

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти Магістра
Бакалавра (Магістра)

Використання різнорідних матеріалів з метою підвищення зносостійкості зубів екскаватора

Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 132 Матеріалознавство
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів
Назва

Шифр КРМ МТВА 25 24330. 000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2-го курсу
група МТВАм 24-1
Шифр


Підпис

Микола ЛИСИЧЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н, ст. викл.
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Анатолій ВИЧАВКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент кафедри ТАМ
Посада


Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 15.12. 2025

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Світньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»
Світньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

13 жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лисиченку Миколі

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема роботи «Використання різномірних матеріалів з метою підвищення зносостійкості зубів екскаватора».

Рівень роботи Вичавка Анатолій Анатолійович, к.т.н., ст. викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25 серпня 2025 р. № 65 (Д28)

Строк подання студентом роботи на кафедру 1 грудня 2025 року

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, ефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1 Аналіз умов роботи зубів екскаватора та існуючих матеріалів/технологій відновлення;
- 2 Обґрунтування та вибір оптимального поєднання різномірних матеріалів для підвищення зносостійкості;
- 3 Розробка технології нанесення (наплавлення) обраних різномірних матеріалів на поверхню зубів;
- 4 Дослідження структури та фізико-механічних властивостей отриманого покриття;
- 5 Оцінка підвищення зносостійкості та економічної ефективності розробленої технології.

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на лайдах

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_ ----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10.2025</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11.2025</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11.2025</i>	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	<i>1.12.2025</i>	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	<i>5.12.2025</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>5.12.2025</i>	

Студент

Керівник роботи


 Підпис


 Підпис

Микола Лисиченко
 ІМ'Я, ПРІЗВИЩЕ

Анатолій Вичавка
 ІМ'Я, ПРІЗВИЩЕ

Випи
 Міншлю
 рубль е
 Род
 інтенсив
 Через це
 бильої за
 пального
 Акт
 екскавато
 значних е
 для створ
 зновуван
 сумісност
 вимог до
 Мет
 визначен
 зносостій
 Для
 1. П
 2. Р
 виготовл
 3. Д
 зносостій
 4. О
 конструк
 5. В
 ресурсом
 6. С
 використ
 7. П
 рішення
 оптималь
 екскавато
 розробле
 загальні е
 Ква
 рисункам
 сімьох роз
 Кли
 ТВЕРДО
 ЛЕГОВА

РЕФЕРАТ

Випускню кваліфікаційну роботу виконано студентом групи МТВАм 24-1 Лисиченко Миколою на тему: «Використання різнорідних матеріалів з метою підвищення зносостійкості зубів екскаватора».

Робочі органи землерийних машин, зокрема зуби екскаватора, працюють в умовах інтенсивного абразивного стирання, ударних навантажень та контакту з твердими породами. Через це саме зуби є однією з найбільш зношуваних та відповідальних деталей ковша. Від їхньої зносостійкості залежить продуктивність техніки, витрати на ремонт, споживання пального та ефективність виконання земляних робіт.

Актуальність теми полягає у необхідності збільшення ресурсу роботи зубів екскаваторів, оскільки їх передчасний знос призводить до зниження ефективності машини та значних експлуатаційних витрат. Використання різнорідних матеріалів відкриває можливості для створення деталей нового покоління, стійких до абразивного, ударного та комбінованого зношування. Незважаючи на значний досвід у цій сфері, проблема оптимального добору та сумісності різних матеріалів залишається актуальною, особливо з огляду на підвищення вимог до продуктивності землерийної техніки.

Метою роботи є дослідження закономірностей зношування зубів екскаватора та визначення оптимальних матеріальних рішень, що забезпечують їх максимальну зносостійкість у складних умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:





1. Провести аналіз умов роботи зубів екскаватора та основних механізмів їх зношування.
2. Розглянути властивості сталей та сплавів, що традиційно застосовуються для виготовлення зубів.
3. Дослідити ефективність використання твердосплавних вставок та наплавлених зносостійких шарів.
4. Оцінити переваги та особливості застосування різнорідних матеріалів у комбінованих конструкціях.
5. Встановити взаємозв'язок між матеріальним складом зубів та їх експлуатаційним ресурсом.
6. Сформулювати рекомендації щодо підвищення довговічності зубів шляхом використання комбінованих матеріалів і сучасних технологій зміцнення.
7. Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до оцінки впливу різнорідних матеріалів на механізми абразивного та ударного зношування, а також у пошуку оптимальних комбінацій матеріалів для виготовлення високоефективних робочих елементів екскаваторів. Практична цінність полягає у можливості застосування результатів для розроблення зносостійких зубів, що здатні збільшувати ресурс роботи техніки та зменшувати загальні експлуатаційні витрати.

Кваліфікаційна робота містить 57 сторінок машинописного тексту, ілюстрована 20 рисунками, 4 таблицями та містить 17 пайменувань джерел. Робота складається зі вступу, сімох розділів, висновків і списку використаної літератури.

Ключові слова: ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, РІЗНОРІДНІ МАТЕРІАЛИ, ЗУБ ЕКСКАВАТОРА, ТВЕРДОСПЛАВНІ ВСТАВКИ, НАПЛАВЛЕННЯ, АБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ, ЛЕГОВАНІ СТАЛІ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 Літературний огляд	8
РОЗДІЛ 2 Загальна характеристика виробу.....	9
2.1 Опис виробу та його службове призначення.....	9
2.2 Аналіз умов навантаження виробу.....	11
РОЗДІЛ 3 Класифікація видів зносу.....	16
РОЗДІЛ 4 Підвищення зносостійкості зубців екскаватора.....	26
РОЗДІЛ 5 Вибір матеріалу.....	32
5.1 Високохромисті та хромомарганцеві чавуни.....	32
5.2 Стеліти (кобальтохромвольфрамові сплави).....	34
5.3 Тугоплавкі матеріали	35
5.4 Низьколегована сталь 25Л.....	37
5.5 Тверді сплави. Сормайт №1.....	38
РОЗДІЛ 6 Технологія виготовлення.....	40
6.1 Наплавлення.....	40
6.2 Обладнання для механізованого наплавлення порошковим дротом.....	43
РОЗДІЛ 7 Металографічні дослідження.....	47
Висновок.....	54
Список використаних джерел.....	55

<i>ДРМТВА 25.24330.000. ПЗ</i>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.		Лисиченко			
Перевір.		Вичавка			
Реценз.					
Н. Контр.		Бабак			
Затверд.		Лиха			
Використання різномірних матеріалів з метою підвищення зносостійкості зубів екскаватора			Літ.	Арк.	Акрисів
				4	57
			<i>ХНУ група МТВАм 24-1</i>		

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Технологія машинобудування — це галузь технічної науки, що досліджує закономірності та взаємозв'язки у процесі виготовлення машин. Її мета полягає у створенні теоретичних основ технологічного забезпечення та підвищення якості машинобудівних виробів при мінімальних витратах на їх виробництво.

Вибір матеріалу для виготовлення деталей є складним завданням. Це зумовлено великою кількістю конструкційних матеріалів, кожен із яких має свої особливості, і визначити найдоцільніший варіант у кожному конкретному випадку буває непросто. Вибір матеріалу впливає на багато рішень — від вибору технології виготовлення та термічної обробки до джерел постачання сировини й організації виробництва. Різноманіття як традиційних, так і нових матеріалів дає змогу обрати оптимальний варіант, проте ускладнює ефективне вирішення задачі без застосування спеціальних методів аналізу чи евристичних підходів.

В умовах сучасної економіки оптимальний вибір матеріалу набуває особливої ваги. Підприємствам важливо не лише виготовляти вироби з тривалим терміном служби, адже вони можуть швидко застарівати морально, а й створювати надійні конструкції, що забезпечують необхідний ресурс роботи за оптимальних витрат. Саме тому комплексне вирішення інженерних завдань, зокрема під час вибору матеріалу та технології його обробки, стає надзвичайно актуальним. Математичні методи моделювання й оптимізації нині широко використовуються інженерами-матеріалознавцями — вони дають змогу ефективно планувати, керувати складними системами та створювати сучасні інформаційні рішення.

Більшість задач вибору матеріалів і технологічних процесів є багатофакторними, багатопараметричними та мають численні варіанти

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

реалізації. Тому важливо адаптувати їх до сучасних методів моделювання та оптимізації. Одним із ключових завдань є вибір алгоритму, який дозволяє максимально реалізувати творчий і професійний потенціал інженера, тоді як рутинні розрахунки мають бути автоматизовані, тобто виконуватись обчислювальною технікою у взаємодії з фахівцем.

Помилки при виборі матеріалів можуть призвести до низької якості машин і обладнання. Умови їх експлуатації часто є складними: це можуть бути високі чи низькі температури, агресивні середовища, циклічні навантаження, інтенсивне тертя тощо. Часто матеріал піддається впливу кількох факторів одночасно, тому важливо детально аналізувати умови роботи деталі та визначати, які чинники найбільше впливають на її надійність. Основні фактори слід обов'язково враховувати, а другорядні — за можливості.

Технічні вимоги до матеріалів повинні формуватись на основі моделювання реальних умов експлуатації виробу. Для цього застосовують спеціальні стенди, за допомогою яких ідентифікують рівень локальних напружень у виробі. Якщо ж провести такі вимірювання неможливо, використовують розрахункові методи для визначення робочих навантажень, що виникають у процесі експлуатації.

Метою бакалаврської роботи є використання різнорідних матеріалів з метою підвищення зносостійкості коронки розпушувача.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- вивчити механізм зношування коронок розпушувача.
- вибір зносостійких матеріалів для даного механізму зношування.
- розробити технологію з'єднання зносостійких сплавів з низько-вуглецевою сталлю 25Л.

Геометричне розташування. Вивчення механізмів зношування, поєднаних матеріалів із заданим геометричним розташуванням, що забезпечує необхідний механізм зношування.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Розвиток сучасного машинобудування тісно пов'язаний із створенням нових матеріалів, упровадженням передових технологій і використанням сучасного обладнання. Виготовлення шаруватих композиційних матеріалів із контрольованою макро- та мікроструктурою дає змогу формувати необхідні фізико-механічні властивості з урахуванням умов їх подальшої експлуатації.

Сучасний підхід до ефективного керування властивостями матеріалів базується на створенні умов, що здатні істотно впливати на процеси самоорганізації структур. Використання високоенергетичних методів обробки сприяє прискоренню процесів нагрівання та охолодження, унаслідок чого формуються нерівноважні структури. За певних параметрів вони забезпечують потрібний комплекс фізико-механічних і експлуатаційних характеристик. Керування процесами структуроутворення матеріалів визначеного складу в умовах, далеких від термодинамічної рівноваги, дозволяє досягти високої стійкості робочих поверхонь виробів при дії значних контактних і динамічних навантажень, а також у середовищах із абразивним, ударно-абразивним або ударним зношуванням.

Використання зносостійких шаруватих композиційних матеріалів у робочих елементах гірничодобувного, будівельного та дорожнього обладнання дає змогу не лише подовжити термін їх експлуатації, а й зменшити витрати дорогих металів завдяки застосуванню низьколегованої основи. Саме тому комплексний підхід, що передбачає багатофакторний вплив на процеси фазо- та структуроутворення в металевих системах із використанням сучасних технологічних засобів, є вкрай актуальним напрямом розвитку машинобудівної галузі.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБУ

2.1 Опис виробу та його службове призначення

Розпушувачі — це навісне робоче обладнання, призначене для попереднього розпушування щільних, кам'янистих або мерзлих ґрунтів, що полегшує роботу землерийно-транспортних машин. Їх також використовують для очищення ґрунту від коренів, залишків пнів, каміння після роботи корчувачів, а також для руйнування старих дорожніх покриттів під час ремонту автомобільних або лісовозних доріг.

Розпушувач є змінним навісним обладнанням, яке встановлюється на гусеничні чи потужні колісні трактори. Найчастіше такі пристрої створюють на базі машин, що також використовуються як бульдозери. У деяких випадках на один трактор одночасно навішують бульдозерний відвал і розпушувальне обладнання — така машина називається бульдозер-розпушувач. Розпушувачі можуть також встановлюватися на тягачах і автогрейдерях.

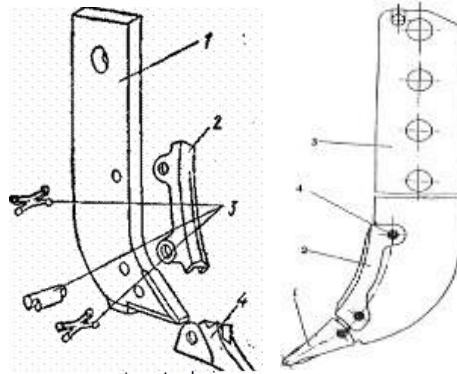
Конструкція розпушувачів залежить від тягового класу й типу ходової частини базового трактора, їхнього призначення, виду навісного пристрою, способу монтажу, кількості зубців і способу їх кріплення. Відповідно до стандарту ГОСТ 7425-71 розрізняють розпушувачі, створені на базі тракторів тягових класів 3, 4, 10, 15, 25 і 35 тс. Основним параметром є саме тяговий клас, який визначає максимальну глибину занурення зубців у ґрунт, їх кількість, ширину ріжучої кромки, мінімальну відстань між нижньою точкою балки та опорною поверхнею, а також ресурс роботи розпушувача до першого капітального ремонту.

Конструктивно розпушувач складається з рами, тяги, балки, зубців із наконечниками, гідроциліндрів, буферного механізму та флюгерів. Зварна коробчаста рама є нижньою ланкою чотириланкового механізму, а зварна тяга — його верхньою частиною. На балці кріпляться флюгери з трьома зубами,

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що мають змінні наконечники.

Основним робочим елементом розпушувача, зображеним на рисунках 1 і 2, є зуб, який складається зі стійки з посадковим хвостовиком, наконечника, захисної накладки та стопорів для кріплення. Для підвищення ефективності роботи з пластично-мерзлими або тріщинуватими скельними породами на зубах іноді встановлюють розширювачі. Окрім розпушувачів, на будівельних майданчиках можуть також застосовуватися екскаватори для виконання допоміжних робіт.



Малюнок 1 – Робочий орган розпушувача: 1 – стійка; 2 – захисна накладка; 3 – елементи кріплення; 4 – наконечник



Малюнок 2 - Навісне обладнання для екскаватора

Стойка є основним і найбільш навантаженим елементом зуба, на якому кріпляться його складові частини. Під час розробки щільних зв'язних або

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

слабко тріщинуватих скельних ґрунтів, а також при значному заглибленні наконечника, стійка частково бере участь у процесі руйнування ґрунту, забезпечуючи додаткове розпушування. У сучасних розпушувачах зазвичай застосовують три типи стійок: вигнуті, прямі та з невеликим вигином.

Вигнуті стійки дають змогу здійснювати розпушування з меншими зусиллями, ніж прямі, однак при роботі з середніми або міцними тріщинуватими скельними породами та мерзлими ґрунтами вибиті брили іноді заклинюються між стійкою і рамою розпушувача. Це спричиняє зростання опору ґрунту та зниження ефективності процесу. Стійки з незначним вигином визнані найефективнішими для розробки скельних ґрунтів середньої твердості.

Щоб запобігти зносу передньої робочої грані, на стійку встановлюють знімні зносостійкі сталеві накладки, які виконують захисну функцію.

Наконечники є змінною частиною зуба, що безпосередньо відповідає за відділення ґрунту від масиву та його руйнування. Для підвищення продуктивності під час розпушування пластично-мерзлих або тріщинуватих порід на зубах можуть встановлюватися розширювачі. Конструктивно їх виконують у вигляді клиноподібних пластин, що розходяться в сторони від ріжучої кромки зуба й кріпляться жорстко або шарнірно до стійки, або у формі двох стрижнів, розташованих з боків.

У рихтувальника моделі ДП-9С зуби закріплені в литих флюгерах, які, у свою чергу, встановлені в робочій балці за допомогою вертикальної осі.[2].

2.2 Аналіз умов навантаження виробу

За формою зуби можуть бути:

- прямими;
- вигнуті;
- напіввигнуті.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Прямі зуби використовуються для розпушування ґрунтів різної міцності та ступеня тріщинуватості й нині є найпоширенішими у використанні.

Вигнуті зуби призначені для розпушування ґрунтів на глибину до 0,8 метра. Під час їх роботи виникають сили, які сприяють відриванню шматків породи від основного масиву. Найдоцільніше застосовувати такі зуби для розробки шаруватих порід, де структура ґрунту має виражене нашарування.

Напіввигнуті зуби забезпечують зменшення зусиль заглиблення при збереженні великого кута різання.

Кріплення зубців може бути двох типів:

- **жорстке** — використовується у спеціальних розпушувачах, призначених для роботи на значну глибину;

- **шарнірне** — застосовується під час розпушування тріщинуватих скельних ґрунтів або порід з великими включеннями, такими як брили чи валуни.

При шарнірному кріпленні зубці можуть повертатися приблизно на 15° у кожен бік від середнього положення. Така конструкція зменшує бічні навантаження на машину й допомагає зберігати прямолінійність її руху.

Зазвичай товщина зуба становить 60–100 мм, його переріз має прямокутну форму. Довжина (виліт) зуба перевищує максимальну глибину розпушування на 100–300 мм.

Кут розпушування, як правило, становить 30–45°, що відповідає куту загострення зубця.

У транспортному положенні раму з зубами піднімають на висоту:

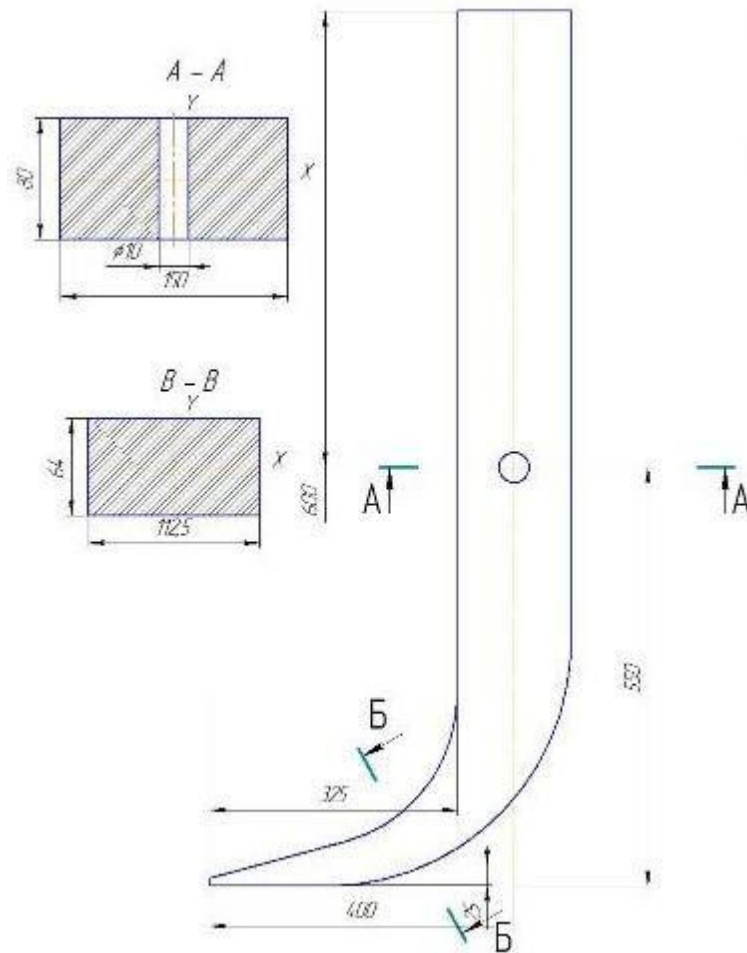
- 0,3–0,5 м — для легкого розпушування,

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- 0,6–0,7 м — для середнього,

- понад 0,7 м — для важкого розпушування.

Таке положення забезпечує задній кут виїзду близько 20°.



Малюнок 2 – Креслення виробу

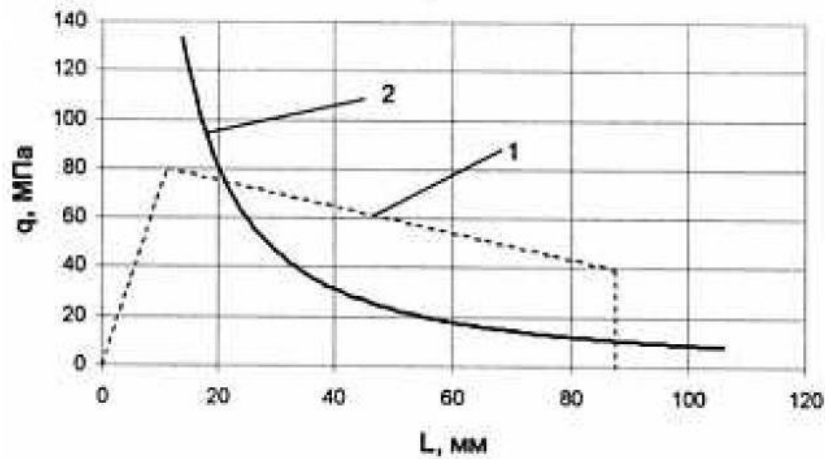
Вид фрикційної взаємодії визначається наступними факторами: зусиллям в зоні контакту абразивної частинки і матеріалу коронки, морфологією абразивної частинки, співвідношенням твердостей матеріалу коронки і абразивних частинок ґрунту.

Епюра, запропонована професором А.Н. Зеленіним, не має достатньо

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повних ні теоретичних, ні експериментальних доказів.

Розподіл тиску по довжині передньої грані прискорюється від денної поверхні ґрунту до ріжучої кромки, малюнок 3.



Малюнок 3 – Розподіл навантажень по передній грані: 1 – епюра за А.Н. Зелениним, 2 – експериментальна епюра

Вимоги до виробу та умови експлуатації. Під час будівництва автомагістралей, злітно-посадкових смуг аеродромів, спорудження дамб, підготовки майданчиків під будівництво та розробки родовищ відкритим способом виконуються значні обсяги земляних робіт. Для цього залучається велика кількість машин і механізмів, конструкція яких включає численні вузли — передавальні механізми, ходові частини тощо, — що схильні до металевого типу зносу. Після зношування такі елементи можуть бути відновлені за допомогою наплавлення та додаткових відновлювальних матеріалів.

Однак деталі, які безпосередньо контактують із ґрунтом і породою (ковші екскаваторів і їхні зубці, ножі бульдозерів і скреперів, зуби рихлювачів тощо), піддаються абразивному та ударному зношуванню, часто — в різних поєднаннях.

При роботі на піщаних ґрунтах знос має переважно абразивний характер. Якщо ж ґрунт містить кам'яністі включення, зношування стає абразивно-

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ударним, а іноді — переважно ударним.

Аналогічні процеси спостерігаються і в деталях гірничодобувного, дробильного та розмелювального обладнання.

Жоден із відомих зносостійких наплавних матеріалів не забезпечує одночасної ефективної стійкості проти обох видів зносу — абразивного й ударного. Тобто, універсального матеріалу наразі не існує.

У ході досліджень інтенсивності зношування коронок землерийних рихлювачів (КЗР) у Магаданській області було встановлено, що найбільш інтенсивний знос відбувається під час розпушування високоміцних ґрунтів. Навіть при роботі з мерзлими або талими ґрунтами (температура близько 0 °С) спостерігалось значне нагрівання коронок — до 300 °С на шляху тертя приблизно 15 м.

Отже, на інтенсивність зношування впливають не лише абразивні властивості ґрунту, а й підвищена температура, за якої відбуваються зміни фізико-механічних характеристик матеріалу.

Це зумовлює практичну необхідність дослідження зносостійкості матеріалів КЗР як за низьких, так і за високих температур. Для цього необхідно розробити лабораторну установку та методику проведення відповідних експериментів [1].

Дерево властивостей і блок-схема вибору матеріалів

На основі вимог до виробу та умов його експлуатації було побудовано дерево властивостей, яке визначає основні критерії для вибору матеріалу. Проведено аналіз технології отримання накладки, після чого складено блок-схему вибору оптимального матеріалу з урахуванням умов роботи, типів зношування та температурних впливів. Показано в додатку А.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ ЗНОСУ

Процес тертя та класифікація видів зносу. Процес тертя завжди супроводжується зносом, який поступово призводить механічні системи до втрати працездатності. Багато деталей машин і механізмів піддаються інтенсивному зношуванню, тому підвищення довговічності швидкозношуваних деталей є одним із найважливіших завдань сучасного машинобудування. Вирішення цієї проблеми значною мірою залежить від досягнень металургії та ливарного виробництва.

Основні поняття

Для класифікації видів зносу розглянемо такі базові терміни:

Знос — це зміна розмірів, форми, маси або стану поверхні твердих тіл унаслідок залишкової деформації від дії навантажень чи руйнування поверхневого шару під час тертя.

Зношування (за ГОСТ 27674-88) — процес відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла, що супроводжується збільшенням залишкової деформації.

Зносостійкість — здатність матеріалу чинити опір зносу. Вона оцінюється за зменшенням маси, лінійних розмірів або об'єму деталі після певного часу роботи.

Інтенсивність зношування — кількісний показник зносу, віднесений до шляху тертя, виконаної роботи або часу експлуатації.

Характер зношування. Зношування є результатом взаємодії поверхонь, яке супроводжується мікрорізнанням, деформацією, нагріванням, а також зміною механічних властивостей, структури, фазового складу та хімічної активності поверхневих шарів.

Під дією абразивних частинок відбувається зменшення розмірів і маси деталей.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Знос, віднесений до часу тертя, визначає швидкість зношування.

На практиці більшість машин втрачають працездатність не через поломки, а саме внаслідок зношування окремих деталей. Дослідження показують, що при терті поверхні контактують дискретно — у вигляді плям, де навантаження, температура та локальні властивості матеріалу відрізняються. Це спричиняє нерівномірну реакцію мікрооб'ємів матеріалу та формує різні типи зносу.

Основні види зносу. Види зносу класифікують за зовнішніми умовами процесу тертя. До основних форм належать:

Адгезійний знос — виникає під час ковзання двох гладких поверхонь, коли частинки одного матеріалу прилипають до іншого внаслідок адгезійних сил. Руйнування контакту відбувається не по межі, а всередині матеріалу.

Абразивний знос — з'являється, коли тверді шорсткі поверхні дряпають або пропахують м'якіші, утворюючи частинки зносу. Також може виникати при потраплянні твердих абразивних частинок між поверхнями тертя.

Корозійний знос — проявляється у корозійних середовищах, де захисні плівки на поверхні руйнуються, і корозія поширюється вглиб матеріалу.

Поверхнева втома — спостерігається при багаторазовому коченні або ковзанні, коли цикли навантаження і розвантаження призводять до утворення тріщин і відшарування матеріалу.

Згідно з ГОСТ 27674-88, виділяють також: механічне, корозійно-механічне, абразивне, гідроабразивне, газоутворювальне, ерозійне, кавітаційне, втомне, окислювальне, електроерозійне зношування та фреттинг-корозію.

До основних процесів при терті належать схоплювання, задирання, перенесення матеріалу, викришування й відшарування.

Розрізняють схоплювання першого роду (холодний задир) та другого роду (гарячий задир).

Фактори та механізми заїдання. На процес схоплювання впливають два

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

головні чинники — температура і навантаження. Початок заїдання може бути спричинений збільшенням швидкості ковзання, температури контактних поверхонь або зниженням в'язкості мастильного матеріалу.

У таких умовах різко підвищується інтенсивність зношування, зростають динамічні навантаження, і може настати заклинювання вузла механізму.

Є кілька теорій, які пояснюють природу заїдання:

Окислювальна гіпотеза стверджує, що одночасно відбуваються процеси схоплювання металу та окиснення поверхневих шарів з утворенням оксидів і хімічних сполук кисню.

Теорія відшаровування припускає, що знос відбувається шляхом утворення тонких «листоків» металу, які відшаровуються під дією залишкових напружень, спричинених деформацією під час ковзання.

Якщо припустити, що зношування поверхні відбувається рівномірно, то кількість циклів до руйнування може бути визначена аналітично — через залежність між напруженнями, властивостями матеріалу та умовами тертя:

$$J = \xi \frac{b\varepsilon^{v+1} h_{max}}{(v+1)nd} \eta_c, \quad (1)$$

де b , v — параметри кривої опорної поверхні; ε — відносне зближення поверхонь; h_{max} — максимального виступу стираючої поверхні; ξ — коефіцієнт, що враховує вплив на величину площі фактичного контакту пружних деформацій, $0,5 \leq \xi \leq 1$; η_c — відносна контурна площа, що бере участь у процесі тертя; d — середній діаметр одиничної плями контакту; n — кількість циклів до руйнування.

На сучасному етапі розвитку матеріалознавства проведено експериментальну перевірку методики визначення кількості циклів до моменту руйнування матеріалу. Порівняння розрахункових та експериментальних даних щодо інтенсивності зносу показало високу ступінь збіжності отриманих результатів. Це дає підстави стверджувати, що

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналітична оцінка інтенсивності зносу, заснована на концепції втомного руйнування поверхневих шарів, може бути ефективно застосована для широкого кола матеріалів — металів, самозмащувальних композицій, полімерів та інших конструкційних сполук.

У низці випадків поняття втомного зносу розглядається як один із видів руйнування, при якому матеріал зазнає повторної дії змінних навантажень. Такі навантаження спричиняють поступове накопичення пошкоджень у структурі матеріалу, що зрештою призводить до втрати цілісності поверхні. Даний підхід може бути застосований і для аналізу процесів, які традиційно відносять до адгезійного зносу, тобто руйнування, зумовленого зчепленням і перенесенням матеріалу між контактними поверхнями.

Основою класифікації видів зносу є механізм відділення продуктів зносу від поверхні. До основних видів зносу відносять:

- адгезійний (перенесення матеріалу);
- абразивний (різання або подряпування);
- корозійний (хімічне або електрохімічне руйнування);
- знос, спричинений пластичною деформацією;
- втомне руйнування поверхонь.

До специфічних видів зносу належать такі процеси, як розтріскування, поверхневі реакції, відрив частинок, локальне розплавлення, а також електрохімічні реакції. Особливу увагу заслуговує фреттинг-корозія, яка виникає у болтових і заклепкових з'єднаннях під дією мікроколивань і циклічних навантажень.

Досить повна класифікація видів зносу під час тертя наведена в спеціалізованих дослідженнях (табл. 1). У ній ключовим критерієм поділу є тип відносного руху контактуючих тіл. Залежно від характеру руху розрізняють знос, що виникає внаслідок ковзання, кочення або обертання. При цьому навантаження можуть мати статичний, змінний або ударний характер, а також бути рівномірними чи нерівномірними, що суттєво впливає

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

на інтенсивність і механізм зношування.

Таблиця 1 – Класифікація зносу при терті

Вид зносу	Тип руху	Навантаження
Проміжна речовина рідина		
При ковзанні з змаскою	Ковзання	Постійне або змінне
При коченні з змащенням	Катання	
При обертанні з мастилом	Обертання	
Проміжна речовина газ		
При ковзанні з змащенням	Ковзання	--
При коченні змащенням	Кочення	
При обертанні з мастилом	Обертання	
Проміжна речовина тверда		
Абразивний при ковзанні	Ковзання	--
Те саме при коченні	Кочення	
Те саме при обертанні	Обертання	
Викликається струменем: ковзаючим, що падає під кутом падаючої перпендикулярно	Закритий витік	Паралельно до поверхні зносу Під кутом до поверхні зносу Перпендикулярно
Кавітаційний	Удари при закритті бульбашок зі зниженим тиском	
Обумовлений ударами крапель рідини	Удари вільно рухомих крапель рідини	
Ударний	Повторне зіткнення двох твердих тіл	

З практичної точки зору найважливіше значення мають два види зносу:

- викликається тертям ковзання (рис. 4);
- викликається тертям кочення (рис. 5).

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

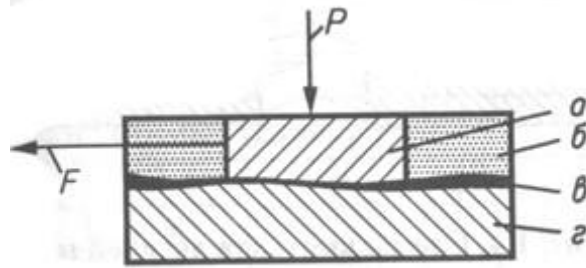


Рисунок 4– Схема зносу при терті ковзанням:

F – напрямок руху; P – зусилля тиску; a – контактує тїло 1; $б$ – навколишнє середовище; $в$ – проміжна речовина; $г$ – контактує тїло 2

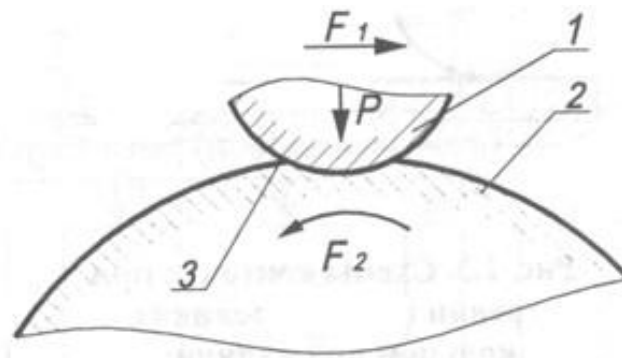


Рисунок 5–Схема зносу при терті кочення:

F_1 – напрямок руху ролика 1; F_2 – напрямок руху вала 2; 3 – пружна деформація при змінному навантаженні; P – зусилля тиску

У процесі зносу при ковзанні матеріали зазнають дії дотичних напружень, унаслідок чого основне навантаження припадає на зріз. Натомість при зносі, спричиненому коченням, у матеріалі переважають нормальні напруження, що діють перпендикулярно до поверхні контакту. Тривала дія змінних контактних тисків у таких умовах сприяє вишкрібанню частинок матеріалу з поверхневого шару, що проявляється у вигляді раковин (піттингу)

						КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

— характерного типу пошкоджень для деталей, які працюють під навантаженням кочення.

Коли одночасно з нормальними напруженнями розвиваються дотичні компоненти, відбувається прослизання між контактуючими поверхнями. Саме цей процес є одним із найінтенсивніших механізмів зношування, оскільки поєднує абразивний і адгезійний характер руйнування. Подібне поєднання ковзання та кочення має місце, наприклад, у зубчастих передачах, де одночасно відбуваються передача крутного моменту та локальні деформації у зоні контакту зубців.

Знос при ковзанні, зумовлений обертанням, спостерігається у вершинах опор, кульових підп'ятниках та підшипниках ковзання. У цьому випадку виникає ефект обертального зсуву між дотичними ділянками поверхні, що сприяє розвитку мікропошкоджень і поступовому руйнуванню матеріалу.

У реальних умовах експлуатації машин і механізмів усі три типи зносу — ковзання, кочення та обертання — часто взаємопереплітаються, утворюючи змішані форми зношування.

Характерним прикладом ударного зносу є руйнування кілець сідла клапана двигуна внутрішнього згоряння. Такий тип зношування виникає під дією періодичних ударних навантажень і, подібно до зносу при коченні, призводить до утворення піттінгу — локальних вибоїн на робочій поверхні.

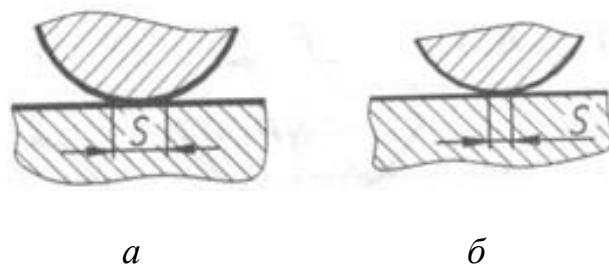
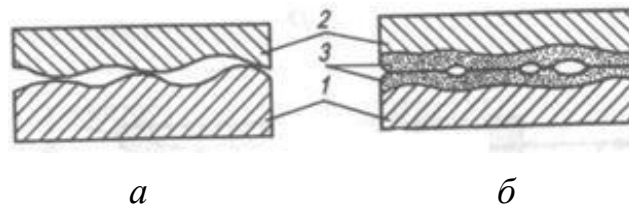


Рисунок 6 – Схеми контакту при терті кочення ролика з кільцем при наявності граничного мастила (а) і без нього (б)

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 7 – Схеми контакту деталей при граничному змащенні (а) і вибіркового перенесенні (б): 1 – сталь; 2 – бронза; 3 – плівка міді

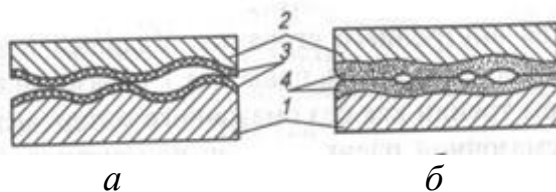
Під час звичайного тертя — як без застосування мастильного матеріалу, так і за наявності граничної мастильної плівки — контакт між деталями відбувається лише на дуже малій площі, що становить приблизно 0,01–0,0001 від номінальної площі сполучених поверхонь. Унаслідок цього в зонах фактичного контакту виникають високі напруження, які спричиняють взаємне впровадження поверхонь, їх пластичну деформацію та посилення процесів зношування.

Схеми контактної взаємодії при терті кочення наведені на рис. 6, а на рис. 7 представлено контакт сталевих і бронзових деталей, що працюють у режимі граничного змащення (рис. 3, а; рис. 4, а) та вибіркового перенесення (ВП) (рис. 4, б). У разі граничного змащення контакт відбувається лише в окремих точках, тоді як при ВП — через пластично деформований тонкий шар міді, який діє як м'яка проміжна ланка. У результаті фактична площа контакту зростає у багато разів, а матеріал деталей зазнає переважно пружних деформацій.

При граничному змащенні взаємодія мікронерівностей поверхонь спричиняє втомне зношування, тоді як при вибіркового перенесенні тертя стає безперервним, а зони реального контакту набувають плоскої форми.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як при терті без мастильного матеріалу, так і при граничному змащенні, поверхні деталей покриваються окисними плівками (рис. 8), що запобігають безпосередньому контакту металів і їх зчепленню. Проте ці плівки є крихкими, не здатні витримувати багаторазові деформації й тому руйнуються в першу чергу під час роботи. З підвищенням температури у зоні тертя товщина окисних плівок збільшується, одночасно зростає і обсяг їх руйнування.



Малюнок 8 – Схеми контакту деталей за наявності оксиду при граничному змащенні (а) і вибірковому перенесенні (б): 1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисні плівки; 4 – сервовітні плівки

Види руйнування деталей при терті можуть бути допустимими і недопустимими (схема 1).

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

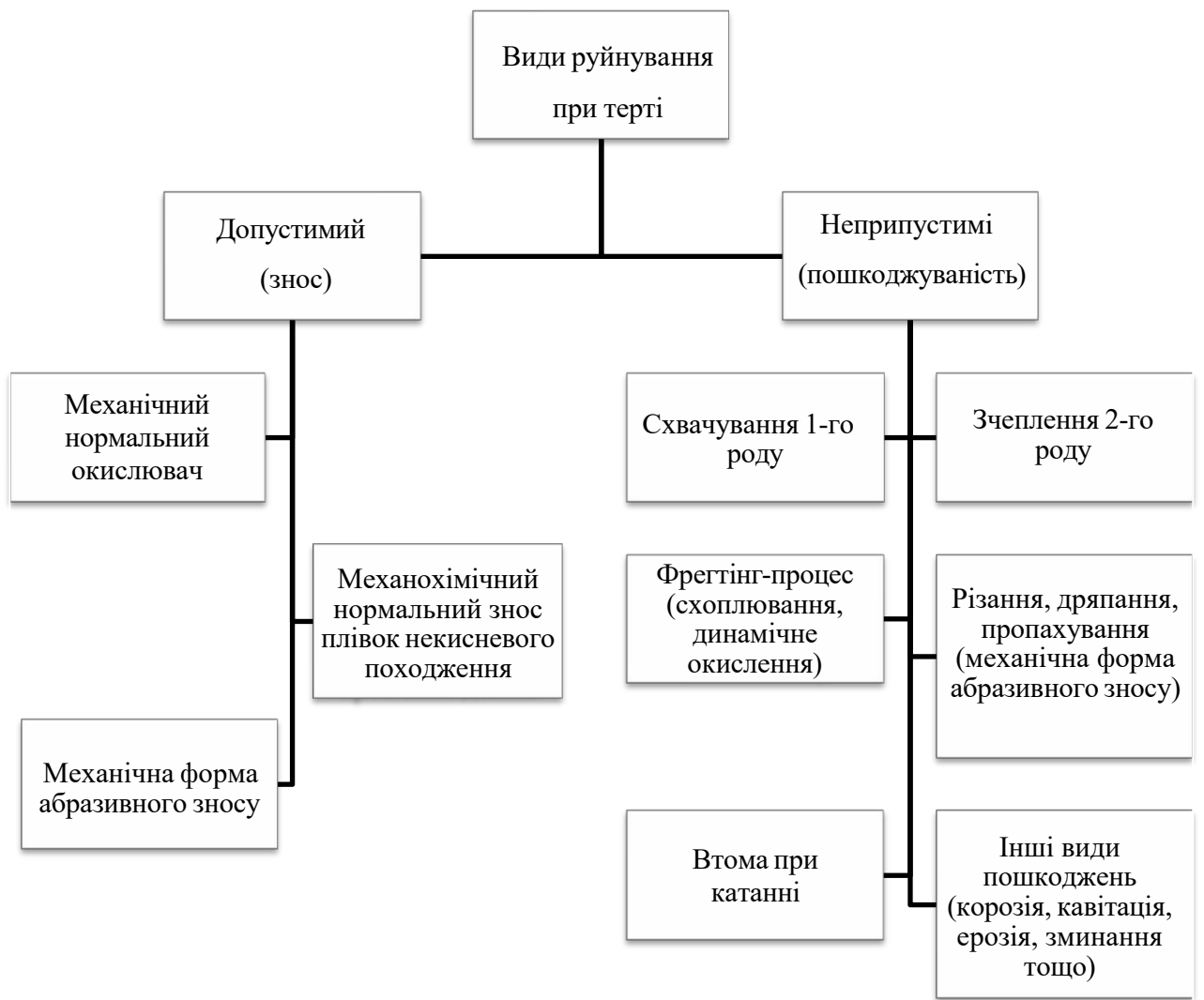


Схема 1 - Класифікація видів руйнування при терті

						КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

4 ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗУБІВ ЕКСКАВАТОРА

Зуби ковшів екскаваторів під час експлуатації зазнають абразивного зносу, супроводжуваного динамічними навантаженнями. Зношування відбувається переважно шляхом мікро- та макрорізання. При розробці скельних ґрунтів комплект зубців екскаваторних ковшів швидко зношується, і термін служби зубів із низьколегованої сталі 25Л не перевищує 5–10 днів.

Робота екскаватора із зношеними зубцями знижує продуктивність, збільшує загальний знос машини та призводить до додаткових витрат на заміну деталей. Відомі зуби ковшів із твердосплавними вставками, розташованими вздовж осі середньої частини зуба для підвищення зносостійкості та самозаточування. Однак така конструкція захищає лише передню частину та серцевину зуба, не оберігаючи інші робочі поверхні.

Також відомі зуби з вставками із зносостійкого чавуну, встановленими на робочих поверхнях, що піддаються абразивному впливу. Армування зубів великими пластинами підвищує їх стійкість на 20–25%, залежно від умов роботи, але пластини мають недостатню механічну міцність. При ударах об скельний ґрунт пластини руйнуються, що збільшує інтенсивність абразивного зносу та значно скорочує термін служби зуба.

Метою пропонованого рішення є подовження терміну служби зуба ковша та забезпечення ефекту самозаточування. Для цього в конструкцію зуба включено вставки із зносостійкого чавуну у вигляді дрібних паралелепіпедних та циліндричних деталей зі зворотним конусом, розташованих по робочих поверхнях сталеві основи.

Паралелепіпедні вставки розташовуються у вістрі зуба в один ряд з інтервалом 0,5–1,5 їх ширини, далі йдуть циліндричні вставки, рівномірно розставлені в рядах з міжцентровою відстанню 1,5–3 діаметра вставки. Така конструкція підвищує ударостійкість вставок, оскільки дрібні елементи

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

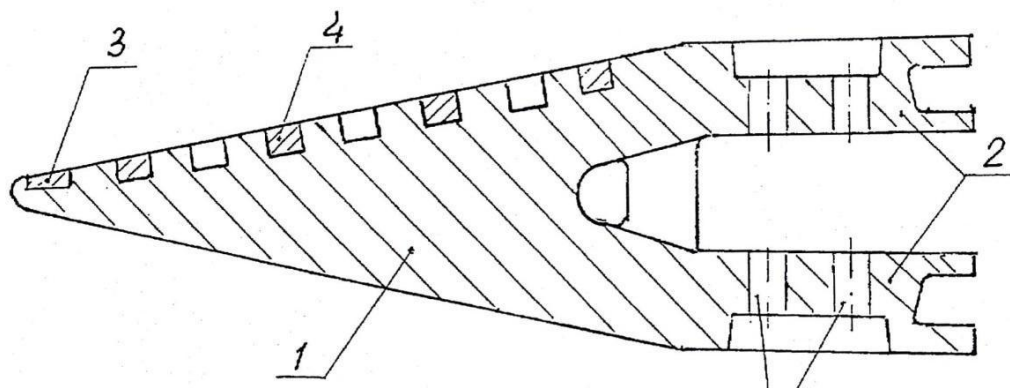
практично невразливі для руйнування під час ударів.

Вставки із зносостійкого чавуну забезпечують захист робочій поверхні зуба від абразивного зносу завдяки тіньовому ефекту протягом усього терміну стирання. Після повного зносу вставок абразивне зношування триває як у звичайних неармованих деталях.

Паралелепіпедна форма вставок забезпечує максимальний захист вістря зуба, а циліндричні вставки захищають решту робочої поверхні, забезпечуючи мінімальні внутрішні напруження та підвищену тріщиностійкість при литті.

Розташування вставок на робочій поверхні зуба створює додатковий ефект самозаточування, що підтримує зуб у загостреному стані, знижує витрати та підвищує продуктивність обладнання.

На рис. 9 показано зуб ковша екскаватора, армований вставками із зносостійкого чавуну. (розріз по А - А).



Малюнок 9 – Зуб ковша екскаватора

Зуб ковша складається з корпусу (1) і хвостовика (2), виготовлених зі сталі, а також з вставок паралелепіпедної (3) та циліндричної (4) форм, виконаних із зносостійкого чавуну.

Паралелепіпедні вставки розташовані на передній ріжучій кромці зуба (біля вістря) в один ряд з інтервалом 0,5–1,5 ширини вставки, при цьому їх

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довжина і товщина конструктивно обмежені і не перевищують 2–3 ширини вставки. Циліндричні вставки розміщуються рівномірно в рядах з міжцентровою відстанню 1,5–3 діаметра вставки.

Таке розташування забезпечує захист сталеві основи зуба від абразивного зносу завдяки тіньовому ефекту, а також підвищує ударостійкість вставок і загальну абразивну зносостійкість, що значно подовжує термін служби зуба.

Відомий спосіб виготовлення зуба ковша передбачає поверхнєве легування робочої поверхні. Для цього в порожнину ливарної форми встановлюють вставки з порошків феросплавів з рідким склом, які при заливці форми сталлю розплавляються, легуючи поверхневий шар відливки. Такий метод підвищував зносостійкість зубців на 30–40%, що вважається недостатнім.

Інший відомий спосіб передбачає встановлення вставки із зносостійкого чавуну на поверхню зуба в ливарній формі, після чого заливають сталеву основу. Отримана відливка зуба має армування вставкою. Цей метод прийнятий за прототип.

Мета нового способу — істотне підвищення терміну служби зуба та забезпечення ефекту самозаточування.

Вона досягається шляхом лиття зуба зі сталі із використанням дрібних вставок із зносостійкого чавуну (паралелепіпедної та циліндричної форм) як суцільнолитої конструкції з елементами кріплення в ливарній формі.

Пропонований метод відрізняється тим, що попередньо відлиті вставки у вигляді дрібних паралелепіпедних і циліндричних елементів встановлюються у нижню напівформу, фіксуються за допомогою кріпильних елементів і розташовуються на одній або двох робочих поверхнях зуба (рис. 10). (рис. 11, розріз Б-Б).

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

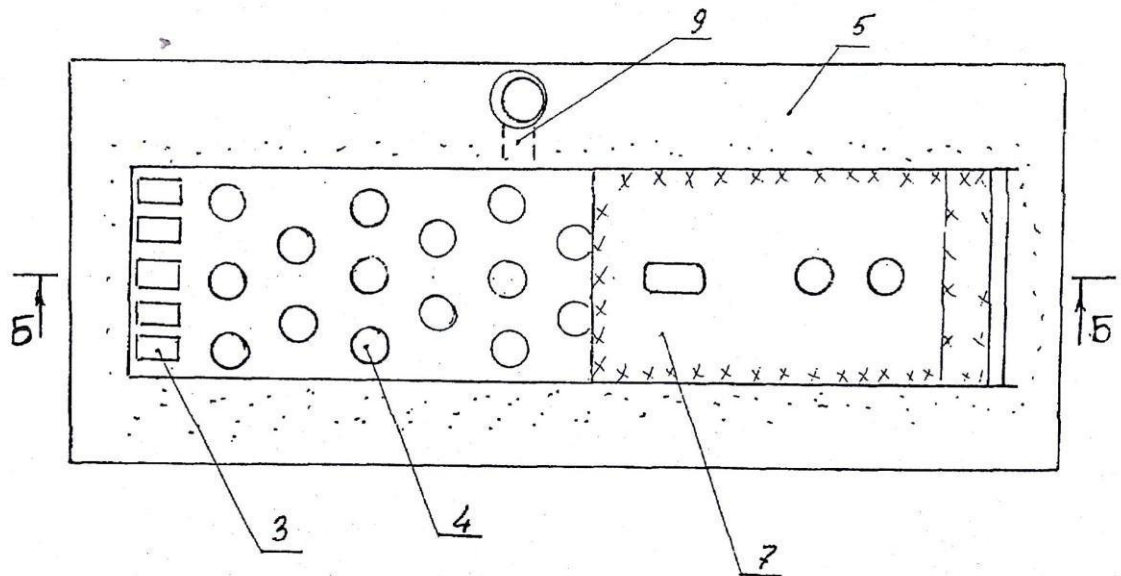
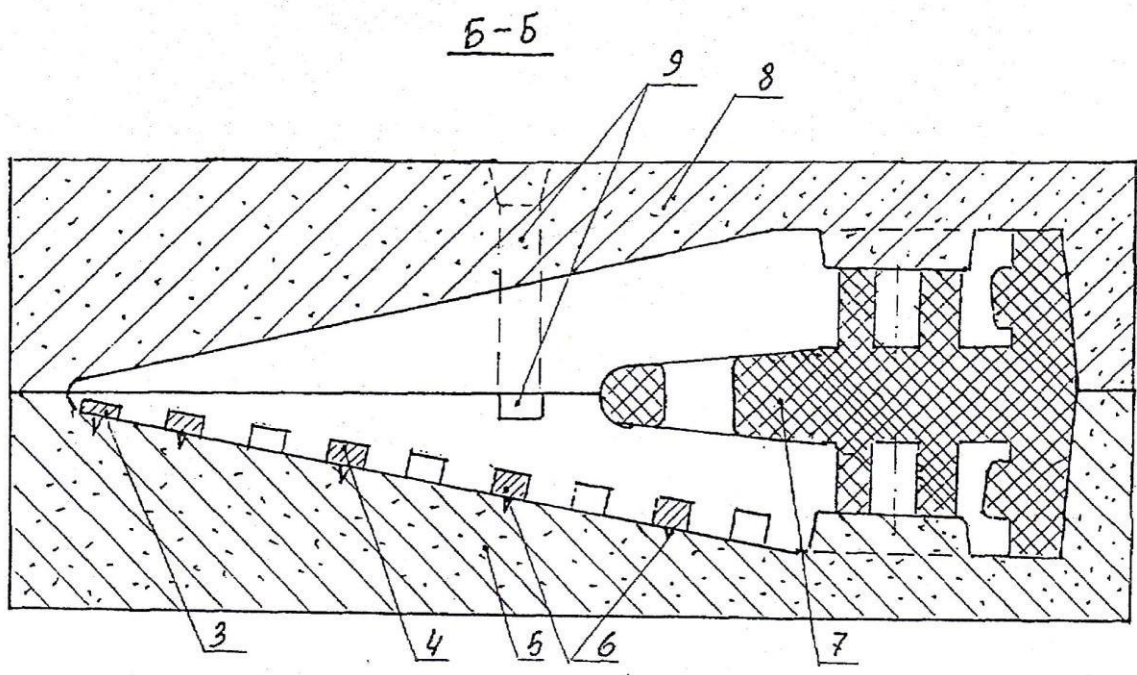


Рисунок 10 – Відливка з піщано-глинистої суміші



Малюнок 11 – Ливарна форма для відливання коронки розпушувача

Вставки паралелепіпедної форми встановлюють на ділянці, що формує вістря зуба, в один ряд з інтервалом 0,5–1,5 ширини вставки, а циліндричні –

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРММТВА 25.24330.000. ПЗ					

діаметра вставок.

Для формування внутрішніх порожнин вставляють піщаний стрижень. Після закриття верхньою напівформою форма заливається рідкою сталлю. Після кристалізації армовану відливку виймають із форми, видаляють стрижень, очищають від пригару і обробляють задирки та облой.

Розміри вставок ті ж: паралелепіпедні – 20×30×10 мм, циліндричні – діаметром 30 мм.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИБІР МАТЕРІАЛУ

В даний час розроблено і використовується досить велика кількість зносостійких матеріалів, склад яких змінюється в широких межах – від залізвуглецевих сплавів із загальним вмістом легуючих елементів 1,5 – 2 %, до сплавів на основі нікелю, кобальту і вольфраму, концентрація яких досягає 90 – 96 %. Зміною хімічного складу сплавів і їх структури досягається певний комплекс властивостей, застосовний до конкретних умов експлуатації.

Наукові дослідження і розробки в області зносостійких матеріалів показують, що для виготовлення деталей, що працюють в умовах абразивного, ударно-абразивного або ударного зносу, ефективним є застосування білих чавунів, про що свідчить ряд робіт, проведених в цій області. Висока зносостійкість даних сплавів забезпечується наявністю в структурі легованих карбідів заліза та (або) карбідів легуючих елементів [7].

При розгляді зносостійких матеріалів було встановлено три групи, що мають практичне значення для отримання шаруватих композиційних матеріалів в умовах високоенергетичного індукційного нагріву:

- леговані чавуни;
- сплави на основі кобальту і нікелю;
- псевдосплави.

5.1 Високохромисті та хромомарганцеві чавуни

Твердість комплексних карбідів заліза та марганцю досягає 800 НВ, тоді як спеціальні карбіди хрому мають твердість 1000–1200 НВ. Щоб уникнути утворення цементитного карбіду при 2 % С, необхідно щонайменше 17–18 % хрому. Найвища зносостійкість спостерігається у чавунів з вмістом хрому 12–

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24 %, які містять карбіди типу Me_7C_3 . Підвищення хрому понад 30 % при 3,4 % С знижує зносостійкість через появу великих крихких голкоподібних заевтектичних карбідів. Мінімальний вміст хрому для утворення цих карбідів складає не менше 10 %.

Висока мікротвердість карбідів хрому стимулювала застосування наплавочних матеріалів з близько 30 % хрому, однак такі виливки, хоч і мають високу зносостійкість, не витримують ударних навантажень. Для підвищення ударної в'язкості до складу вводять нікель у кількості 3–5 %.

Серед нових і маловивчених сплавів першої групи – ІЧХ15Г4НТ, розроблений Запорізьким машинобудівним інститутом та застосований на АТ «Східмашзавод» для виготовлення млинцевих куль для кульових млинів. Дослідження показали, що сплав самозагартовується, оскільки після лиття в його структурі утворюється мартенсит через розпад 40–50 % обсягу аустеніту, що є неприпустимим при високих ударних навантаженнях.

Сплав У30Х28Н4С4 («сормайт №1») – високолегований білий чавун, властивості якого залежать від швидкості охолодження. Температура плавлення становить 1275 °С, твердість – 57–59 НРС. Лінійний коефіцієнт температурного розширення (ЛКТР) порошку сормайту – $12 \cdot 10^{-6}$, після плавлення та формування шару, через наявність великого обсягу залишкового аустеніту, ЛКТР може збільшитися до $17 \cdot 10^{-6}$, тоді як для низьковуглецевої сталі він становить $14,3 \cdot 10^{-6}$.

Сормайт випускають у промислових масштабах у вигляді електродів і гранульованого порошку. Основне застосування – відновлення робочих органів будівельно-дорожньої техніки та ґрунтообробних машин. Завдяки використанню сормайту можна отримувати шари товщиною 5–6 мм.

Подібні властивості має сплав ПГ С-27, з тією ж областю застосування, за винятком наявності вольфраму 0,5 % і молібдену 0,3–0,4 %.

Сплав У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), у якому нікель замінено марганцем (2,5–3,5 %), має добрі технологічні властивості та дозволяє отримувати шари з

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високою твердістю і зносостійкістю, але не придатний для роботи під значними ударними навантаженнями. Він використовується для швидкозношуваних деталей вугільних машин, таких як рештаки та скребкові транспортери.

Для роботи в абразивному середовищі з ударними навантаженнями добре себе зарекомендував хромомарганцевий вольфрамовий чавун У35Х26Г6В2РТ, модифікований бором і титаном.

Сплав У35Х2Н5 («ніхард») широко застосовується у Франції, Канаді та США для виливків, що піддаються абразивному зносу. Його склад збалансований так, що вуглець знаходиться у зв'язаному вигляді, а металева матриця складається з мартенситу та залишкового аустеніту. Легування хромом запобігає графітизації, а нікель сприяє утворенню мартенситу. У ніхарді більшість хрому у карбідах цементитного типу, твердість яких нижча за тип Me_7C_3 , а нікель розчинений у металевій матриці. Використання ніхарду для підвищення зносостійкості робочих органів будівельно-дорожньої техніки складне: для підвищення стійкості до ударних навантажень потрібна термообробка, яка знижує твердість до 48–50 HRC [7].

5.2 Стеліти (кобальтохромвольфрамові сплави)

Стеліти відзначаються високими механічними характеристиками. Особливо цінною є їх здатність поєднувати високу жароміцність з ефективним опором абразивному зносу, корозії та ерозії. За твердістю в нагрітому стані стеліти наближаються до металокерамічних твердих сплавів, а за стійкістю до окалини навіть перевищують їх. Існують різні методи нанесення стелітів, включаючи індукційний нагрів. Структура сплавів варіюється від доевтектичної до заевтектичної. За оглядовими даними, евтектичний склад стеліту має 1,3 % вуглецю та температуру плавлення 1250 °С.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Стеліти різних марок (В2К, В3К, НХ13С2Р2) застосовуються для підвищення експлуатаційних властивостей таких деталей, як клапани двигунів тепловозів, волочильні кільця, бурові долота, ущільнювальні поверхні арматури паропроводів та інші. Основними обмеженнями їх застосування є висока вартість і дефіцитність компонентів, таких як вольфрам і особливо кобальт. Недоліком також є схильність до утворення тріщин, що вимагає попереднього підігріву деталей до 650–800 °С. Це ускладнює використання стелітів для створення шарових композиційних матеріалів з високоенергетичним індукційним нагрівом, оскільки підігрів основи знижує швидкість охолодження та впливає на формування структурно-фазового складу і фізико-механічні властивості покриття.

До другої групи відносять дисперсійно-твердіючі сплави, які є композиціями на залізокобальтовій основі з додаванням молібдену або вольфраму. Їх перевага полягає в тому, що після отримання метал має низьку твердість (30–35 HRC), що дозволяє проводити механічну обробку виробів. Висока твердість до 70 HRC досягається після відпуску, під час якого відбувається розпад пересиченого твердого розчину і виділення зміцнювальної фази.

Однак такі сплави, що зміцнюються при старінні, зазвичай мають високу температуру плавлення, тому при застосуванні високоенергетичного індукційного нагріву їх можна наносити на робочу поверхню лише за технологічною схемою з використанням рідкого присадочного матеріалу, що знижує техніко-економічні показники та ускладнює нанесення зносостійкого покриття без спеціального оснащення. [7].

5.3 Тугоплавкі матеріали

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Властивості композитних матеріалів залежать від фізико-механічних характеристик їх компонентів та особливостей дифузійної взаємодії між тугоплавкими включеннями та зв'язкою. Існує відома аналогія між псевдосплавами, придатними для індукційного методу, та металокерамічними спеченими твердими сплавами.

В якості тугоплавких компонентів у зносостійких псевдосплавах (реліт, ПС-3, ПС-4, ПС-5, ПС-6) зазвичай використовують карбіди або бориди вольфраму та хрому, які мають високу мікротвердість, значно перевищуючи твердість абразивних частинок, а також хорошу термостійкість. Їхня питома вага близька до питомої ваги рідкої сталі (за винятком карбідів вольфраму), а механічні властивості досить високі. При індукційному методі чисті карбіди хрому можна замінити порошком вуглецевого ферохрому марки ФХ80.

Особливо важливим при створенні композицій псевдосплавів є правильний вибір сполучної речовини. Вона повинна мати порівняно низьку температуру плавлення і забезпечувати змочування тугоплавких сполук у рідкій фазі. Для отримання міцного зв'язку сполучна речовина має розчиняти частину тугоплавких компонентів, але при охолодженні вони повинні знову виділятися з твердого розчину. Вторинні фази, що утворюються при охолодженні, не повинні послаблювати зв'язок між компонентами, а механічні властивості сполучної речовини мають залишатися високими.

Для отримання шаруватих композиційних матеріалів із застосуванням високоенергетичного індукційного нагріву рекомендують такі псевдосплави: сормайт-реліт (ПС-3), сормайт-ферохром (ПС-4), білий чавун-ферохром (ПС-6). Однак їхнє використання обмежене: псевдосплави ефективні лише при поєднанні абразивного зносу з ударними навантаженнями, а максимальна товщина одержуваного шару не перевищує 2 мм. Також до недоліків відноситься наявність феросплавів у складі, аналогічно матеріалам другої групи.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРММТВА 25.24330.000. ПЗ				

5.4 Низьколегована сталь 25Л

Використання в промисловості: станини прокатних станів, шківни, траверси, поршні, букси, кришки циліндрів, плити настільні, рами рольгангів і візків, мульди, корпуси підшипників, деталі зварювально-литих конструкцій та інші деталі, що працюють при температурі від - 40 до 450 °С під тиском [8].

Марка: 25Л (замінники: 20Л, 30Л) Клас: Сталь для виливків звичайна

Вид поставки (ГОСТ 25Л): виливки ГОСТ 977-88.

Хімічний склад сталі 25Л, %

C	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,22 - 0,3	0,35 - 0,9	до 0,3	до 0,045	до 0,04	до 0,3	до 0,3	~97

Властивості та характеристики сталі 25Л:

Термообробка: Нормалізація 880 – 900°С; Відпуск 610 – 630°С.

Твердість матеріалу: HB 10 –1 = 124 – 207 МПа

Температура критичних точок: $A_c 1 = 735$, $A_{c3} = 840$, $A_{c3} = 824$,

$A_{r1} = 680$.

Зварюваність матеріалу: обмежено зварювана. Способи зварювання: РДС, АДС під газовим захистом, ЕШС. Рекомендується підігрів і подальша термообробка.

Флокеночутливість: не чутлива. Схильність до відпускнуї крихкості: не схильна.

Оброблюваність різанням: в термообробленому стані при HB 160 К v тв. $спл=1,25$ і $Куб.ст=1$

Температура початку затвердіння, °С: 1490 – 1504 Показник тріщиностійкості, Кт.у.: 1,0

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схильність до утворення усадочних раковин, Ку.р.: 1,0 Рідкоплинність,
Кж.т.: 1,0

Лінійна усадка, %: 2,2 – 2,3

Схильність до утворення усадочної пористості, Ку.п. 1,0.

5.5 Тверді сплави. Сормайт №1

Тверді сплави широко застосовуються в промисловості для наплавлення швидкозношуваних поверхонь, для наплавлення і напаявання ріжучих інструментів.

Основою всіх твердих сплавів є тугоплавкі карбіди металів, які представляють собою хімічні сполуки металу з вуглецем.

Тверді сплави можна розділити на такі групи:

- 1) литі тверді сплави;
- 2) порошкоподібні тверді сплави;
- 3) металокерамічні надтверді сплави.

Найбільшого поширення набули такі тверді сплави: сормайт, сталініт, вокар і переможець.

Сормайт являє собою литий сплав: виготовляється у вигляді прутків діаметром 3-8 мм і довжиною до 450 мм. Застосовується для наплавлення швидкозношуваних частин деталей машин і інструментів. Наплавлення проводиться ацетиленокисневим полум'ям або електричною дугою за способом Славянова [8].

Сормайт № 1 має такий хімічний склад: нікелю 3-5%, хрому 25-31%, марганцю 1,5%, вуглецю 2,5-3,3%, кремнію 2,8-4,2%, решта — залізо. Твердість HRC 48 – 52. Сормайт № 1 не вимагає термообробки після наплавлення і може оброблятися тільки шліфуванням карборундовими

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

каменями.

Використовується сормайт № 1 для наплавлення вуглерозмельних млинів, молотків дробарок, зубів ковшів екскаваторів, ножів змішувачів револьверних пресів.

Наплавлення в нижньому і похилому положенні на постійному струмі зворотної полярності.

Характеристики електродів

Покриття-основне.

Коефіцієнт наплавлення - 13,0 г/Ач.

Витрата електродів на 1 кг наплавленого металу – 1,4 кг.

Твердість наплавленого металу..... 49 – 56,5 HRC

Рекомендована сила струму при наплавленні, А

Діаметр електрода, мм	Положення шва нижнє
4,0	
5,0	190
6,0	

Технологічні особливості наплавлення

Наплавлення виконують гранично короткою дугою, тільки в один шар, з підігрівом деталей до температури 500°C[8].

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

Технологія виготовлення передбачає такі етапи. У відлитій формі коронки розпушувача встановлюють стрижні, які формують у заготовці технологічні отвори. Після заливки металу сталлю 25Л, вилівок очищають до металевого блиску за допомогою піскоструминної або дробоструминної обробки. Заготовку подають у нижнє положення на технологічне місце, де технологічні отвори заправляють методом механізованого наплавлення порошковим дротом.

Сполучення тврдосплавних вставок та основи деталі може змінюватися в залежності від інтенсивності ударно-абразивних навантажень.

6.1 Наплавлення

Зуб ковша екскаватора складається з корпусу і хвостовика, виконаних зі сталі, та вставок паралелепіпедної і циліндричної форм із зносостійкого чавуну. Вставки паралелепіпедної форми розташовуються на передній ріжучій кромці зуба біля вістря в один ряд з інтервалом 0,5–1,5 ширини вставки, а циліндричні розташовуються рівномірно в рядах із міжцентровою відстанню 1,5–3,0 діаметра вставки. Таке розташування забезпечує захист сталеві основи від абразивного зносу за рахунок тіньового ефекту. Використання зубців запропонованої конструкції підвищує ударостійкість вставок і абразивну зносостійкість, що істотно подовжує термін служби виробу.

Відомі способи виготовлення зуба ковша передбачають зміцнення робочої поверхні шляхом поверхневого легування або встановлення вставки із зносостійкого чавуну у ливарну форму. При легуванні феросплавами поверхневий шар сталі набуває підвищеної зносостійкості, однак стійкість

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

таких зубців підвищується лише на 30–40 %, що недостатньо. Використання вставок із зносостійкого чавуну забезпечує більшу ефективність і дозволяє армувати відливку зуба, підвищуючи його зносостійкість і ударну міцність.

Пропонований спосіб виготовлення зуба ковша передбачає попереднє відливання вставок із зносостійкого чавуну паралелепіпедної та циліндричної форми суцільнолитої конструкції з елементами кріплення. Ці вставки встановлюють у нижню напівформу ливарної форми по одній або двох робочих поверхнях. Вставки паралелепіпедної форми розташовуються на вістрі зуба, а циліндричні – на решті робочої поверхні. Для виконання внутрішніх порожнин отворів у вилівку застосовують піщаний стрижень. Після встановлення вставок і стрижня форму накривають верхньою напівформою із ливниковою системою, через яку заливають рідку сталь. Після закристалізації відливку видаляють з форми, видаляють стрижень, очищають від пригару, обрубують облой і видаляють задирки. Армовану відливку зуба піддають термообробці (загартуванню) для надання пластичних властивостей сталі та підвищення зносостійкості чавунних вставок.

Зносостійкі властивості матеріалів для вставок визначаються їх складом і структурою. Комплекси карбідів заліза та марганцю мають твердість 800 НВ, спеціальні карбіди хрому – 1000–1200 НВ. Максимальна зносостійкість досягається чавунами з вмістом хрому 12–24 %, утворюючи карбіди типу Me_7C_3 . Підвищення вмісту хрому понад 30 % при 3,4 % вуглецю знижує зносостійкість через появу великих крихких голок заевтектичних карбідів. Для підвищення ударної в'язкості до складу вводять нікель 3–5 %. Відомі високолеговані чавуни, такі як сормайт №1, У35Х26Г6В2РТ та ніхард, дозволяють отримувати високі твердість і зносостійкість, проте не завжди витримують значні ударні навантаження, що потребує спеціальної термообробки.

Стеліти, як високожароміцні матеріали, відзначаються поєднанням абразивної стійкості з жароміцністю та корозійною стійкістю. Вони

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

застосовуються для клапанів двигунів, бурових доліт та ущільнювальних поверхонь арматури. Недоліками є висока вартість компонентів (вольфрам, кобальт) та схильність до утворення тріщин, що вимагає попереднього підігріву до 650–800°C. Дисперсійно-твердіючі сплави на залізокобальтовій основі з додаванням молібдену або вольфраму мають низьку початкову твердість і високу після відпуску, однак потребують рідкого присадочного матеріалу при високоенергетичному індукційному нагріванні.

Композитні матеріали формуються на основі тугоплавких включень і зв'язки. У псевдосплавах для індукційного методу (реліт, ПС-3, ПС-4, ПС-5, ПС-6) як тугоплавкий компонент застосовують карбіди або бориди хрому і вольфраму, які мають високу мікротвердість і міцність. Сполучна речовина повинна мати низьку температуру плавлення, змочувати тугоплавкі компоненти та забезпечувати їх часткове розчинення з повторним виділенням при охолодженні. Псевдосплави обмежені товщиною отриманого шару (не більше 2 мм) та наявністю феросплавів у складі.

Виготовлення деталей із технологічними отворами передбачає встановлення стрижнів у відлиту форму, заливку металу сталлю 25Л, очищення заготовки до металевого блиску, а потім заплавлення технологічних отворів механізованим наплавленням порошковим дротом. Поєднання твердосплавних вставок і основи деталі підбирається залежно від інтенсивності ударно-абразивних навантажень.

У промисловості застосовуються різні види наплавлення. Ручна дугова наплавка підходить для одиничних виробів складної форми, дозволяє працювати у всіх положеннях, але має низьку продуктивність. Автоматична наплавка дротом під флюсом рекомендована для масового виробництва, відзначається високою якістю та продуктивністю, проте вимагає дорогого обладнання. Механізоване наплавлення порошковим дротом поєднує переваги ручного та напівавтоматичного процесів, дозволяючи працювати у всіх положеннях, економить матеріал і підвищує ефективність. Дугове

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наплавлення під флюсом може бути автоматичним або напівавтоматичним, одноелектродним або багатоелектродним, із круглими чи стрічковими дротами. Дугове наплавлення в захисних газах забезпечує високу якість сплавлення з використанням аргону, азоту, водню або CO₂. Вібродугове наплавлення передбачає вібрацію електрода, а електрошлакове – високу продуктивність при формуванні металу за один прохід. Наплавлення відкритою дугою та плазмове наплавлення дозволяють відновлювати деталі складної форми без додаткових флюсів і газу, із застосуванням порошку, дроту або стрічки, забезпечуючи високу точність і однорідність наплавленого шару.

Перед наплавленням поверхню очищають від бруду, іржі, окалини, масла та вологи. Під час накладення шарів кожен наступний валик перекриває попередній на 25–30 % ширини. Для забезпечення якості необхідне правильне регулювання сили струму та швидкості подачі дроту, що гарантує надійне сплавлення з основним металом, відсутність дефектів та відповідність властивостей наплавленого металу заданим параметрам. [3].

6.2 Обладнання для механізованого наплавлення порошковим дротом

Основні відомості про виріб і технічні дані.

Зварювальний напівавтомат типу ПДГО-510 С У3.1 серії 02, надалі іменованій як «напівавтомат», призначений для виконання дугового зварювання плавким електродом на постійному струмі в середовищі захисних газів. Він призначений для обробки виробів із маловуглецевих та низьколегованих сталей і забезпечує надійну роботу завдяки природному охолодженню пальника. Керування роботою напівавтомата здійснюється за допомогою органів управління, розташованих на механізмі подачі дроту, а

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

також за допомогою кнопки на пальнику, що дозволяє оператору контролювати процес безпосередньо під час зварювання.

Особливістю даного напівавтомата є наявність незалежного, плавного регулювання швидкості подачі електродного дроту. Ця функція здійснюється за допомогою ручки потенціометра, встановленої на механізмі подачі, що дає можливість точно налаштувати швидкість подачі дроту відповідно до товщини матеріалу, типу зварювального шва та умов виконання робіт. Завдяки цьому оператор може забезпечувати рівномірний та стабільний процес зварювання, підвищуючи якість шва і ефективність роботи. Крім того, конструкція напівавтомата передбачає зручний доступ до органів управління та надійну експлуатацію у різних виробничих умовах. [4].

Напівавтомат забезпечує:

- підключення пальника з євророз'ємом або спеціального пальника з роз'ємом зворотних зв'язків;
- плавне регулювання швидкості подачі електродного дроту;
- можливість роботи в режимі «Довгі» і «Короткі» шви;
- управління тимчасовими значеннями циклу зварювання:
 - 1) тривалість «Продування газу до зварювання» від 0,3 до $4,0 \pm 1,5$ с;
 - 2) тривалість «Виліт дроту» від 0,05 до $0,2 \pm 0,1$ с;
 - 3) тривалість «Продування газу після зварювання» від 0,3 до $5,0 \pm 1,5$ с;
- плавне регулювання (дистанційне) вихідної напруги зварювального випрямляча;
- включення і відключення клапана подачі захисного газу;
- дистанційне вмикання і вимикання зварювального випрямляча;
- установку касети ($\varnothing 300$ мм) з дротом ємністю 15 або 30 кг.

Напівавтомат виготовлений за технічними умовами ТУ У 12-20732066-048-96.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підприємство-виробник: ВАТ електромашинобудівний завод «Фірма СЕЛМА». Адреса підприємства-виробника: вул. Генерала Васильєва 32а, м. Сімферополь, республіка Крим, Україна, 95000.

Основні технічні дані напівавтоматів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Основні технічні дані напівавтоматів

Найменування параметра	Значення
Напруга живлення, В	36 і 24
Частота, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А*	500
Номінальна зварювальна напруга, В*	40
Номінальний режим роботи (ПВ) при циклі 5 хв., %*	60
Межі регулювання зварювального струму, А*	50
Діаметр сталевого суцільного дроту, мм	1,0 – 1,6
Діаметр порошкового дроту, мм	1,2 – 2,0
Потужність електродвигуна подаючого механізму, Вт	145
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год	120 – 1100
Тип роз'єму пальника	Євророз'єм

* – Межі регулювання зварювального струму (напруги) визначаються зварювальним випрямлячем, спільно з яким працює напівавтомат. У таблиці в якості зварювального випрямляча наведені дані випрямляча ВД-506 ДК.

Значення робочої напруги зварювального випрямляча у вольтах визначається залежною:

$$U=14+0,05 \times I_{св} .,$$

де $I_{св}$. – зварювальний струм, А.

Вид кліматичного виконання напівавтоматів - УЗ.1 ГОСТ 15150-69.
Напівавтомат призначений для роботи в закритих приміщеннях з

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дотриманням таких умов:

- температура навколишнього середовища від мінус 10 °С (263 К) до плюс 40 °С (313 К);

- відносна вологість не більше 80% при 20 °С (293 К).

Середовище, що оточує напівавтомат, повинно бути невибухонебезпечним, не містити струмопровідного пилю, агресивних парів і газів, що руйнують метали та ізоляцію.

Умови експлуатації в частині впливу механічних факторів зовнішнього середовища за групою М20 ГОСТ 17516-72.

Відомості про вміст дорогоцінних матеріалів.

Дорогоцінні матеріали, зазначені в ГОСТ 2.608-78, в конструкції виробів і в технологічному процесі виготовлення не використовуються. Відомостей про вміст дорогоцінних матеріалів в комплектуючих виробках немає.

Габаритні розміри та маса напівавтомата наведені в додатку Б. Загальна схема напівавтомата – в додатку В. Профілі канавок подаючих роликів наведені в додатку Г. Підбір параметрів зварювання в середовищі CO₂ наведено в додатку Д.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

7 МЕТАЛОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Металографічні дослідження зразків шаруватого композиційного матеріалу дозволяють оцінити, як технологічні режими та товщина одержуваного шару впливають на формування його структурно-фазового складу. Особливу увагу приділяють розмірам і кількісному співвідношенню фаз, оскільки саме ці параметри відображають вплив обраних технологічних режимів на кінцеві властивості матеріалу.

Дослідження межі розділу шаруватого композиційного матеріалу за допомогою металографічного методу дає змогу визначити, як тривалість високоенергетичного індукційного нагрівання та якість підготовки поверхні компонента основи впливають на формування цієї межі.

Особливу роль відіграє швидкість переміщення виробу відносно індуктора, яка визначає час, протягом якого матеріал піддається впливу індукційного нагріву. Наприклад, при отриманні шаруватого композиційного матеріалу зі швидкістю 8–9 м/год спостерігається утворення дефектних ділянок на межі розділу. Подібні дефекти виникають через недостатній час рідино-твердофазної взаємодії між компонентами, що перешкоджає повноцінній адгезії та протіканню дифузійних процесів, які необхідні для створення міцного та однорідного шару.

Ретельний контроль технологічних параметрів, зокрема швидкості переміщення і часу нагріву, є критичним для забезпечення високої якості шаруватого композиційного матеріалу і уникнення дефектів на межі розділу.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

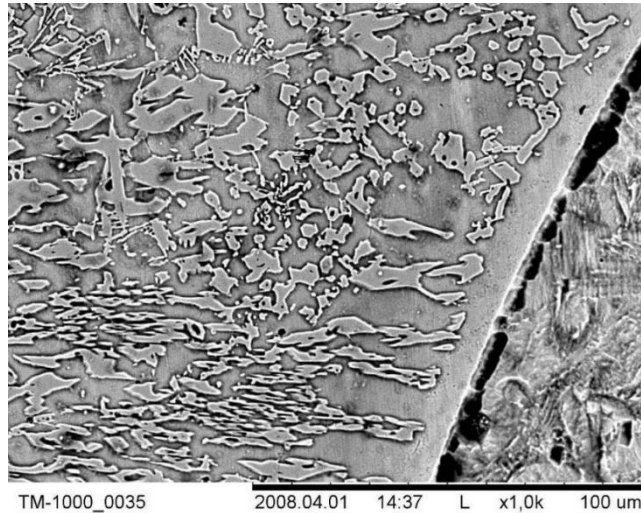


Рисунок 12 – Дефектні ділянки межі розділу, при швидкості 8–9 м/год
(отриманий шар ліворуч)

Зменшення швидкості переміщення виробу до 7 м/год дозволяє суттєво скоротити протяжність дефектних ділянок на межі розділу шаруватого композиційного матеріалу. На отриманих мікрофотографіях спостерігається помітне зменшення довжини таких ділянок, а в окремих місцях дефекти проявляються у вигляді розсіяних окремих пор. Це свідчить про поліпшення процесу рідино-твердофазної взаємодії компонентів, що підвищує адгезію між шарами та сприяє формуванню більш однорідного та міцного шару.

Контроль швидкості переміщення є важливим технологічним параметром, який безпосередньо впливає на якість межі розділу та мінімізує утворення дефектів у процесі формування шаруватого композиційного матеріалу. Зниження швидкості дозволяє збільшити час дифузії та забезпечити більш повне взаємне проникнення компонентів, що сприяє створенню надійної та довговічної структури матеріалу. (рис. 13, б).

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

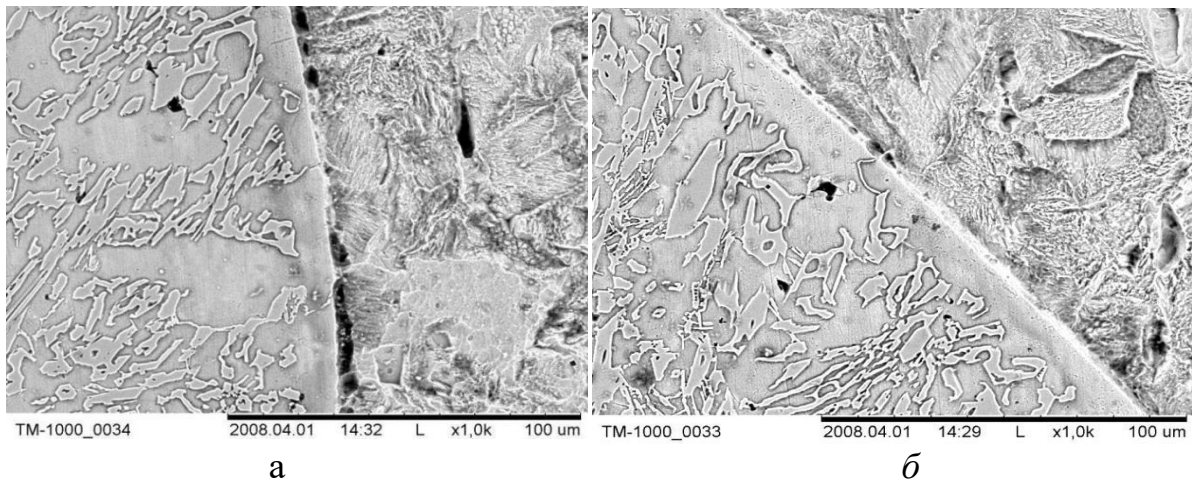


Рисунок 13 – Дефекти межі розділу, при швидкості 7 м/год: а– дефектні ділянки; б– утворення пор

При формуванні шаруватого композиційного матеріалу зі швидкістю переміщення 6,5 м/год межа розділу практично зводиться до тонкої лінії, без помітних дефектних ділянок, а карбідна фаза, що утворюється, характеризується рівномірною та дисперсною структурою. Зменшення швидкості до 5 м/год супроводжується деяким збільшенням товщини межі розділу та збідненням карбідної фази в зоні, що прилягає до цієї межі. Відмінності в структурі легко простежити і вони обумовлені подовженням часу впливу високоенергетичного індукційного нагрівання, що призводить до більш інтенсивного прогрівання компонента основи та сповільнення швидкості охолодження. Такий вплив підвищує дифузію та сприяє формуванню більш однорідної і міцної межі розділу, що істотно впливає на експлуатаційні характеристики шаруватого композиційного матеріалу.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

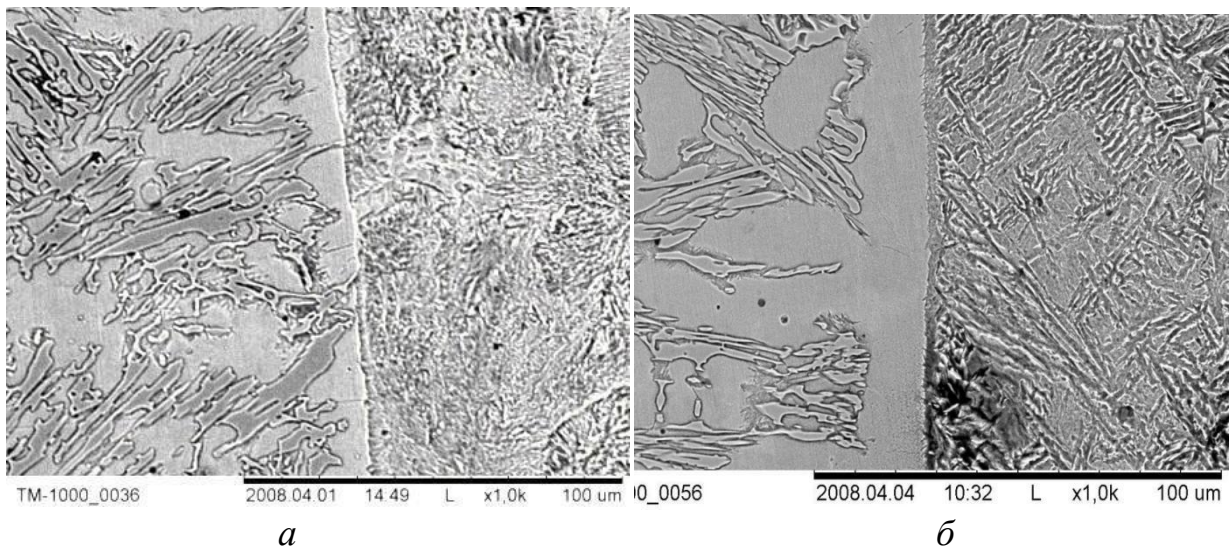


Рисунок 14 - Межа розділу і мікроструктура отриманого шару (зліва) *a* – зі швидкістю 6,5 м/год; *б*– зі швидкістю 5 м/год

Металографічні дослідження отриманих зразків продемонстрували, що на формування межі розділу та появу дефектів впливає не лише швидкість проведення наплавлення, але й надзвичайно важливу роль відіграє якість підготовки поверхні компонента основи.

Наявність на поверхні забруднень, оксидів різного походження тощо призводить до утворення великої кількості великих дефектів у вигляді грубих розгалужених пор і газових бульбашок, які розташовані як безпосередньо на межі розділу (рис. 15), так і в обсязі металу отриманого шару (рис. 16).

Утворення такого роду дефектів визначається відставанням перебігу процесу рафінування компонента основи від швидкості кристалізації розплавленого металевих порошку, що вказує на неприпустимість отримання шаруватого композиційного матеріалу без попередньої механічної обробки компонента основи. У даному випадку межа розділу набуває чітко вираженої лінії без наявності дефектів (рис. 17).

						КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

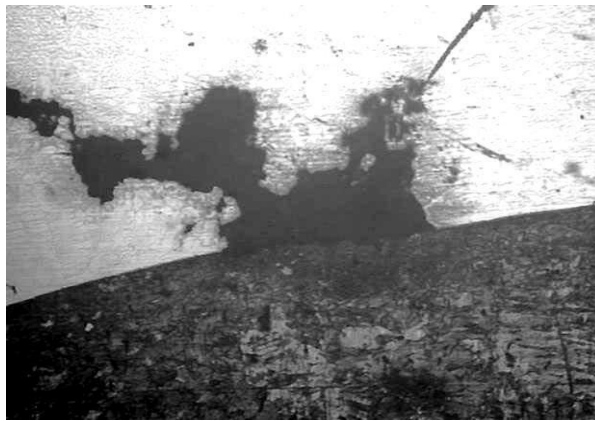


Рисунок 15 – Дефекти на межі розділу шаруватого композиційного матеріалу



Рисунок 16 – Дефекти в обсязі отриманого шару

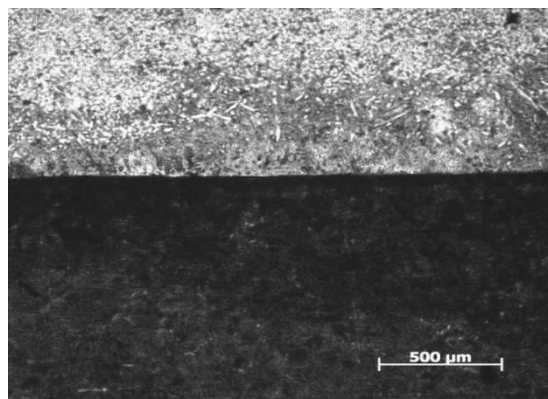
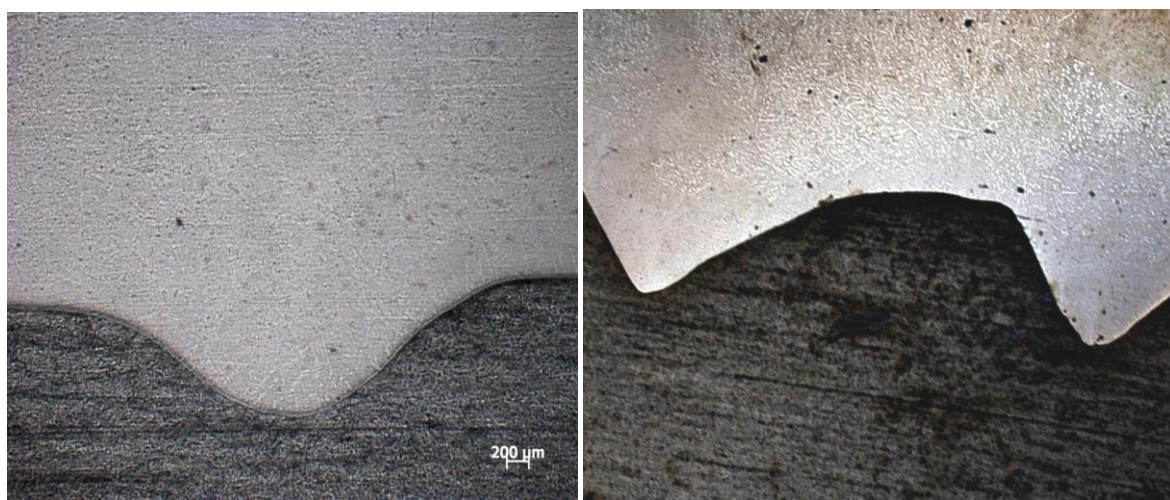


Рисунок 17 – Межа розділу із застосуванням обробленої поверхні

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Металографічний аналіз шаруватого композиційного матеріалу, виготовленого із використанням компонента основи після фрезерування з різними типами рельєфу поверхні, виявив цікаву закономірність: межа розділу отриманого шару відтворює контури попередньо нанесеного рельєфу. Іншими словами, западини та виступи, утворені на поверхні фрезеруванням, практично точково повторюються на межі розділу матеріалу, впливаючи на її геометрію та однорідність. Це свідчить про те, що навіть незначні нерівності і шорсткості поверхні компонента основи безпосередньо переносяться на шаруватий матеріал, визначаючи локальні концентрації напруг і потенційні місця формування дефектів. Такий ефект підкреслює важливість ретельної механічної обробки і контролю рельєфу поверхні перед проведенням процесу наплавлення, адже від цього безпосередньо залежить якість адгезії та рівномірність утворення структурно-фазового складу отриманого шару. (рис. 18, а, б).



a

б

Рисунок 18 –Рельєфна межа розділу:

a – крок 4×1,5 мм; *б*– крок 3×1 мм

Отримані результати дозволяють зробити обґрунтоване припущення

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

щодо перспективності формування шаруватого композиційного матеріалу шляхом армування нанесеного шару металом компонента основи з високою ударною в'язкістю. Такий підхід здатен ефективно запобігати виникненню відколів та викришуванню шару під дією ударних навантажень, забезпечуючи його більшу цілісність та надійність. Крім того, використання рельєфної поверхні компонента основи значно покращує адгезію між шарами шаруватого матеріалу, оскільки збільшується площа контактного зіткнення металу і підвищується ефективність механічного «зчеплення». Це, у свою чергу, сприяє формуванню більш міцної та стійкої до механічних впливів структури, що є важливим фактором при експлуатації виробів у умовах інтенсивного абразивного та ударного навантаження. Такий підхід відкриває додаткові можливості для оптимізації технологічних параметрів наплавлення та підвищення експлуатаційної надійності шаруватих композиційних матеріалів.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВОК

Розроблено та обґрунтовано технологію виготовлення коронок розпушувача, що забезпечує поєднання високої зносостійкості та механічної надійності виробу. Проведені металографічні дослідження показали, що підвищення швидкості наплавлення призводить до утворення мікродефектів на межі розділу, таких як пористість, газові бульбашки та слабка адгезія, що негативно впливає на довговічність і зносостійкість коронки розпушувача. Аналіз показав, що оптимізація швидкості наплавлення та підготовки поверхні компонента основи дозволяє практично усунути дефекти, а карбідна фаза формує дисперсну структуру, яка підвищує стійкість до абразивного та ударного зносу.

Запропонований спосіб виготовлення дозволяє зберігати оптимальний кут різання коронки, забезпечує надійне зчеплення зносостійкого матеріалу з металевою основою виливки і підвищує ударну в'язкість шару за рахунок армування рельєфної поверхні компонента основи. Використання рельєфної поверхні та контроль технологічних режимів, таких як швидкість переміщення відносно індуктора та попередня обробка поверхні, сприяє більш рівномірному формуванню межі розділу та збільшенню площі контактної взаємодії, що в цілому підвищує експлуатаційну надійність та довговічність коронок розпушувача.

Таким чином, розроблена технологія забезпечує ефективне поєднання механічних та експлуатаційних властивостей, дозволяючи виготовляти коронки, здатні витримувати інтенсивні ударні та абразивні навантаження протягом тривалого часу.

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойко, В. С. Зносостійкі матеріали для машинобудування. Київ: Наукова думка, 2019. 284 с.
2. Іващенко, О. В. Матеріалознавство: навч. посіб. Харків: ХНУМГ, 2020. 312 с.
3. Левченко, П. М. Сплави підвищеної твердості для робочих органів землерийної техніки. Львів: Видавництво ЛНТУ, 2018. 226 с.
4. ТОВ «Завод ковшів». Виготовлення зносостійких зубів для екскаваторів. URL: <https://zavod-kovshiv.com.ua>
5. Завод «Технопром». Зуби екскаватора із зносостійкої сталі HARDOX. URL: <https://tehnoprom.ua/hardox>
6. «Метал Холдінг». Зносостійкі сталі марки AR та HARDOX. URL: <https://metalholding.com.ua/znostiyki-stali>
7. ТехноСтрой. Зуби ковша для екскаватора: огляд матеріалів. URL: <https://tehnostroi.ua/zuby-kovsha>
8. УкрСпецТех. Чавун та сталь для високозносостійких деталей. URL: <https://ukr-spectech.com.ua/articles/znozistiyki-materialy>
9. ТОВ «СпецПром». Наплавочні матеріали для підвищення ресурсу зубів екскаваторів. URL: <https://specprom.ua/naplavka>
10. Металцентр «Дніпро». Зносостійкі сталі Hardox та Weldox. URL: <https://metal-dnipro.com.ua/hardox>
11. Краматорський металургійний завод. Леговані сталі з бором та хромом. URL: <https://kmz.ua/boron-steel>
12. «УкрМетСервіс». Аналітика щодо сплавів із підвищеною ударною в'язкістю. URL: <https://ukrmetservice.com.ua/articles/spavy-vyazkist>
13. ДП «Інститут електрозварювання ім. Патона». Наплавлення зносостійких покриттів. URL: <https://paton.kiev.ua/naplavlennia>

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Машбуд. Методи підвищення ресурсу зубів екскаватора. URL: <https://mashbud.ua/ekskavatory/zuby>

15. СпецТехПостач. Матеріали для ковшових елементів спецтехніки. URL: <https://spectechpostach.ua/materialy>

16. «Сталепром». Зносостійкі сплави з карбідами хрому. URL: <https://staleprom.com.ua/carbide-chrome>

17. УкрГорМаш. Досвід використання різномірних матеріалів у важкому машинобудуванні. URL: <https://ugm.ua/articles/materialy>

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК

					КРММТВА 25.24330.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		