

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Олександрович Олександр Павлович

УДК 621.791.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОДИФІКУВАННЯ
ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ В ПРОЦЕСІ ПЛАЗМОВОГО
НАПЛАВЛЕННЯ**

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

_____ О.П. Олександрович

Керівник роботи

Борак К.В.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Олександрович Олександр Павлович. Розробка технології модифікування зносостійких покриттів в процесі плазмового наплавлення.
– *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

В магістерській роботі обґрунтовано необхідність використання способу плазмово-порошкового наплавлення для захисту поверхні робочих органів сільськогосподарських машин. Проведено науково-обґрунтований вибір матеріалу для наплавлення ПС-12НВК-01 та модифікатора – нанорозмірного порошкового матеріалу Al_2O_3 для забезпечення високих показників ударно-абразивної зносостійкості. Розрахунково-експериментальним шляхом розроблено технологію плазмово-порошкового наплавлення композиційною сумішшю ПС-12НВК-01 та нанорозмірного модифікатора Al_2O_3 в кількості 0,5 – 3,0 % мас. Виявлено механізм подрібнення зерна в отриманих модифікованих захисних покриттях з 6 до 10 балів, а також перетворення монокарбіду вольфраму WC у вихідному покритті на вторинний карбід дивольфраму W_2C , що є фактором додаткового збільшення зносостійкості наплавлених покриттів.

Визначено раціональний вміст нанорозмірного модифікатора Al_2O_3 у композиційній суміші з ПС-12НВК-01 близько 1%, що дозволяє збільшувати абразивну стійкість захисних покриттів у 2,2 рази порівняно з покриттями, отриманими вихідним матеріалом, а також підвищити у 1,4 рази стійкість до ударних навантажень, що відповідає умовам тривалої експлуатації сільськогосподарських машин.

Ключові слова: зміцнення, знос, твердість, модифікатор, плазмове наплавлення.

ANNOTATION

Alexandrovich Alexander Pavlovich. Development of technology for modification of wear-resistant coatings in the process of plasma surfacing.. – 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.

In the master's thesis the necessity of using the method of plasma-powder surfacing to protect the surface of the working bodies of agricultural machinery is substantiated. A scientifically substantiated choice of material for surfacing ПС-12HBK-01 and modifier - nanosized powder material Al_2O_3 to ensure high performance of impact and abrasion resistance. The technology of plasma-powder surfacing with a composite mixture of ПС-12HBK-01 and nanosized Al_2O_3 modifier in the amount of 0.5 - 3.0% of the mass was developed by calculation and experiment. The mechanism of grain grinding in the obtained modified protective coatings from 6 to 10 points, as well as the conversion of tungsten monocarbide WC in the original coating to secondary carbide of tungsten W_2C , which is a factor in further increasing the wear resistance of welded coatings.

The rational content of nanosized Al_2O_3 modifier in the composite mixture with ПС-12HBK-01 is determined to be about 1%, which allows to increase the abrasion resistance of protective coatings 2.2 times compared to coatings obtained with the source material, as well as increase 1.4 times impact resistance loads that meet the conditions of long-term operation of agricultural machinery.

Key words: hardening, wear, hardness, modifier, plasma surfacing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТУГОПЛАВКИХ СПЛАВІВ ПРИ УДАРНО-АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОРОЗМІРНОГО МОДИФІКАТОРА Al_2O_3 НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ, НАПЛАВЛЕНИХ СПОСОБОМ ПЛАЗМОВО-ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ.....	22
ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність роботи. У процесі експлуатації сільськогосподарських машин виникає низка проблем, що призводять до аварійних зупинок. Насамперед, це пов'язано з тим, що при роботі основних робочих органів сільськогосподарських машин, під впливом зношування, відбувається руйнування робочих поверхонь, що вимагає підвищеної уваги до їхньої зносостійкості.

Все більшого поширення набувають технології модифікування в процесах наплавлення, що використовуються для підвищення механічних і спеціальних властивостей наплавленого сплаву, засновані на введенні тугоплавких частинок. При цьому застосування модифікаторів з розмірами частинок 6...100 нм дозволяє суттєво знизити розміри зерна структури сплаву за рахунок мінімального початкового радіусу центру кристалізації та рівномірного розподілу частинок модифікатора в розплавленому сплаві при відносно малому вмісті їх за масовою часткою.

Сучасні технології нанесення захисних покриттів націлені на підвищення абразивної зносостійкості деталей машин і не дозволяють у необхідній мірі їх експлуатацію в умовах комбінованого ударно-абразивного зношування. Перспективним напрямком є застосування композиційних матеріалів, що містять 20-35% зміцнюючої фази, що є оптимальним складом для роботи покриттів в умовах ударно-абразивного зношування, а також застосування модифікування для зміни структури і як наслідок, підвищення механічних властивостей основи захисних покриттів, що визначає стійкість до ударних навантажень.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу плазмового наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі **завдання:**

- виконати огляд та обґрунтувати напрями підвищення післяремонтного ресурсу робочих органів сільськогосподарських машин;

– обґрунтувати параметри плазмового наплавлення для отримання якісних зносостійких покриттів для деталей, які піддаються ударно-абразивному зношуванню;

– провести лабораторні дослідження на зношування із встановленням оптимальних режимів плазмового наплавлення при нанесенні модифікованих зносостійких покриттів.

Об'єкт дослідження: процес зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин за.

Предмет дослідження: технологія зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин плазмовим наплавленням з використанням модифікаторів.

Методи дослідження. Дослідження проведені з використанням загальнонаукових методів пізнання, прикладної фізики та механіки. Експериментальні дослідження проводилися за стандартними загальновідомими методиками з використанням сучасного обладнання. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Борак К.В., Самчук Д.С., **Олександрович О.П.**, Козловець С.В. Застосування системного підходу для підвищення зносостійкості елементів трибосистеми. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників *«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки»*, 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 157-159.

2. Борак К.В., Самчук Д.С., **Олександрович О.П.**, Козловець С.В. Аналіз конструкції робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 9-10.

3. Борак К.В., **Олександрович О.**, Самчук Д., Вашук Ю. Аналіз абразивних властивостей ґрунтів. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 179-181.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонована технологія підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин, які піддаються абразивному зношуванню.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 31 сторінка комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 11 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТУГОПЛАВКИХ СПЛАВІВ ПРИ УДАРНО- АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Відомо, що всі зносостійкі сплави мають високий вміст карбідів, боридів і карбобіридів, що забезпечує високу твердість і жароміцність захисних покриттів [1-11].

Згідно з проведеними дослідженнями [5, 10, 11] захисні покриття, що працюють при ударно-абразивному зношенні, також включають дві складові частини – основу та зміцнювальну фазу. Основа є в'язкою матрицею, що утримує тугоплавкі сполуки, що є зміцнюючою фазою. Основа захисних покриттів може бути феритною, феритно-перлітною, аустенітною, мартенситною та аустенітною (з метастабільним аустенітом, що перетворюється при механічному впливі на нього на мартенситу). Однією із сприятливих основ є метастабільний аустеніт, а також аустеніт [5]. Причини цього в тому, що при знаходженні карбідів в аустенітній основі вони міцно утримуються через високу пластичність матриці. При дії абразиву аустеніт має можливість пластичної деформації, тому частинки карбідів не викришуються, а стираються. Негативною якістю аустенітної основи є висока швидкість зношування, тому для зменшення зношування додаються додаткові елементи, що підвищують її твердість. Чиста нікелева основа не може застосовуватися, оскільки швидкість її зношування суттєво перевищує зношування карбідів, і вони просто вищерблюються при оголенні [5]. Метастабільний аустеніт, маючи всі представлені переваги аустеніту, має ще й можливість переходу в мартенсит. Механізм полягає в тому, що при механічних впливах тонкий поверхневий прошарок переходить в мартенсит, утворюючи захист аустеніту твердою оболонкою, при цьому решта аустеніту міцно утримує карбідів. Недоліком є труднощі одержання, пов'язаних зі складним складом матеріалів та операціями після наплавлення.

Інші типи основ також мають переваги та недоліки. Так при абразивному зношуванні головним та загальним недоліком є слабка здатність утримувати зміцнюючі фази. Зміцнююча фаза складається, як правило з карбідів, боридів, карбоборидів, алюмініїв [5, 11].

Також як зміцнювальну фазу може застосовуватися технічний корунд [1, 2]. Для зміцнюючої фази основними факторами є тип фази (карбід, борид, карбоборид, тощо), і ступеня порядку Me_xC_x (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Твердість різноманітних з'єднань карбідів, боридів, НВ, МПа

Тип карбїду	Тип борїду	Твердість НВ, МПа
Fe_2C	-	10500
Cr_2C_2	-	12500
WC	-	17500
Cr_7C_3	-	18000
W_2C	-	30000
VC	-	21000
TiC	-	32000
-	W_2B_5	26000
-	VB_2	20800
-	TiB ₂	33700
-	B_4C	50000

Відомо, що з підвищенні ступеня дальності порядку карбїдів його твердість збільшується, забезпечуючи більшу зносостійкість отриманих захисних покриттів [3]. Найбільш поширеним елементом у зміцнюючій фазі є карбїд і меншою мірою бориди. Так, в основному застосовуються карбїди хрому, що утворюються в процесі наплавлення і карбїди вольфраму, титану, ванадію [4], що безпосередньо вводяться в наплавний матеріал.

Як видно з таблиці, представлені види карбідів мають високу твердість і тугоплавкість. У роботах [5, 11] та інших зазначено, що при розробці захисних покриттів в умовах ударного або ударно-абразивного зношування існує максимально допустимий обсяг зміцнюючої фази в покритті, який знаходиться в діапазоні 20-35% мас. частки. Зумовлено це тим, що при підвищенні у складі захисного покриття зміцнюючої фази більше 35% відбувається суттєве збільшення внутрішніх напружень, зниження кількості пластичної фази (основи), що в кінцевому рахунку, призводить до зниження ударної в'язкості.

Це пов'язано з фактором, при якому абразив може не тільки ковзати по поверхні, а й проникати між пластичною основою та карбідом, що призведе, до випадання частки карбіду. При цьому необхідно відзначити, що присутність у сплаві боридів призводить до суттєвого підвищення зносостійкості, але стійкість до ударного зносу знижується в рази через більші значення твердості (табл. 1.2.) [5].

Таблиця 1.2 – Характеристики наплавленого металу без бору та з бором

Показник	Тип наплавленого металу			
	14X20	14X20P	12X7B9	12X7B9P
Тип карбідів	M7C3	M7C3+M123(C, B)6	M ₂ ;C6'M6C	M2 ₃ (C, B)6
Твердість HV	447	730	400	820
Коефіцієнт зносостійкості	1,4	2,2	2	4,9
Кількість ударів до руйнування	300	30	140	6

Таким чином очевидно, що для підвищення стійкості проти зношування покриття з аустенітною основою та зміцнюючою фазою в кількості до 30% повинні містити карбіди WC, TiC, Cr₂₃C₆, W₂C. До того ж вони мають більшу технологічність порівняно з покриттями на феритно-перлітній основі з

зміцнюючою фазою у кількості 85% (НВ 1750 кгс/мм²) у вигляді вольфраму одноатомного карбиду (WC).

Подані на рис. 1.1 гістограми показують, що при різній структурі основи захисного покриття та зміцнюючої фази існують зміни твердості покриттів, яка є одним із показників зносостійкості при ударному та абразивному зношуванні [5].

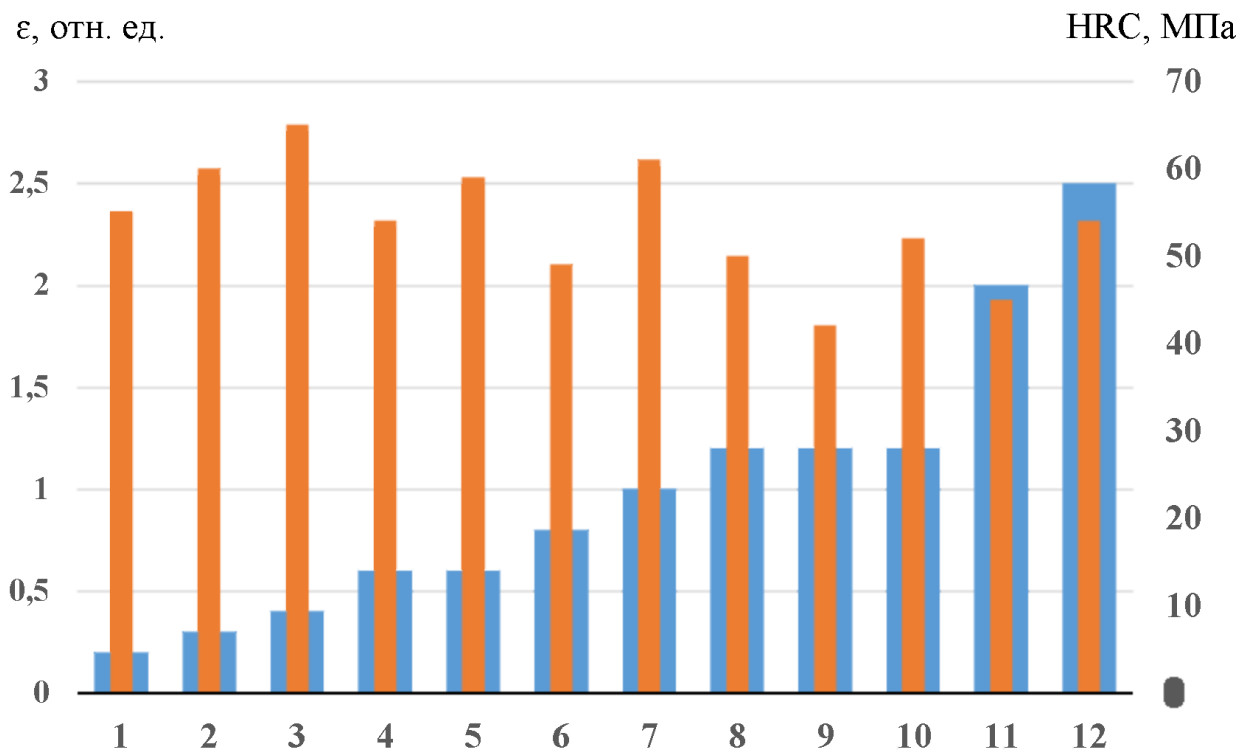


Рис. 1.1. Твердість та зносостійкість наплавленого металу з різною структурою: синій колір – зносостійкість при ударно-абразивному зношуванні; жовтий колір – твердість. 1 – 25X25P1C2 (ледебурит + карбід); 2 – 40X30P1C1 (ледебурит + карбід); 3 – карбід вольфраму (ледебурит + карбід); 4 – 32X20C2P1T1 (ледебурит + карбід); 5 – 25X27P1C1 (ледебурит + карбід); 6 – 30X27H4C3 (ледебурит + карбід); 7 – 30X6Г8C1 (ледебурит + карбід); 8 – 20X13 (аустеніт + карбід); 9 – 30X6Г5 (аустеніт + карбід); 10 – 30X25P2C1 (ледебурит + карбід); 11 – 09X4B18Ф (аустеніт + мартенсит + карбід); 12 – 12X15B13Ф2 (аустеніт + мартенсит + карбід)

Аналіз гістограм показав, що найкращий опір до абразивного зношування мають матеріали з ледебуритною структурою основи та зміцнюючою фазою у вигляді карбідів. Але більший опір ударним навантаженням надають матеріали,

що мають аустенітну структуру і зміцнюючу фазу у вигляді різних карбідів, нітридів, карбоборидів, через утворення більш в'язкої основи властивістю поглинання енергії ударів, а також високої міцності утримання карбідів в основі. З цього випливає, що необхідний тип матеріалів, застосування якого дозволить підвищити ресурс деталей ґрунтообробних машин та володітиме серед усіх представлених матеріалів оптимальною стійкістю до абразивного зношування та ударних навантажень є матеріали з карбідонасиченою аустенітною основою.

Велика кількість промислово випущених порошкових матеріалів має аустенітну структуру, яка має кращі показники стійкості до ударного зношування. Це дозволяє застосовувати їх для захисту від ударно-абразивного впливу. Наплавні матеріали типу електродів, дротів суцільного перерізу або порошкових дротів мають такі недоліки:

- 1) високе перемішування наплавленого з основним матеріалом;
- 2) складність автоматизації процесу наплавлення;
- 3) нерівномірність хімічного складу захисного покриття;
- 4) високі витрати при виготовленні наплавних матеріалів, що містять тугоплавкі матеріали.

Отже, при наплавленні захисних покриттів у нашому випадку необхідне застосування композиційних порошкових матеріалів на основі нікелевої зміцненої додатковими легуючими елементами і карбідної складової в кількості 20-35%.

Як відомо, нікелевий самофлюсуючий порошковий сплав, з карбідом вольфраму ПС-12НВК-01 (табл. 1.3), ефективно використовується як зносостійке і корозійностійке покриття [3, 6].

Таблиця 1.3 – Хімічний склад наплавочного металу, мас %

Марка	C	B	Si	Ni	Cr	Fe	WC
ПС-12НВК-01	0,3-0,5	1,4-1,7	2,0-2,3	>>	7,0-10,0	>3,4	30-35

Цей композиційний метал має низьку температуру плавлення (980-1080 °С). Наявність у складі кремнію та бору сприяє самофлюсуванню та хорошій змочуваності поверхні, а присутність карбіду вольфраму (WC) в кількості ~35% дозволяє підвищити твердість і зносостійкість [7-9]. Наплавочний матеріал ПС-12НВК-01 являє собою порошкову композиційну суміш гранульованого ПГ-10Н-01, форма частинок сферична, грануляція порошку ~40 мкм. Другою складовою є карбід вольфраму (WC), тип часток дроблений, грануляція частинок ~100 мкм.

Зносостійкі покриття системи Ni-Cr-B-Si-Fe/WC наносять плазмовим, лазерним або індукційним наплавленням у яких як джерело теплоти застосовується висококонцентроване джерело енергії плазма, лазер, СВЧ або напиленням [1]. Наплавлений зносостійкий шар характеризується високим опором проти абразивного зношування, ударних навантажень, корозії та окислення при нормальних та підвищених температурах до 650°C.

Тверді сплави, що самофлюсуються, на основі нікелю з шістьма і більше компонентами є багатофазною системою, склад якої змінюється внаслідок перемішування компонентів і взаємних дифузійних процесів, що протікають між основним і наплавленим металами, а також в результаті видалення частини флюсуючих компонентів, таких як кремній і бор, з легкоплавкими шлаками [2]. На формування структури напавленого зносостійкого шару впливають процеси нерівноважної кристалізації [5].

Напавлені з такими сплавами покриття мають високі технологічні властивості завдяки наявності в їх структурі тугоплавких сполук (карбідів, боридів та інших). Характер карбідної фази (її кількість, кристалографічна будова, форма і розташування), що залежить від хімічного складу сплаву, в значній мірі визначає властивості: зносостійкість, твердість, ударостійкість.

Так, зносостійкість залежить від типу карбідів, що утворюються, та їх кількості [3, 4]. Наприклад, покриття з кубічним карбідом хрому ($Me_{23}C_6$) мають більш високий опір абразивного зношування, ніж покриття з тригональним карбідом хрому (Me_7C_3). «Утворення у структурі твердих і крихких боридів та

легування бором карбідів підвищує зносостійкість та твердість наплавленого металу при підвищеній температурі, одночасно знижуючи ударну в'язкість» [5].

У роботах [6, 7] показано, що зносостійкість підвищується, якщо структура має вищий бал зерна і в ній більш рівномірно розподілені тугоплавкі сполуки у вигляді карбідних та карбоборидних фаз [2, 8]. Велика кількість меж розділу у структурі перешкоджає активному руху дислокацій, їх змиканню та виникненню «порожнин», а згодом — утворенню тріщин та проникненню частинок абразиву. Це сприяє локалізації втомного руйнування в менших обсягах та зниженню інтенсивності зношування при терті [6]. Частинки боридів, більш твердих ніж цементит, є перешкодами для переміщення дислокацій і не дозволяють їм накопичуватися в об'ємні дефекти типу тріщин. Завдяки високому ступеню диференціювання складових евтектики названі явища локалізуються у невеликих міжпластинчастих обсягах евтектик [9]. При цьому чим м'якшою та пластичнішою є евтектика, тим більшу частку енергії тертя вона сприймає і тим більшу має здатність релаксувати напруження.

Зносостійкість наплавлених шарів визначається не тільки наявністю в сплаві карбідів та інших тугоплавких сполук але і будовою матриці [3], яка в основному для зносостійких матеріалів є аустенітною.

Однак і в аустенітній матриці для отримання сплавів з високою зносостійкістю ударно-абразивною кількістю карбідів повинна бути в певних межах. Їх надмірне збільшення може зменшити зносостійкість металу, так як карбіди починають викришуватися, а не зношуватися [5, 13]. При формуванні зміцненого шару має місце текстурування нікелевих зерен у напрямку відведення тепла. Структура такого типу має знижену схоплюваність при терті [6].

Таким чином, твердість та зносостійкість покриттів при розробці технології значною мірою залежать від їх структури сплаву (у першу чергу - від розміру та кількості включень карбідних, боридних, карбоборидних та інших тугоплавких сполук). Тому розробку технології наплавлення слід здійснювати з

урахуванням конкретних результатів впливу температурно-часових режимів на структуру і фазовий склад зносостійкого покриття, що вивчається.

Структуру наплавленого металу можна змінити за допомогою металургійних та технологічних прийомів: впливом на зварювальну ванну додатковими компонентами (модифікаторами); введенням елементів, що утворюють надлишкові фази.

Технічно вплив модифікування при зварюванні та наплавленні здійснюють введенням модифікуючого компонента безпосередньо з основним. При зварюванні, наплавленні із застосуванням модифікаторів змінюються умови при кристалізації, у тому числі розподіл температур а отже і швидкість охолодження, проплавлення основного металу і хімічний склад металу зварювальної ванни. Дія тугоплавких частинок (модифікаторів) пояснюється появою у розплавленому металі додаткових центрів кристалізації, або місць переохолодження, що зумовлює збільшення швидкості утворення природних центрів кристалізації.

Одночасне зменшення розмірів зерна та дендритного осередку можливе, якщо одночасно зі збільшенням швидкості зародження центрів кристалів зменшується швидкість об'ємного зростання за рахунок підвищення температури розплаву та наближення зони зростання до фронту кристалізації.

Ефективність використання модифікаторів очевидна при збільшенні швидкості кристалізації, тому що саме при великих швидкостях процесу, коли поверхня розділу фаз збільшується, концентрація домішки в прикордонному дифузійному шарі і можливість механічного захоплення домішки кристалами значно зростає.

Слід зазначити, що застосування оксидів як модифікаторів має важливу економічну мету, так як оксиди – найдешевші тугоплавкі матеріали, а нанорозмірний Al_2O_3 – один із найпоширеніших нанорозмірних матеріалів.

Висновки по розділу

З вищесказаного можна зробити висновок про необхідність та доцільність проведення дослідження модифікування не вже відомими тугоплавкими сполуками, такими як карбіди та бориди, та визначити ступінь підвищення зносостійкості захисних покриттів при модифікуванні нанорозмірним порошковим модифікатором Al_2O_3 .

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вимірювання мікротвердості проводилися: 1) у зоні основного металу; 2) біля межі сплавлення основного металу та наплавленого сплаву; 3) у зоні наплавленого сплаву у напрямку, перпендикулярному межі сплавлення.

Схема таких областей наведено відповідно до рис. 2.1.

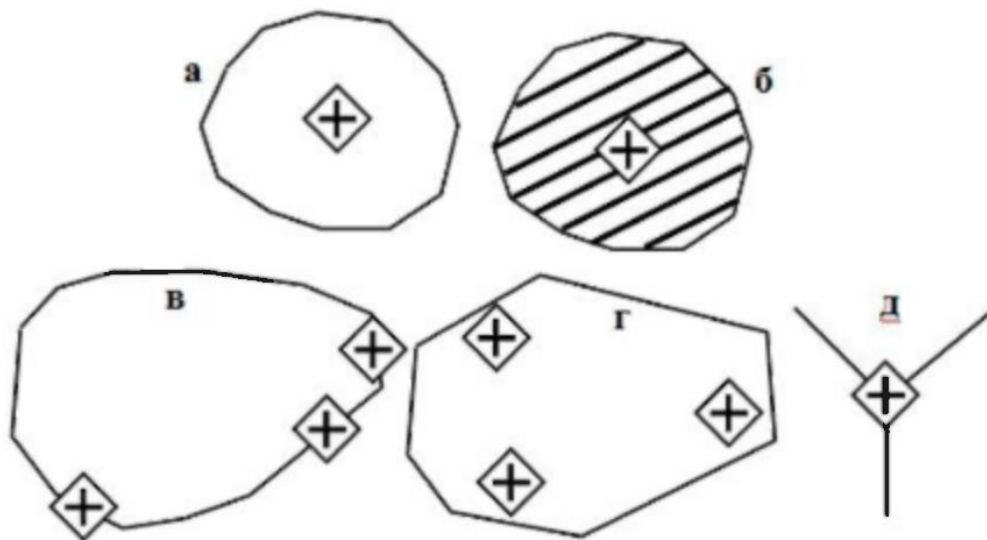


Рис. 2.1 – Схематичне зображення ділянок основного металу та наплавленого сплаву, в яких проводилися вимірювання мікротвердості

Всі вимірювання мікротвердості були виконані для зразків наплавлених композиційним матеріалом ПС-12НВК-01 та композиційною сумішшю ПС-12НВК-01 з нанорозмірним Al_2O_3 у кількості 0,5-3,0%.

Однією з найчастіше оцінюваних трибологічних властивостей матеріалів є зносостійкість, тобто. здатність поверхні матеріалу чинити опір зношуванню в певних умовах тертя, що оцінюється величиною зворотною швидкості зношування або інтенсивності зношування. Практично в будь-яких умовах експлуатації деталей, вузлів машин та обладнання різного призначення є абразивне зношування. Відповідно до [8] «абразивне зношування – це механічне

зношування матеріалу в результаті ріжучої або дряпаючої дії твердих тіл або твердих частинок».

Випробування зносостійкості покриттів, наплавлених порошковим композиційним матеріалом ПС-12НВК-01 і покриттів, наплавлених композиційною сумішшю порошкових матеріалів ПС-12НВК-01, що містить нанорозмірний Al_2O_3 в кількості 0,5-3,0%, проводилися щодо еталона – сталі 45 у відпаленому стані. Для цього із наплавлених захисних покриттів виготовлялися зразки відповідно до ескізу, представленого на рис. 2.2.

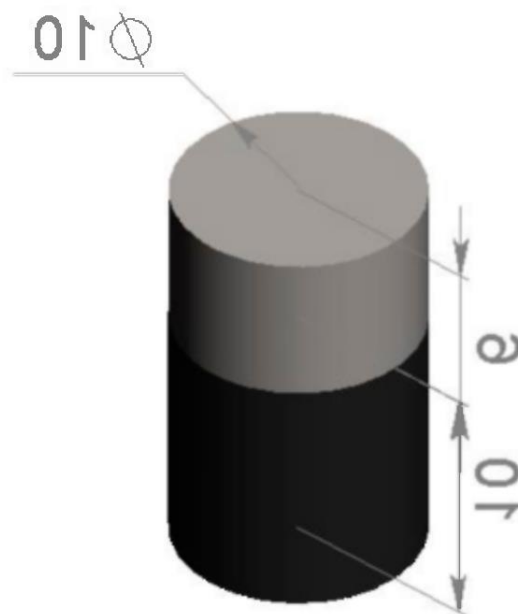


Рис. 2.2. Ескіз виготовлення зразка для випробовування

Випробування зразків на зносостійкість при абразивному зносі проводилися в умовах жорстко закріпленого абразиву [8]. Сутність випробувань полягала в одночасному стиранні зразків за однакових умов, що дозволило отримати значення відносної зносостійкості (ϵ), що вказує на збільшення в кратну кількість разів зносостійкості при $\epsilon > 1$ або зниження зносостійкості при $\epsilon < 1$.

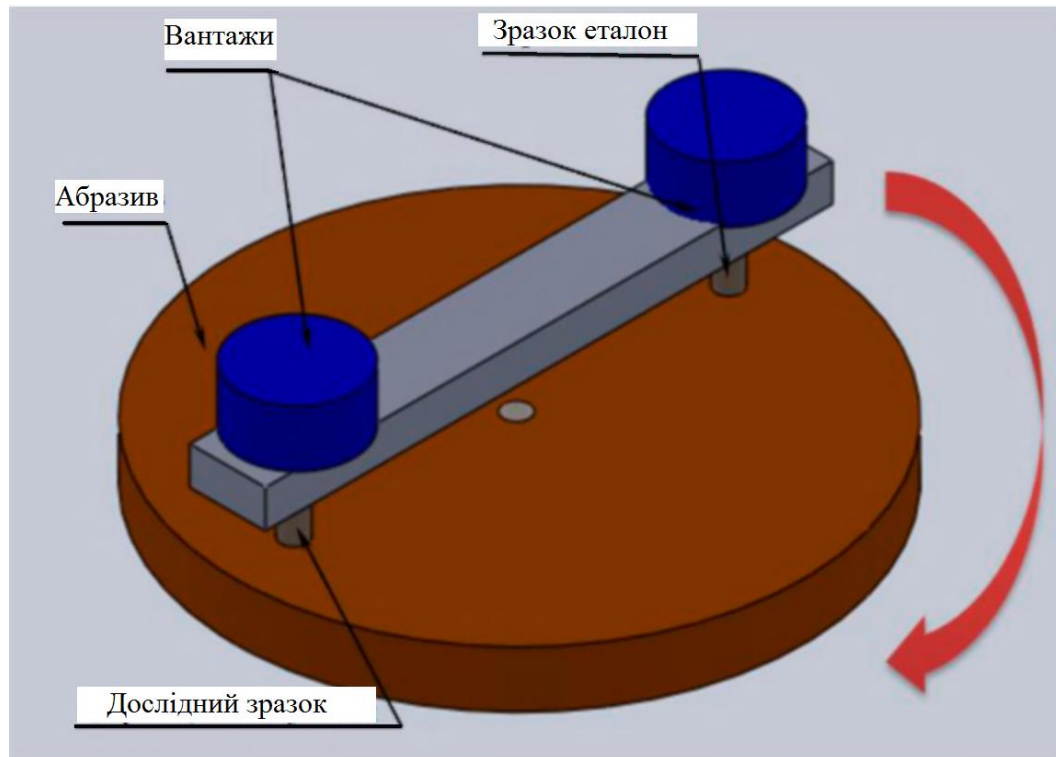


Рис. 2.3. Принцип дослідження на абразивне зношування

Випробування на зносостійкість включали кілька класичних етапів, представлених малюнку 2.4. На першому етапі зразки проходять стадію притирання, коли поверхні зразків притираються до поверхні абразиву для визначення реального зносу покриття. Цей етап супроводжується високою швидкістю зношування через присутність на поверхні в'язкої основи без зміцнюючої фази. Як тільки на поверхні оголюються тугоплавкі сполуки (карбіди, бориди), відбувається різке зниження зношування, що означає перехід на наступний етап. Другим етапом є реальне зношування поверхні покриттів, яке враховується при визначенні відносної зносостійкості. Після того, як проходить етап реального зносу, стирання переходить на третій етап (критичний знос), при якому швидкість зносу у багато разів перевищує реальний але, як правило, трохи більший, ніж етап притирання. Перехід на даний етап говорить про закінчення випробувань і, як перший етап, не враховується при порівняльному аналізі.

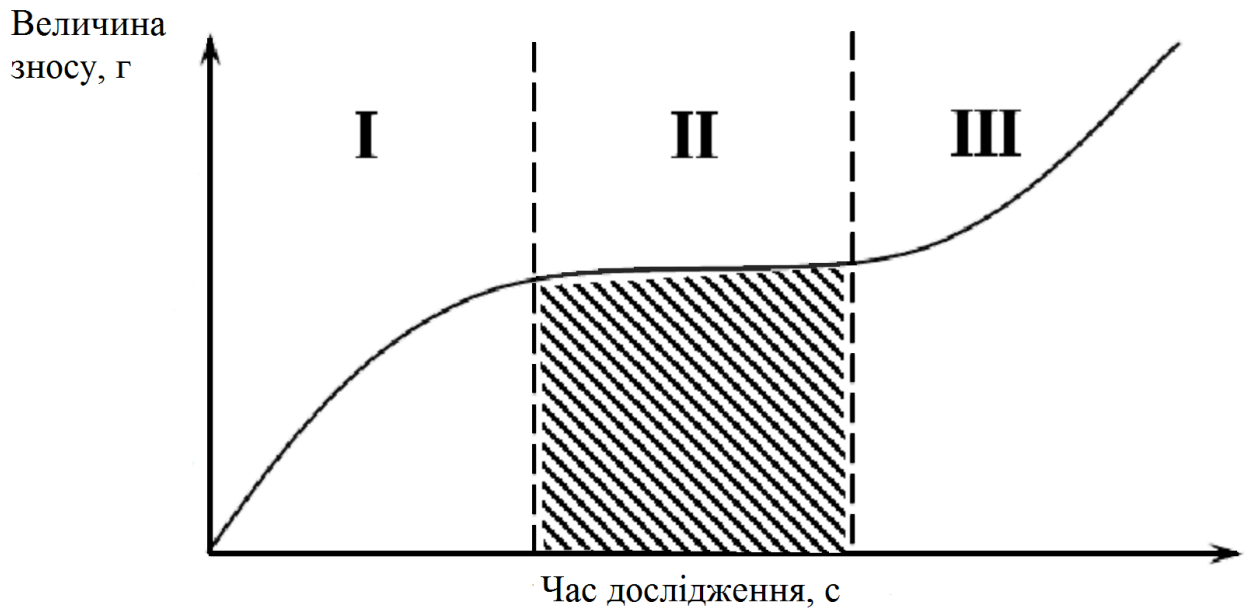


Рис. 2.4. Характер зносу зразків у процесі абразивного зношування I – етап притирання поверхні зразка; II – етап реального зносу зразка; III – етап критичного зносу зразка, що перевищує швидкість реального зносу

Для визначення стійкості до ударних навантажень досліджувалися як чисельні показники ударної в'язкості, а також характер зламу захисних покриттів. Характер зламу є характеристикою, визначальною стійкість захисних покриттів при дії на них ударних навантажень [7]. Сутність випробування полягає у руйнуванні зразка у процесі випробувань на ударну в'язкість [2]. Надалі методом растрової електронної мікроскопії досліджується зона руйнування зразків. Основним показником стійкості матеріалів впливу ударних навантажень є ступінь пластичності основи. Тому в ході робіт було виконано детальне вивчення зображень структури, отриманих методом РЕМ та визначено зміни характеру зламу зразків модифікованого наплавного матеріалу та зразків вихідного складу.

Випробування проводилися на маятниковому копрі МК-30А. Отримані зразки досліджувалися за допомогою растрової мікроскопії на електронному мікроскопі Tesla BS-301. Зразки для випробувань на ударну в'язкість виконували відповідно до ДСТУ зразок II (рисунок 2.5).

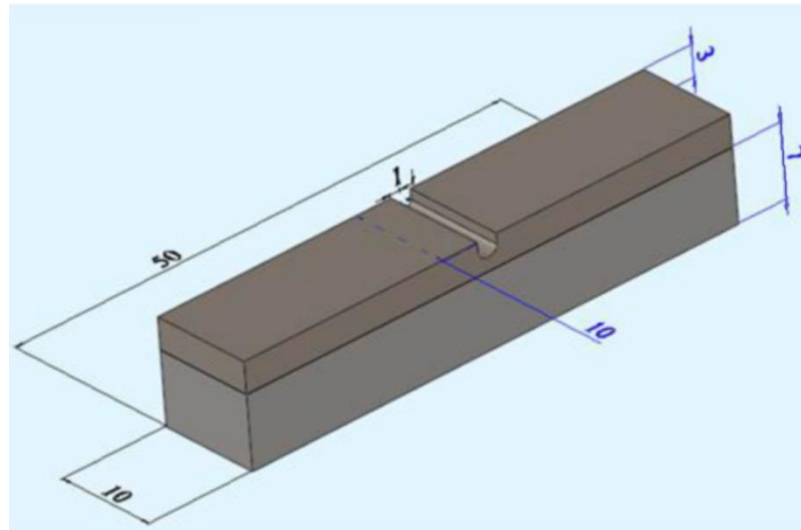


Рис. 2.5. Схема зразків для випробовування на ударну в'язкість

Висновки по розділу 2

Таким чином, в даному розділі магістерської роботи наведено обґрунтований комплекс методик для послідовних досліджень впливу модифікування нанорозмірним модифікатором на структуру та властивості нанесених покриттів. Як показано, всі дослідження базуються на стандартних методиках, що визначає достовірність здобутих наукових результатів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОРОЗМІРНОГО МОДИФІКАТОРА Al_2O_3 НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ, НАПЛАВЛЕНИХ СПОСОБОМ ПЛАЗМОВО-ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

У цьому розділі магістерської роботи наведено опис робіт, пов'язаних із проведенням випробувань, що дозволяють визначити зміну експлуатаційних показників захисних покриттів. Так, у попередніх дослідженнях встановлено, що модифікування нанорозмірним Al_2O_3 дійсно призводить до суттєвої зміни структури та фазового складу захисних покриттів, що очікувано позначиться на поліпшенні механічних характеристик покриттів, наплавлених з додатковим введенням нанорозмірного модифікатора, а також надалі – експлуатаційних характеристик реальних виробів в умовах ударно-абразивного зношування робочих органів сільськогосподарських машин.

Як показали результати дослідження, вимірювання мікротвердості покриттів підтверджують висновки про те, що в дендритній структурі немодифікованого зразка значення мікротвердості нестабільні та абсолютні показники знаходяться в межах 240-420 МПа, що представлено на рис 3.1,а. При наплавленні композиційними матеріалами з модифікатором, забезпечується формування карбідонасиченої структури, що має приблизно вдвічі вищі показники мікротвердості (рис. 3.2, б-г). Також важливо відзначити, що показники мікротвердості модифікованих захисних покриттях мають менший розкид значень для зразків із вмістом Al_2O_3 0,5-1,5 % мас. по всій товщині покриття, що є критерієм стабільності показників високої абразивної зносостійкості

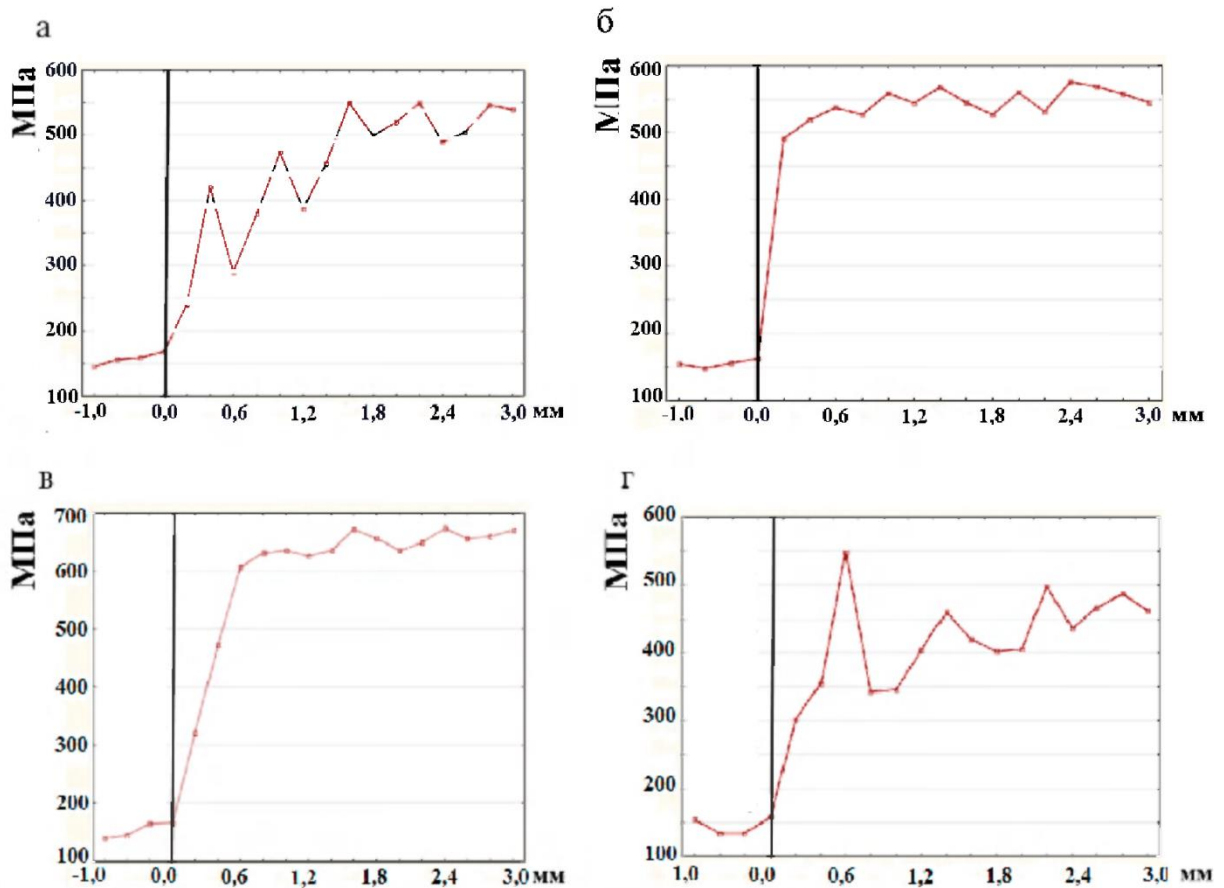


Рис. 3.1. Розподіл значень мікротвердості наплавлених захисних покриттів:
а – ПС-12НВК-01; б - ПС-12НВК-01+0,5% Al_2O_3 ; в - ПС-12НВК-01+1,0% Al_2O_3 ; г
- ПС-12НВК-01+3,0% Al_2O_3

Для дослідження зносостійкості багатофазних систем зносостійких наплавочних сплавів, що мають композиційну структуру застосовуються випробування на абразивну стійкість, які ґрунтуються на багаторазовому зношуванні полірованих поверхонь зразків в умовах закріпленого абразиву [8, 9].

Зразки наплавленого металу зношували об листовий абразив (шкурку) №6 з подальшим очищенням та дослідженням після кожного періоду стирання та встановленням нового абразиву. Аналіз зносу проводили постійним зважуванням зразків на аналітичних терезах. Детальне вивчення показало, що у процесі випробування відбувається зміщення зносу зразка однією стороною, що

призводить до зміни сил зносу, оскільки змінюється площа, на яку впливає сила вантажів, які тиснуть на зразок.

Для усунення цієї проблеми було змінено принцип кріплення: у 2,5 рази було збільшено шийку для встановлення кріплення зразка та вантажу. Також для підвищення схоплювання було застосовано зміну періоду початку руху диска з абразивом, при якому за рахунок малого прискорення обертання знижувалися сили, що виникають при зачепленні кромки зразка об абразив, що призвело до зниження сил протидії, які виникають внаслідок початку обертання. Експериментально було встановлено, що після модернізації утворення кута нахилу зразків у бік обертання відсутнє.

Результати випробувань зразків дозволяють встановити, що збільшення кількості модифікуючого компонента суміші, який викликає зміну структурно-фазового складу, призводить до зниження зносу. При цьому спостерігається суттєвий підйом зносостійкості у зразку із вмістом 1,0% мас. Даний зразок має високий, у порівнянні з немодифікованим зразком, вміст зміцнюючої фази у вигляді W_2C та більшою мікротвердістю основи, що пояснює підвищення опору до абразивного зношування.

На підставі експериментальних даних були побудовані залежності абразивної стійкості (відносної втрати маси) від кількісного вмісту модифікатора суміші з композиційним матеріалом. Методика визначення зносостійкості передбачає випробування зразків з різним вмістом модифікатора та їх знос щодо зразка еталона, отриманого за тієї ж технології наплавлення (рисунки 3.2).

Відповідно до результатів випробувань, наведених на графіку, найбільш високу зносостійкість мають покриття, наплавлені при вмісті модифікатора композиційної суміші 0,5; 1,0; 1,5% мас. При цьому максимальна зносостійкість спостерігається на зразку, виконаним з 1,0% мас. модифікатора у композиційній суміші.

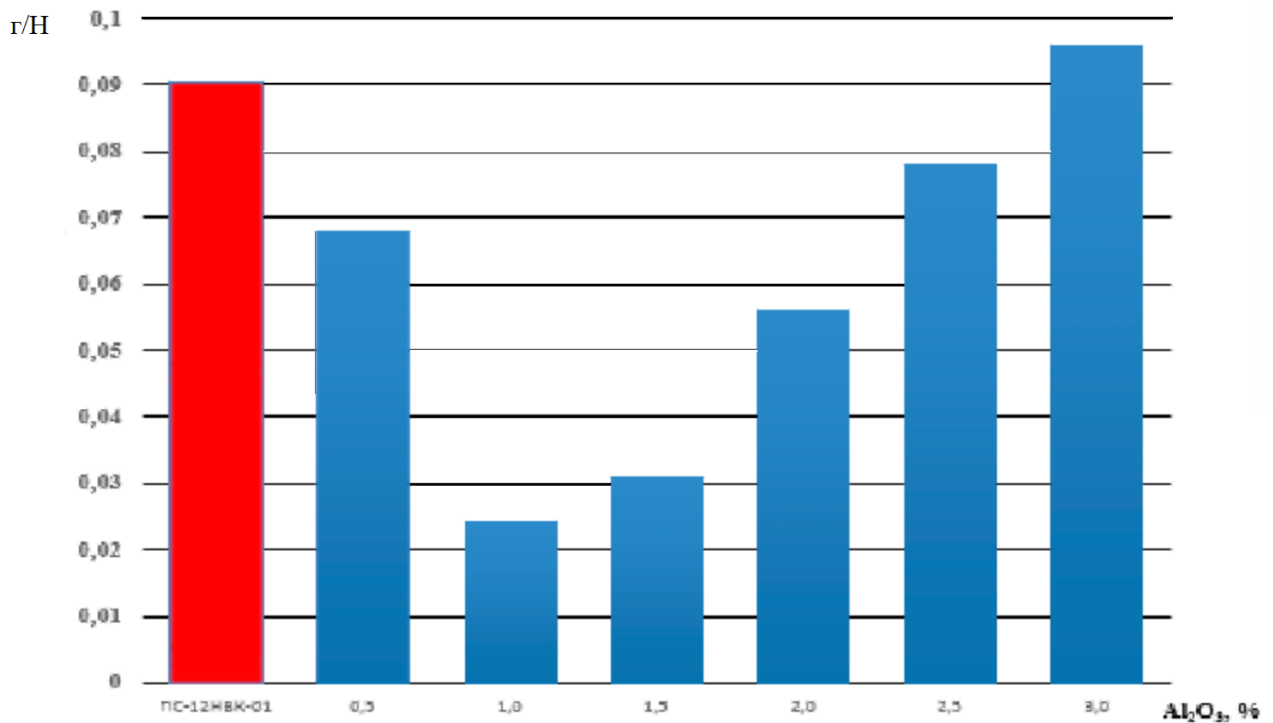


Рис. 3.2. Відносний ваговий знос наплавлених покриттів з урахуванням різного вмісту модифікуючого компонента в композиційному матеріалі ПС-12НВК-01

Таким чином, дослідження мікроструктури та механічних властивостей захисних покриттів підтверджують, що раціональним вмістом для підвищення стійкості композиційних покриттів системи Ni-Cr-B-Si-Fe/WC 1,0% мас. у композиційному матеріалі ПС-12НВК-01.

Подальші випробування на абразивну стійкість були виконані з урахуванням таких найпоширеніших зміцнювальних матеріалів, як електроди для ручного дугового наплавлення Т-620 та порошкові прутки Реліту на залізній основі з вмістом 85% карбіду вольфраму.

Результати випробувань, представлені на рис. 3.3, вказують на те, що зносостійкість покриттів, наплавлених Релітом трохи більше ніж у розроблених модифікованих покриттів ПС-12НВК-01+1,0% Al₂O₃. Проте відомо, що захисні покриття, наплавлені релітом, мають високу вартість, що перевищує приблизно 20-30% вартість навіть композиційних сплавів. А також такі покриття не мають

можливості чинити опір ударному зносу, через відсутність пластичності наплавлених покриттів.

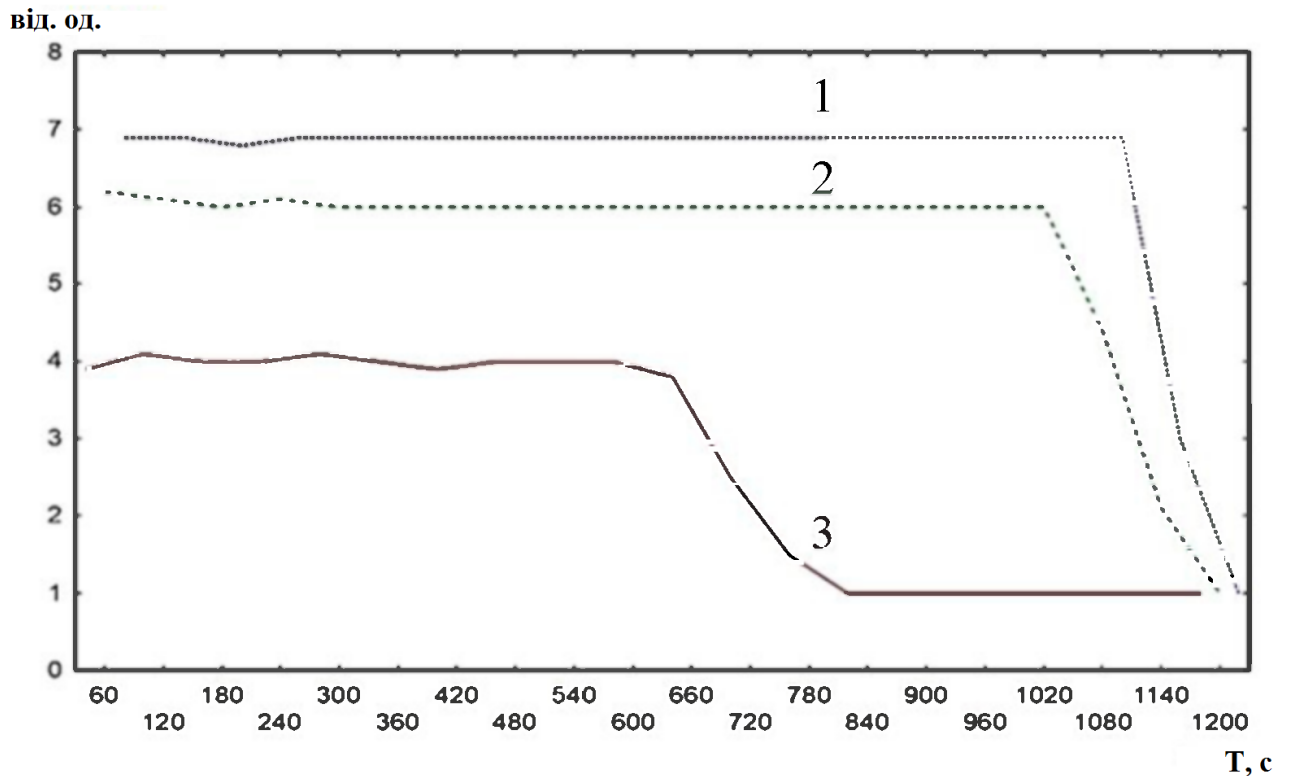


Рис. 3.3. Відносна зносостійкість зміцнювальних покриттів, виконаних: 1 – реліт (WC85%); 2 – ПС-12НВК-01+1,0% Al_2O_3 ; 3 – Т-620, при еталоні Сталь 40Х (у відпаленому стані).

Випробування на ударну в'язкість проводилися для всіх зразків захисних покриттів, а саме з вихідним композиційним матеріалом ПС-12НВК-01 і з композиційними сумішами, що містять 0,5-3,0% мас. нанорозмірного модифікатора. Аналізи результатів випробувань підтверджують підвищення стійкості захисних покриттів із вмістом модифікатора 0,5-2,0% мас. до ударних навантажень за рахунок сукупного впливу модифікатора на структуру наплавлених покриттів (рис. 3.4).

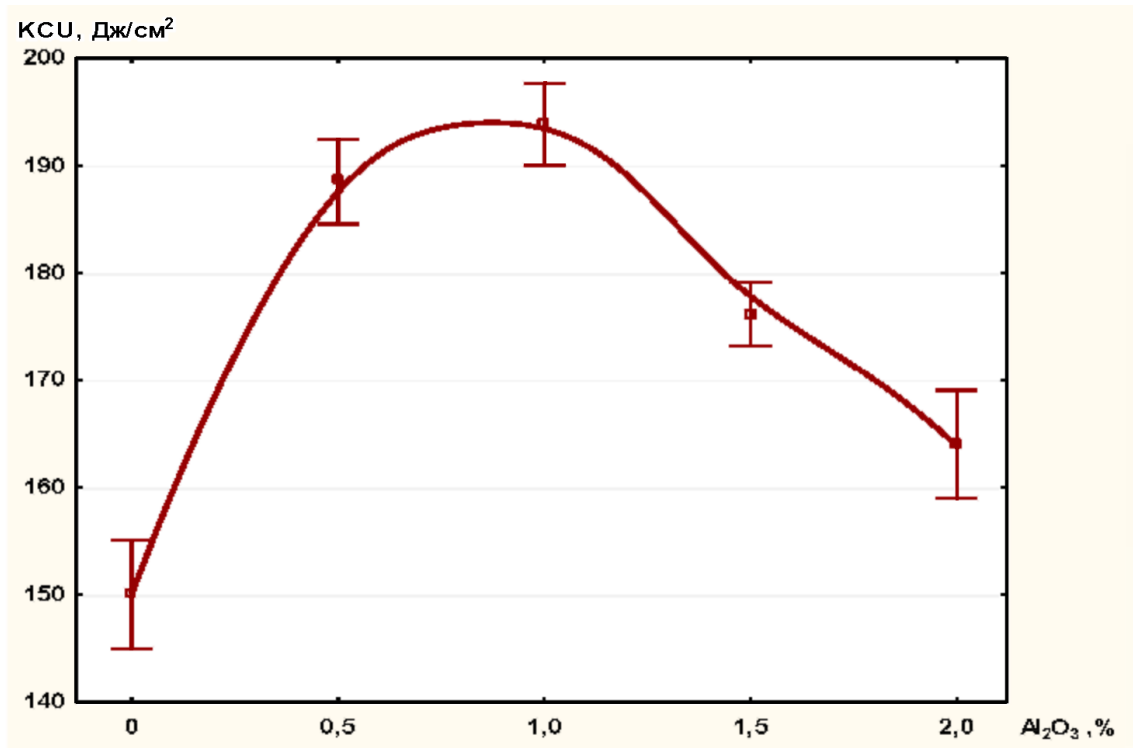


Рис. 3.4. Залежність ударної в'язкості наплавлених покриттів від вмісту нанорозмірного модифікатора.

На рис. 3.5 представлено характерний злам покриттів, наплавлених без модифікатора та з використанням нанорозмірного модифікатора. У першому випадку виразно видно крихкий злам металу, на сколі якого знаходиться великий карбід, ймовірно послужив ініціатором руйнування внаслідок великих розмірів та внутрішніх структурних напружень.

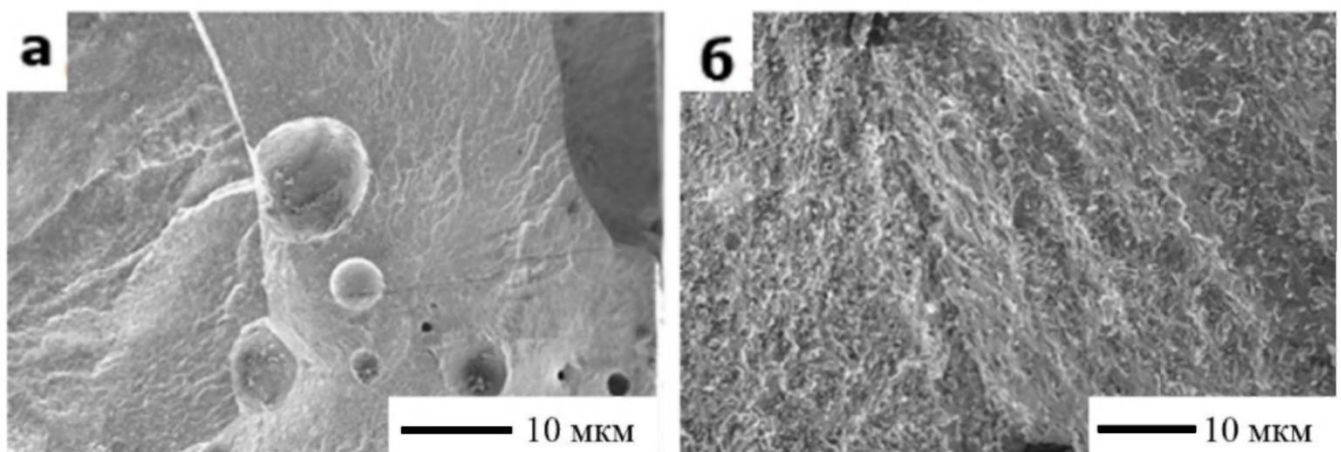


Рис. 3.5. Зображення характерних зламів зразків наплавлених покриттів: а – без модифікатора; б – з модифікатором Al₂O₃

Злам зразка, наплавленого з модифікатором, має типовий дрібноямковий злам, характерний для структур з високими показниками опору ударному руйнуванню [7].

Необхідно особливо відзначити, що і в даному випробуванні вміст модифікатора близько 1% зумовило максимальну ударну в'язкість покриттів. Отже, поєднання кращих показників твердості, зносостійкості та ударної в'язкості дозволяє припустити, що покриття, наплавлені на раціональному режимі з введенням 1% нанорозмірного Al_2O_3 , повинні забезпечити кращі показники при експлуатації гірничодобувного обладнання із захисними покриттями в умовах ударно-абразивного зношування.

Висновки по розділу

При наплавленні композиційними матеріалами, що містять модифікатор, забезпечується формування карбідонасиченої структури, що має приблизно вдвічі більш високі показники мікротвердості.

Слід зазначити, що з випробуваннях на ударну в'язкість і абразивну стійкість зміст модифікатора близько 1% зумовило максимальні показники стійкості.

Таким чином, дослідження мікроструктури та механічних властивостей захисних покриттів підтверджують, що раціональним змістом підвищення стійкості композиційних покриттів системи Ni-Cr-B-Si-Fe/WC є 1,0% мас. у композиційному матеріалі ПС-12НВК-01, що необхідно для забезпечення кращих показників при експлуатації гірничодобувного обладнання із захисними покриттями в умовах ударно-абразивного зношування

ВИСНОВКИ

1. Аналітично обґрунтовано необхідність використання способу плазмово-порошкового наплавлення для захисту поверхні робочих органів сільськогосподарських машин. Проведено науково-обґрунтований вибір матеріалу для наплавлення ПС-12НВК-01 та модифікатора – нанорозмірного порошкового матеріалу Al_2O_3 для забезпечення високих показників ударно-абразивної зносостійкості.

2. Розрахунково-експериментальним шляхом розроблено технологію плазмово-порошкового наплавлення композиційною сумішшю ПС-12НВК-01 та нанорозмірного модифікатора Al_2O_3 в кількості 0,5 – 3,0 % мас.

3. Виявлено механізм подрібнення зерна в отриманих модифікованих захисних покриттях з 6 до 10 балів, а також перетворення монокарбіду вольфраму WC у вихідному покритті на вторинний карбід дивольфраму W_2C , що є фактором додаткового збільшення зносостійкості наплавлених покриттів.

4. Визначено раціональний вміст нанорозмірного модифікатора Al_2O_3 у композиційній суміші з ПС-12НВК-01 близько 1%, що дозволяє збільшувати абразивну стійкість захисних покриттів у 2,2 рази порівняно з покриттями, отриманими вихідним матеріалом, а також підвищити у 1,4 рази стійкість до ударних навантажень, що відповідає умовам тривалої експлуатації сільськогосподарських машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. Москва : Машиностроение, 1971. 264 с.
2. Севернев М.М., Каплун Г.П. и др. Износ деталей сельскохозяйственных машин. Ленинград : Колос, 1972. 288 с.
3. Паршин С.Г. Производство и применение сварочных материалов. Наплавочные материалы. Санкт-Петербург.: Издательство Политехнического университета, 2015. 62 с.
4. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. Киев: Тэхника, 1989. 128 с.
5. Bair S. High Pressure Rheology for Quantitative Elastohydrodynamics. Elsevier, 2019. 371 p.
6. Bhushan B. Introduction to Tribology. John Wiley & Sons, 2013, 711 p.
7. Czichos H., Habig K.-H. Tribologie-Handbuch: Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik. Springer Vieweg, 2015. 794 p.
8. Рябцев И.А., Сенченков И.К. Теория и практика наплавочных работ. Киев: Екотехнологія, 2013. 400 с.
9. Сорокин Г.М. Основы механического изнашивания сталей и сплавов. Москва : Логос, 2014.308 с.
10. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов. Москва : Недра, 2000. 317 с.
11. Gegner J. (Ed.). Tribology: Fundamentals and Advancements. ITAvE, 2016. 330 p.
12. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Износостойкость сталей и сплавов. Москва : Нефть и газ, 1994. 417 с.
13. Хрущов М.М. и др. Износостойкость и структура твердых наплавов. Москва : Машиностроение, 1971. 96 с.

14. Кондратьев Е.Т., Кондратьев В.Е. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин. Москва : Агропромиздат, 1989. 95 с.
15. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. Абразивный износ. М.: Машиностроение, 1969. 188 с.
16. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. Москва : Машиностроение, 1985. 240 с