-30 разів кращу зносостійкість в порівнянні з вуглецевими, при цьому швидкість зношування визначається в основному механічними процесами, а не корозійними.

Сплави хрому на основі заліза утворюють ряд твердих розчинів, що мають кристалічну решітку центрованого куба. При наявності сплаву вуглецю утворюються карбіди хрому з гранецентричною кубічною, гексагональною і орторомбічними ґратками. Як показали дослідження, оптимальний вміст хрому з точки зору максимальної корозійної стійкості і зносостійкості дорівнює 12-15%.

На різні структури стану сталі хром впливає по різному. Позитивний вплив, який чиниться і на опір зношування, для фериту значно менше, ніж для аустеніту. Значне підвищення зносостійкості сталі зі збільшенням вмісту хрому

відбувається не після відпалу, а після нормалізації і загартування, коли виявляється його вплив на зниження температур фазових перетворень і збільшення дисперсності одержуваної структури. Найбільш сильно хром підвищує зносостійкість мартенситу.

Таблиця 3.3. – Відносна зносостійкість сталей при терті в мінеральних добривах

Добриво	Сталь 45	Сталь 45Х	Сталь 50	Сталь 65Г	Сталь У8	Сталь П8Н9Т
Аміачна селітра	<u>0,94</u>	<u>0,99</u>	<u>0,62</u>	<u>1,75</u>	<u>0,99</u>	<u>31,00</u>
	0,96	1,27	0,83	2,00	1,24	22,00
Сульфат амонію	<u>0,92</u>	<u>1,08</u>	<u>0,99</u>	<u>0,86</u>	<u>1,17</u>	<u>36,60</u>
	0,97	1,09	1,09	1,19	1,23	28,00
Сечовина	<u>1,33</u>	<u>1,72</u>	<u>1,50</u>	<u>2,00</u>	<u>1,72</u>	<u>12,00</u>
	1,38	1,84	1,57	2,20	1,84	11,00
Сильвініт	<u>1,29</u>	<u>1,39</u>	<u>1,35</u>	<u>1,24</u>	<u>1,14</u>	<u>26,00</u>
	1,38	1,43	1,43	1,30	1,17	20,75
Фосфоритна мука	<u>1,34</u>	<u>1,57</u>	<u>1,24</u>	<u>1,64</u>	<u>1,40</u>	<u>22,10</u>
	1,37	1,58	0,27	1,63	1,44	21,90
Суперфосфат: простий подвійний гранульований	<u>0,91</u>	<u>1,09</u>	<u>0,96</u>	<u>1,25</u>	<u>1,16</u>	<u>23,20</u>
	0,94	1,16	1,01	1,23	1,10	19,14
	<u>1,12</u>	<u>1,37</u>	<u>1,20</u>	<u>1,28</u>	<u>1,59</u>	<u>33,50</u>
	1,07	0,99	1,08	1,66	1,80	31,50
	<u>1,18</u>	<u>1,07</u>	<u>1,12</u>	<u>1,68</u>	<u>1,83</u>	<u>26,00</u>
Нітрофоска	<u>0,61</u>	<u>0,88</u>	<u>0,70</u>	<u>1,15</u>	<u>1,64</u>	<u>23,00</u>
	0,64	1,20	0,78	1,38	1,63	18,00
Складнозмішане гранольоване	<u>1,23</u>	<u>1,08</u>	<u>1,19</u>	<u>1,19</u>	<u>1,91</u>	<u>23,00</u>
	1,27	1,24	1,27	1,33	1,93	18,00

Сплави заліза з нікелем утворюють в основному  $\gamma$ -тверді розчини. Зі збільшенням вмісту нікелю різко змінюються структура і властивості сталі від ферритно-мартенситних до аустенітних з утворенням цілого ряду сплавів перехідного класу. Дослідження показали, що нікель, розчиняючись в залізі,

підвищує зносостійкість фериту навіть в дещо більшій мірі ніж хром. Знижуючи температуру евтектоїдних перетворення, нікель збільшує дисперсність одержуваної структури і таким чином сприяє підвищенню зносостійкості перліту при корозійно-механічному зношуванні. Зношена поверхня що має в складі нікель сталі 1X18H9T має менше слідів зносу, ніж сталь 1X13.

Вплив нікелю на зносостійкість аустенітних сталей пов'язано зі стійкістю аустеніту. Зі збільшенням вмісту в сталі нікелю аустеніт стає більш стабільним, в результаті чого зносостійкість знижується. Стабільний аустеніт має невеликий період накопичення деформацій і руйнується порівняно швидко. Нестабільний аустеніт, що має тривалий період накопичення деформацій, руйнується повільно.

Зносостійкість перлітових сталей зі збільшенням вмісту нікелю зростає. Це пояснюється переходом сталі в мартенситних клас, а нікелевий мартенсит має високу зносостійкість. Позитивний вплив нікелю на зносостійкість перлітної сталі проявляється головним чином після гартування і відпуску.

Кількість нікелю в аустенітних сталях впливає також і на характер їх пластичної деформації при зношуванні. Результати металографічного аналізу доводять, що руйнування стабільного хромонікелевого аустеніту розвивається переважно по межах зерен, в результаті чого відбувається їх крихкий відрив. Для нестабільного хромонікелевого аустеніту характерно в'язке руйнування, розвивається всередині зерна, що зумовлює більш високу зносостійкість.

В якості конструкційних матеріалів в сільськогосподарському машинобудуванні широко застосовуються заевтектоїдні сталі У7, 78, У10. Їх зносостійкість при корозійно-механічному зношуванні визначається в основному властивостями перліту, механічні властивості якого залежать від ступеня дисперсності частинок цементиту. Зі збільшенням розмірів частинок останнього зменшуються його механічні характеристики.

При зношуванні в корозійно-активному сілвінті заевтектоїдні сталі, незважаючи на підвищені механічні властивості, показали знижену зносостійкість в порівнянні з доевтектоїдними (сталь 45, 50). Це пояснюється присутністю в сталі скупчень вторинного цементиту.

Значне місце в конструкційних матеріалах для виготовлення робочих органів сільськогосподарських машин займає сірий чавун. Його особливість як конструкційного сплаву полягає в тому, що в його структурі міститься вільний графіт. Внаслідок малої міцності графітові включення практично є надрізами, що порушують суцільність металевої основи і знижують механічну міцність чавуну.

При мікроударному впливі графітові включення можна розглядати як осередки руйнування, навколо яких концентруються напруження створювані навантаженням. Найбільш сприятливою формою графітових включень є глобулярна. Вона більш компактна і дозволяє повніше використовувати міцність металевої основи чавуну. При пластинчастої формі графіту відношення площі поверхні графітових включень до їх обсягу дуже велике. Величина коефіцієнта напруг у кромок, розгалужень і гострих кінців включень ще дуже значна. При грубій пластинчастої формі графіту ефективно використовуються тільки 30-50% міцності металевої основи чавуну.

Як показали дослідження в сірому чавуні з грубою формою графіту деформація металу в мікрооб'ємах починається при порівняно невеликих навантаженнях, причому метал деформується тим інтенсивніше, чим більше в чавуні графіту і грубіше його форма. Деформація металевої основи чавуну, як і сталі, викликає наклеп металу і пов'язані з ним явища зміцнення або знеміцнення металевої основи. Останнє відбувається в першу чергу на ділянках, що межують з графітовим включенням.

Металографічне дослідження робочої поверхні зношених зразків і деталей з сірого чавуну показує, що руйнування починається з графіту, в результаті чого утворюється безліч пор. Останні, перебуваючи на відносно

невеликій відстані одна від одної є осередками руйнування металевої основи чавуну. Оскільки графіт володіє малою міцністю, він руйнується з великою швидкістю на самому початку процесу зношування. Однак помітного зміни маси зношеного зразка в цей період не спостерігається, так як щільність графіту значно менше щільності металевої основи. Втрати маси стають помітними, коли починається процес зрощення пор і утворення раковин внаслідок руйнування металевої основи чавуну.

Зносостійкість чавунних деталей при корозійно-механічному зношуванні в сільськогосподарських середовищах (табл. 3.4) залежить не тільки від кількості і форми графітових включень, а також від структури металевої основи, яка може бути феритною, перлітною, ферито-перлітною, сорбітною, а легovanого чавуну - аустенітною і мартенситною. Різна структура металевої основи сірого чавуну виходить в результаті термічної обробки.

Таблиця 3.4 – Відносна зносостійкість чавунів при терті в мінеральних добривах

Добрива	Сч 12	Сч 15	Сч 18	Сч 21
Аміачна селітра	<u>0.66</u>	<u>0.74</u>	<u>0.80</u>	<u>0.81</u>
	0,80	0,80	0,82	0,84
Сульфат амонію	<u>0.68</u>	<u>0.70</u>	<u>0.71</u>	<u>0.70</u>
	0,74	0,75	0,75	0,76
Сечовина	<u>0.80</u>	<u>0.81</u>	<u>0.84</u>	<u>1.20</u>
	0,82	0,84	0,86	1,22
Сильвініт	<u>0.64</u>	<u>0.68</u>	<u>0.66</u>	<u>0.71</u>
	0,68	0,71	0,80	0,78
Фосфоритне борошно	<u>0.66</u>	<u>0.76</u>	<u>0.81</u>	<u>1.13</u>
	0,70	0,78	0,83	1.13

Зносостійкість дана відносно сталі Ст.3.

Дослідження показали, що при зношуванні в середовищі мінеральних і органічних добрив значної абразивної здатності найбільшу зносостійкість показав чавун зі структурою сорбіту та тонкопластинчастого перліту. Металева основа цих чавунів володіє хорошими пружними властивостями, що позитивно

позначається на опорі зношування. Найменшу зносостійкість показав чавун на феритній основі. Це пояснюється тим, що скупчення фериту в основному утворюються навколо графітових включень. При зношуванні в середовищах високу корозійну активність зносостійкість сірого чавуну мало залежить від структури металевої основи. Тут швидкість зношування в основному визначається корозійними процесами, які завдяки високому вмісту вуглецю протікають дуже інтенсивно.

## ВИСНОВКИ

Висока інтенсивність і своєрідність руйнування поверхні металу при корозійно-механічному зношуванні в агресивних сільськогосподарських середовищах вказують на перебіг в зоні контакту специфічних структурних змін. Розрушення поверхневого шару металу обумовлено особливим станом вільної поверхні і специфікою стану джерел дислокацій в умовах зношування.

При терті металів в корозійно-активних середовищах утворюються і зношуються неміцні вторинні структури, товщина яких становить не більше 500 ангстрем. Робочі органи машин зношуються в вільній масі добрив при навантаженні не більше 0,1 МПа, яка не викликає помітне напружений стан в металі.

Як конструкційний матеріал для деталей сільськогосподарських машин, що працюють в корозійно-активних середовищах, застосовуються доєвтектоїдні сталі, зносостійкість яких залежить головним чином від вмісту в них перліту.

Аналізуючи результати досліджень зносостійкості сталей і чавунів в корозійно-активних сільськогосподарських середовищах, можна зробити висновок, що при зношуванні в середовищах високої хімічної активності швидкість процесу визначається головним чином умовами утворення і міцністю вторинних структур. Зносостійкість в цьому випадку знаходиться в прямій залежності від корозійної стійкості. У середовищах з вельми високою абразивної здатністю зносостійкість сталей і чавунів визначається перш за все їх структурою.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черновол М.И. и др. Повышения качества восстановления деталей машин. Киев : Техника, 1989. 367 с.
2. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / под ред. П. І. Стоєва. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с.
3. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Москва : Металлургия, 1976. –472 с.
4. Jin-Kook Yoon Formation of  $\text{MoSi}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$  composite coating by reactive diffusion of Si on Mo substrate pretreated by ammonia nitridation. *Scripta Materialia*. 2002. V. 47. Is. 4. P. 249-253.
5. Strong A. Brent. Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications. Dearborn, Michigan : Society of manufacturing engineers, 2008. 620 p.
6. Шуман С. К. Корозія металів та захист металів від корозії. Лабораторний практикум. Краматорськ : ДДМА, 2008. 160 с.
7. Шлугер М. А. Коррозия и защита металлов. Москва : Металлургия, 1981. 216 с.
8. Костецкий Б. И. Механохимические процессы при граничном трении. Москва : Наука, 1972. 171 с.
9. Дворук В. І. Трибофізика: підручник. Харків : ХНТУСГ ім. Петра Василенка. 2014. 374 с.
10. . Захист поверхонь тертя дискретними поверхнями / В. Є. Марчук, Б. А. Ляшенко, М. В. Кіндрачук, О. І. Духота // Проблеми тертя та зношування. – 2013. – №2 (61). – С. 80 – 87.
11. Духота О. І Зносостійкість матеріалів трибомеханічних систем при динамічному контактному навантаженні *Проблеми тертя та зношування*. 2013. Вип. 59. С. 30 – 35

12. Костецкий Б.И. Надежность и долговечность машин. Киев : Техника, 1975. 399 с.
13. Щепетов В. В. Математичне моделювання впливу технологічних і експлуатаційних факторів на формування покриттів. *Проблеми тертя та зношування* : 2006. Вип. 46. С. 176-184
14. Дроздов Ю. Н. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник. Москва : Машиностроение, 1986. 224 с.
15. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности сельскохозяйственных машин. Москва : Машиностроение, 1971. 297 с.
16. Костецкий Б. И. Качество поверхности и трение в машинах. Киев : Техніка, 1969. 215 с.
17. Качинский П. А. Почва ее свойства и жизнь. Москва : Наука, 1975. 295 с .
18. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники. –Москва : Колос, 1974. 376 с.
19. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов 2-е изд. переработ. и доп. / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, 2001. 664с.
20. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : Підручник / за ред. Д.Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.