

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ВЕРЕМІЙ ТАМАРА БОРИСІВНА**

УДК 631.331

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення зносостійкості робочих органів посівних комплексів**

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 \_\_\_\_\_ Т.Б. Веремій

**Керівник роботи**

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2021**

## АНОТАЦІЯ

**Веремій Тамара Борисівна. Підвищення зносостійкості робочих органів посівних комплексів.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В роботі досліджено вплив матеріалу робочого органу посівних комплексів та зміцнюючих покриттів на їх зносостійкість та довговічність. Для дослідження було обрано посівний комплекс Väderstad Rapid A 800 C.

В лабораторних досліджень визначали стійкість до абразивного зношування зразків виготовлених зі сталі SSAB Boron 27, сталі 70Г та зразків сталі 70Г з нанесеними зносостійкими покриттями ручним дуговим зварюванням електродами ОК 84. 78, ОК 84. 80 та ОК 84. 84. В лабораторних досліджень найвищу зносостійкість продемонстрували зразки виготовлені зі сталі 70Г з нанесеним зносостійким покриттям електродами ОК 84. 80. Для підтвердження отриманих результатів лабораторних досліджень були проведені експлуатаційні випробовування по визначенню зносостійкості та довговічності робочих органів посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C. Для кожного варіанту було виготовлено по 5 дослідних зразків (робочих органів) і встановлено на посівний комплекс осінню 2019 року. Експлуатації випробовування підтвердили лабораторні дослідження по визначенню матеріалів робочих органів та зносостійких покриттів для забезпечення підвищеної їх довговічності. Під час проведення досліджень виявлено конструкційну особливість чистика сошника, яка призводила до інтенсифікації процесу абразивного зношування. В результаті чого запропоновано використовувати більш «м'який» матеріал для виготовлення чистика робочого органу.

*Ключові слова: посівний комплекс, абразивний знос, зношування, твердість, зносостійкість*

## ANNOTATION

**Veremiy Tamara Borysivna. Increasing the wear resistance of the working bodies of sowing complexes.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The influence of the material of the working body of sowing complexes and strengthening coatings on their wear resistance and durability is investigated in the work. The Väderstad Rapid A 800 C sowing complex was selected for the study.

In laboratory tests determined the resistance to abrasion of samples made of steel SSAB Boron 27, steel 70G and samples of steel 70G with applied wear-resistant coatings by manual arc welding electrodes OK 84. 78, OK 84. 80 and OK 84. 84. In laboratory studies, the highest wear resistance demonstrated samples made of steel 70G with a wear-resistant coating with electrodes OK 84. 80. To confirm the results of laboratory tests were conducted tests to determine the wear resistance and durability of the working bodies of the seed complex Väderstad Rapid A 800 C. For each variant 5 were made of (working bodies) and installed on the sowing complex in autumn 2019. The operation of the test was confirmed by laboratory studies to determine the materials of the working bodies and wear-resistant coatings to ensure their increased durability. During the research, a design feature of the opener cleaning was revealed, which led to the intensification of the abrasive wear process. As a result, it is proposed to use a "softer" material to clean the working body.

*Key words: sowing complex, abrasive wear, wear, hardness, wear resistance*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЗНОСОТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В СЕРЕДОВИЩІ ГРУНТУ.....	8
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	11
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА, МЕТОДИ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	16
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЗНОСОТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ VÄDERSTAD RAPID A 800.....	17
3.1. Лабораторні дослідження.....	17
3.2 Експлуатаційні дослідження.....	19
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	23
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	25

## ВСТУП

Абразивне зношування призводить до передчасного виходу з ладу багатьох машин, які працюють в різних галузях економіки України. В агропромисловому комплексі найбільше абразивному зношуванню піддаються деталі машин, які взаємодіють з ґрунтом. В більшості випадків саме ці деталі або робочі органи визначають надійність всієї машини. Сучасні посівні комплекси це складні але досить продуктивні машини від надійності яких залежить якість та вчасність виконання відповідальної агротехнічної операції (посіву). Надійність посівних залежить від надійності агрегатів, деталей та робочих органів. Найменшу надійність серед складових частин посівних комплексів мають робочі органи, які безпосередньо взаємодіють з ґрунтом, саме тому пошук шляхів підвищення їх довговічності та зносостійкості є беззаперечно актуальною задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дослідження – підвищити надійність посівних комплексів за рахунок підвищення зносостійкості робочих органів посівних комплексів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз механізму та характеру зношування робочих органів посівних комплексів;
- визначити можливі напрямки вирішення проблеми підвищення зносостійкості робочих органів посівних комплексів;
- в лабораторних умовах визначити оптимальні способи підвищення зносостійкості робочих органів посівних комплексів;
- провести експлуатаційні випробування зміцнених робочих органів/

**Об'єкт дослідження** – процес зношування робочих органів посівних комплексів під час взаємодії з ґрунтом.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни фізико-механічних властивостей матеріалу та геометричних параметрів робочих органів посівних комплексів.

**Методи дослідження.** Під час проведення дослідження використані методи трибології, статичної фізики, теорії надійності та фізики твердого тіла. Лабораторні дослідження виконано на розробленій автором установці. Експериментальні дослідження виконано з використанням стандартних методик, а їх обробка проводилася на основі математичної статистики та теорії ймовірності за допомогою прикладних програм для ПК.

Перелік публікацій:

1. **Веремій Т. Б.** Паспортизація робочих органів посівних комплексів. Збірник матеріалів і Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції «*Теорія і практика сучасної науки очима молоді*» 26 березня 2020 року (проведено он-лайн 30 квітня 2020 року) м. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 67-68.

2. Савченко В. М., **Веремій Т. Б.** Механізм абразивного зношування робочих органів посівних комплексів. Міжнародної науково-практичної конференції "*Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*", 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 19-20.

3. Савченко В. М., Міненко С. В. **Веремій Т. Б.**, Якубівський В. О., Гончарук В. А. Екологічні та енергоефективні ґрунтообробні та посівні машини. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.), 2020. С. 42-44.

4. Савченко В. М., Міненко С. В., **Веремій Т. Б.**, Сюравичик В. І. Взаємодія сошника сівалки з ґрунтом. Матеріали II Міжнар. наук.-практ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*:

матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.), 2020. С. 107-109.

**Практичне значення одержаних результатів.** Основні результати досліджень направлені на підвищення надійності посівних комплексів. На основі проведених досліджень розроблено рекомендації по вибору матеріалу та зміцнюючого покриття для виготовлення робочих органів (сошників) посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 26 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці і 12 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЗНОСОТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В СЕРЕДОВИЩІ ҐРУНТУ

Деталі машин та робочі органи сільськогосподарських машин, які працюють в середовищі ґрунту піддаються інтенсивному абразивному зношуванню [1 – 9]. Найінтенсивніше процес абразивного зношування протікає на поверхнях робочих органів посівних ґрунтообробних машин.

Процес абразивного зношування робочих органів посівних комплексів в більшості випадків відбувається за рахунок пластичного деформування металу та полідеформаційного руйнування поверхневих шарів і в меншій мірі за рахунок процесів мікрорізання. Інтенсивність зношування робочих органів посівних комплексів залежить від багатьох факторів: типу ґрунту, його вологості та агрегатного стану, швидкості руху посівного агрегату, матеріалу робочого органу, його термічної обробки, твердості зносостійкого покриття. Зменшення інтенсивності зношування робочих органів призведе до підвищення їх довговічності та підвищення надійності всього посівного комплексу.

В результаті взаємодії з ґрунтом робочі органи посівних машин змінюють свої геометричні параметри, що призводить до неякісного виконання агротехнічної операції посіву та зростанню витрати паливо-мастильних матеріалів.

Процес зношування дискових сошників суттєво відрізняється від процесу зношування лемішно-лапових робочих органів, оскільки під час зношування дискових робочих органів можливе протікання ударно-абразивного зношування та наявність динамічних навантажень. В процесі виконання роботи, точки на поверхні дискового сошника рухаються зі змінною швидкістю.



Підвищити зносостійкість деталей машин, які працюють в середовищі ґрунту можливо трьома методами: конструктивним, технологічним та експлуатаційним. До конструктивних методів підвищення зносостійкості деталей машин відносяться: вибір геометричних параметрів, вибір матеріалу, оптимізація форми і т.д. До експлуатаційних методів підвищення зносостійкості деталей машин відносяться: вибір режимів роботи, організація системи технічного обслуговування і ремонту, організація міжсезонного зберігання і т.д. Найбільш поширеними методами є технологічні, до них відносяться: вибір обробки матеріалу деталі, контроль якості, покращення триботехнічних властивостей матеріалу робочих органів або деталей, нанесення спеціальних зносостійких покриттів. Найефективнішим і найбільш поширеним є технологічний метод, саме тому в якості наукової гіпотези ми пропонуємо використовувати для підвищення зносостійкості робочих органів посівних комплексів технологічний метод.

На даний час не в світі не розроблено ефективних методів підвищення довговічності та зносостійкості дискових робочих органів посівних комплексів, які взаємодіють з ґрунтовим середовищем. Також відсутні математичні моделі розрахунку силової взаємодії дискових робочих органів з ґрунтом.

Підвищенням довговічності та зносостійкості дискових робочих органів ґрунтообробних та посівних машин займалися багато дослідників [1, 4, 9, 10]

Так в роботі [9] для підвищення зносостійкості дисків важких борін (виготовлених зі сталі 65Г) запропоновано проводити змінення робочої поверхні електроерозійною обробкою. В результаті такої обробки утворюється двошаровий матеріал, що дозволяє підвищити зносостійкість та довговічність дисків важкої борони майже в два рази.

Сидоров С. А. [10] відмічає, що найбільш ефективним способом підвищення зносостійкості сферичних дискових робочих органів є плазмове дугове напилення твердих сплавів на основі легованого чавуну в середовищі стиснутого повітря

В інших подібних роботах, по дослідженню процесу зношуванню та пошуку шляхів підвищення зносостійкості дискових робочих органів, основну увагу зосереджено на робочих органах ґрунтообробних машин. Процес зношування дискових робочих органів посівних комплексів подібний до процесу зношування ґрунтообробних машин, але має свої особливості. В першу чергу це пов'язано з конструкційними особливостями та завданнями, які ставляться перед робочими органами посівних комплексів.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Проведений аналіз досліджень свідчить, що процес зношування дискових робочих органів розкритий не повністю, а проблема підвищення їх зносостійкості залишається не вирішена. Необхідно експериментальним методом провести пошук оптимальних матеріалів дискових робочих органів посівних комплексів та зміцнюючих технологій, що дозволить суттєво підвищити їх зносостійкість.

## РОЗДІЛ 2

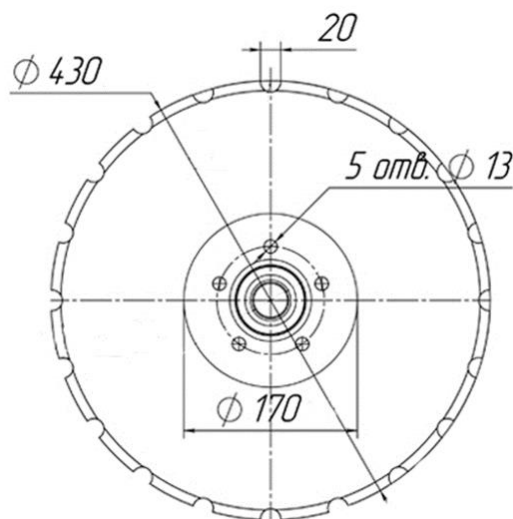
### МЕТОДИКА, МЕТОДИ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження по вибору технологічного методу підвищення довговічності та зносостійкості проводили на посівному комплексі Väderstad Rapid A 800 C в умовах Житомирської області (зона Лісостеп). Принцип дії посівного комплексу представлено на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Принцип дії посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C

Існує багато видів робочих органів посівних комплексів (анкерний, кілевидний, одно- або дводисковий, лаповий та інші). В даній роботі зосереджена увага на однодисковому сошнику посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C.



а)



б)

Рис. 2.2. Геометричні параметри (а) та принцип роботи (б) однодискового сошника посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C.

Для лабораторних досліджень виготовлялися зразки розміром 50\*50, які були виготовлені зі сталі SSAB Boron 27, сталі 70Г та сталі 70Г з нанесеними зносостійкими покриттями ручним дуговим зварюванням електродами ОК 84. 78, ОК 84. 80 та ОК 84. 84. Хімічний склад сталі SSAB Boron 27 та сталі 70Г представлено в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі SSAB Boron 27 та сталі 70Г (%)

Матеріал	C	Si	Mn	S (max)	P (max)	Cr	B	Ni	Cu
SSAB Boron 27	0,24-0,3	0,1-0,4	1,0-4,0	0,01	0,02	0,1-0,4	0,0008-0,005	-	-
Сталь 70Г	0,67-0,75	0,17-0,37	0,9-1,2	0,035	0,035	до 0,25	-	до 0,25	до 0,2

Хімічний склад наплавленого ручним електродуговим способом представлено в табл. 1.2

Таблиця 2.1 – Хімічний склад наплавленого металу

Електрод	C	Si	Cr	V	Ti	Mn	Mo	Nb
ОК 84. 78	4,7	0,8	33,0	-	-	1,0	-	-
ОК 84. 80	5,0	2,0	23	1,0	W 2,0	0,7	7,0	7,0
ОК 84. 84.	3,0	2,0	5,8	5,7	4,8	-	-	-

Твердість покриття та основного металу визначали стандартним методом Роквелла за шкалою «С».

Для проведення лабораторних досліджень розроблена установка за методом «Гільзи» (рис. 2.2), яка імітує процес зношування робочих органів посівних комплексів у ґрунті. В якості імітаційного абразивного матеріалу використовувався кварцовий пісок, розмір абразивних частинок складав 50...100 мкм. Швидкість руху зразків в ґрунтовій масі складала 1,7...3,4 м/с

(6...12км/год), що відповідає робочій швидкості сучасних посівних комплексів. Регулювання швидкості виконували за рахунок зміни ведучих і ведених шківів.



Рис. 2.2. Лабораторна установка для визначення стійкості до абразивного зношування матеріалів та зносостійких покриттів.

Лабораторні зразки кріпилися на спеціально розроблений вал-тримач (рис. 2.3).



*a)*



*б)*

Рис. 2.3. Вал-тримач лабораторної установки в зборі (*a*) та в розібраному вигляді (*б*).

Дослідження проводили в умовах СТОВ «Ліщинське» с. Ліщин, Житомирського району, Житомирської області (рис. 2.4.).



Рис. 2.4. Посівний комплекс Väderstad Rapid A 800 C в умовах машинно-тракторного парку СТО «Ліщинське».

Величину абразивного зношування робочих органів посівних комплексів визначали за втратою маси та геометричних розмірів. Визначення втрати ваги визначали за допомогою вагів VAGAR VB-P 500 LCD. Зміну геометричних розмірів фіксували на спеціальному трафареті в наступній послідовності: розміщували зношений диск на трафареті і фотографували його після чого за допомогою прикладних програм на ПК визначали зміну геометричних розмірів.

Планування експерименту та послідовність його проведення виконували відповідно до загальновідомої теорії експерименту та обробки експериментальних даних [12-14].

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Для визначення оптимальних матеріалів робочих органів посівних комплексів та зміцнюючих покриттів, які дозволять забезпечити підвищення їх зносостійкості розроблена спеціальна методика.

Для зменшення затрат на проведення дорогих експлуатаційних досліджень та зменшення часу на проведення експерименту по визначенню зносостійкого ряду матеріалів та зміцнюючих покриттів розроблено лабораторну установку за методом гільзи.

Експлуатаційні випробовування проводи в реальних виробничих умовах на робочих органах посівного комплексу Väderstad Rapid A 800.



### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ VÄDERSTAD RAPID A 800

### 3.1. Лабораторні дослідження

В результаті проведених лабораторних досліджень встановлено, що при зношуванні дослідних зразків в абразивній масі на поверхні тертя відсутні сліди мікрорізання. Фрикційна поверхня знаходилась в полірованому стані, що свідчить про перевагу процесів полідеформаційного руйнування

Результати лабораторних досліджень представлені на рис. 3.1

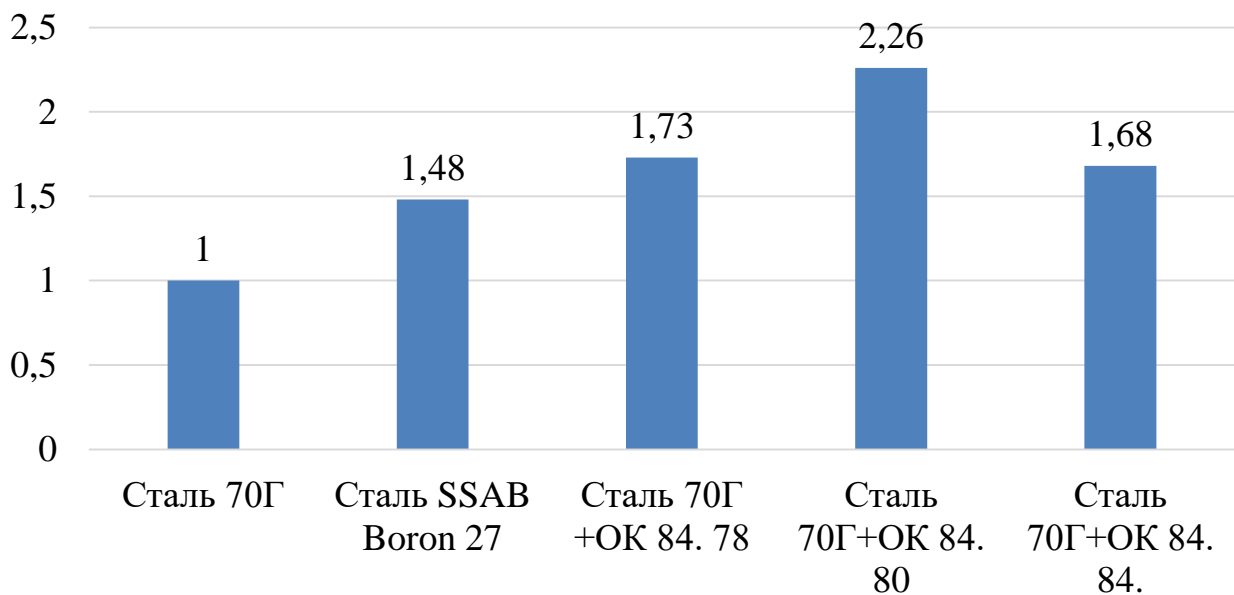


Рис. 3.1 Відносна зносостійкість матеріалів та зносостійких сплавів, які використовувалися для проведення досліджень

Як видно з рис. 3.1 найвищою зносостійкістю володіє сталь 70Г з нанесеним зносостійким шаром електрода ОК84.80. Це в першу чергу пояснюється найвищою твердістю нанесеного шару (рис. 3.2)

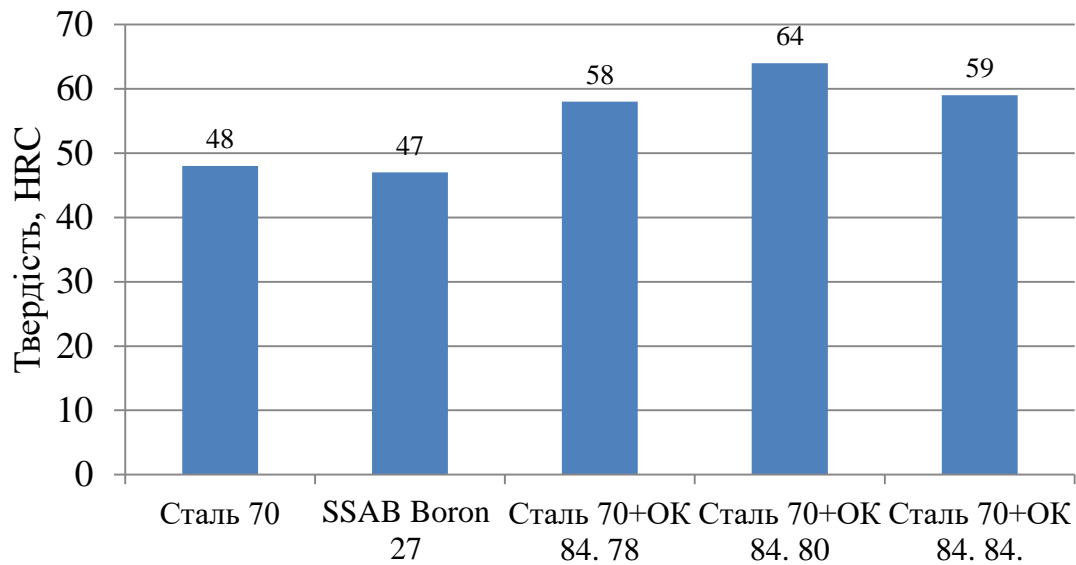


Рис. 3.2 Твердість дослідних зразків, які використовувались під час досліджень

Найвищою твердістю володіють зразки покритті зносостійким шаром електродом ОК84.80, що дозволило мати найвищу зносостійкість матеріалу. Протилежний ефект спостерігали для сталі 70Г і SSAB Boron 27. Незважаючи на вищу зносостійкість сталь 70 мала меншу стійкість до абразивного зношування, щ в першу чергу пов'язано з мікроструктурою матеріалу і хімічним складом. Мікроструктура сталі SSAB Boron 27 дрібнозерниста з відсутністю явних конгломератів (рис. 3.3)

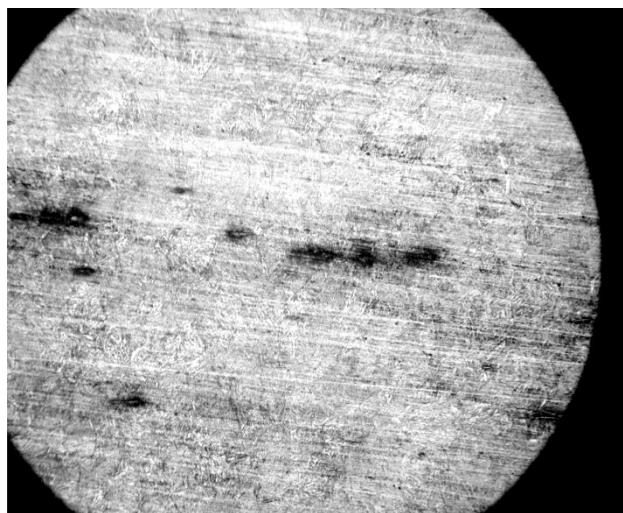


Рис. 3.3. Мікроструктура сталі SSAB Boron 27

### 3.2. Експериментальні дослідження

Дослідження проводили в умовах СТОВ «Ліщинське» с. Ліщин, Житомирського району, Житомирської області на посівному комплексі Väderstad Rapid A 800 C. Сошники, які використовувалися під час дослідження представлено на рис. 3.4



а)



б)

Рис. 3.4. Сошники посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C: а – внутрішня сторона; б – зовнішня сторона.

Результати досліджень по відносній зносостійкості дисків сошника посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C представлено на рис. 3.5

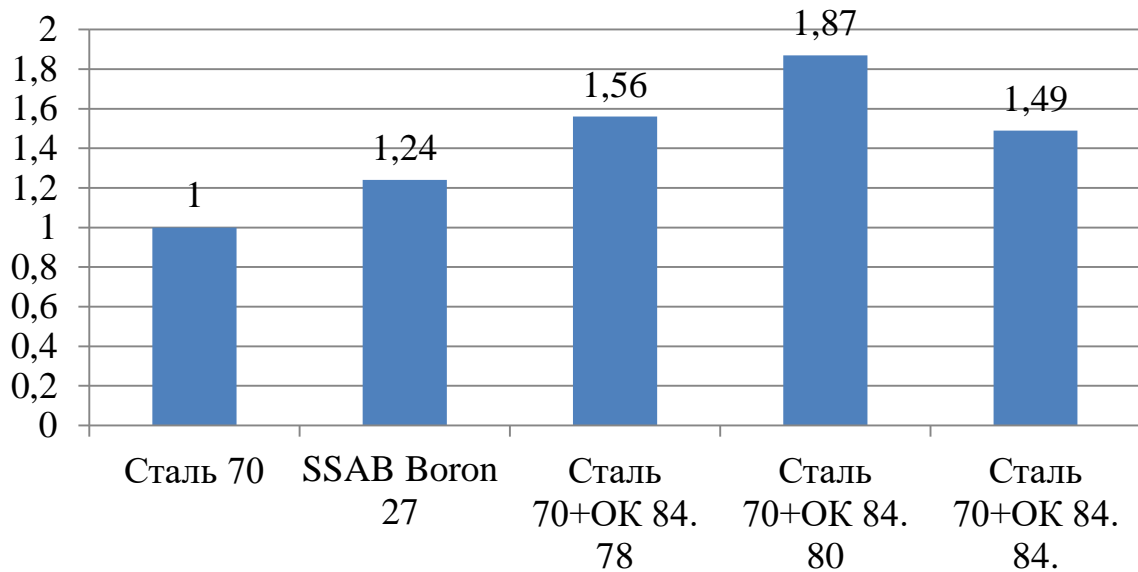


Рис. 3.5. Результати досліджень відносної зносостійкості сошників посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C.

Результати експлуатаційних досліджень підтверджують лабораторні дослідження, найвищою зносостійкістю володіє сталь 70Г з нанесеним зносостійким шаром електрода ОК84.80. Загальне зменшення відносної зносостійкості нанесених матеріалів пов'язано з більш агресивним абразивним середовищем в порівнянні з лабораторними дослідженнями. В реальних умовах абразивні частинки знаходяться в більш закріпленому стані, а також наявний хімічний фактор, який інтенсифікує процес абразивного зношування поверхні сошників.

Під час експлуатаційних досліджень виявлено конструкційну особливість сошника, що прискорює інтенсивність зношування внутрішньої поверхні сошника посівного комплексу. Чистик сошника був виготовлений з того ж матеріалу, що і дисковий сошник (рис. 3.6). В процесі експлуатації це призводило до виникнення процесів мікрорізання поверхні сошника, за рахунок закріплення абразивних частинок в просторі між сошником і чистиком (рис. 3.7) на відміну від зовнішньої поверхні де переважаючим видом зношування було полідеформаційне руйнування (рис. 3.8).



Рис. 3.6. Чистик сошника посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 С.



Рис. 3.7. Сліди від процесів мікрорізання робочої поверхні абразивними частинками ґрунту.



Рис. 3.8. Поверхня сошника посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 С де переважаючим видом зношування є полі деформаційне руйнування.

Для уникнення процесів мікрорізання на поверхні сошника посівного комплексу необхідно використовувати більш «м'який» матеріал для виготовлення чистика робочого органу.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Найвищою стійкістю до абразивного зношування, як в лабораторних так і в експлуатаційних умовах володіє сталь 70Г з нанесеним зносостійким шаром електрода ОК84.80. Нанесення зносостійкого шару дозволить підвищити зносостійкість сошника посівного комплексу в 1.87 раза.

Для уникнення процесів мікрорізання на поверхні сошника посівного комплексу необхідно використовувати більш «м'який» матеріал для його виготовлення.

## ВИСНОВКИ

В лабораторних досліджень визначали стійкість до абразивного зношування зразків виготовлених зі сталі SSAB Boron 27, сталі 70Г та зразків сталі 70Г з нанесеними зносостійкими покриттями ручним дуговим зварюванням електродами ОК 84. 78, ОК 84. 80 та ОК 84. 84. В лабораторних досліджень найвищу зносостійкість продемонстрували зразки виготовлені зі сталі 70Г з нанесеним зносостійким покриттям електродами ОК 84. 80.

Для підтвердження отриманих результатів лабораторних досліджень були проведені експлуатаційні випробовування по визначенню зносостійкості та довговічності робочих органів посівного комплексу Väderstad Rapid A 800 C. Для кожного варіанту було виготовлено по 5 дослідних зразків (робочих органів) і встановлено на посівний комплекс осінню 2019 року. Експлуатації випробовування підтвердили лабораторні дослідження по визначенню матеріалів робочих органів та зносостійких покриттів для забезпечення підвищеної їх довговічності.

Під час проведення досліджень виявлено конструкційну особливість чистика сошника, яка призводила до інтенсифікації процесу абразивного зношування. В результаті чого запропоновано використовувати більш «м'який» матеріал для виготовлення чистика робочого органу.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / под. ред. М.М. Севернева. Минск : Беларус. навука, 2011. 333 с.
2. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2017. 278 с.
3. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.04 / Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 447 с.
4. Новиков В. С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин : монография. Москва : ФГБОУ ВПО МГАУ им В.П. Горячкина. 2013. 112 с.
5. Шейнман Е. Л. Абразивный износ. Обзор Американской печати. Трение и знос. 2005. Том. 26, №1. С. 100-111.
6. Денисенко М. Опальчук А. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин. Вісник ТНТУ. 2011. Спецвипуск, Частина 2. С. 201-210.
7. Каденко В. С. Аналіз методів підвищення довговічності ґрунтообробних робочих органів. Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Випуск 145. 2014. С. 144-148.
8. Ткачев В. Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания. Москва : Машиностроение, 1995. 336 с.
9. Борак К. В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.04 / Житомирський національний агроекологічний університет. Житомир, 2013. 217 с.

10. Сидоров С. А. Обоснование эффективных способов повышения работоспособности и износостойкости сферических дисков почвообрабатывающих машин: дис. канд. ... техн. наук. 05.20.04 / Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. Москва, 1996. 320 с.

11. Офіційний сайт фірми: веб сайт. URL : Väderstad <https://www.vaderstad.com/> (дата звернення. 09.11.2020).

12. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976.

13. Винарский М. С., Лурье М. В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев : Техника, 1975. 168 с.

14. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Москва : Мир, 1980. 611 с.