

Напря́м: "Матеріалозна́вство"

Назва роботи:

**"Дослідження структуроутворення кераміко-металевих зносостійких покриттів при індукційному наплавленні"**

**Шифр – "Сормайт"**

2020

## Зміст

Вступ.....	3
<b>1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МАТЕРІАЛІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В АБРАЗИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Характеристика і класифікація матеріалів для наплавлення.....	5
1.2 Матеріали для підвищення абразивної зносостійкості деталей.....	7
<b>2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КЕРАМІКО-МЕТАЛЕВИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ.....</b>	<b>13</b>
2.1 Вибір і обґрунтування складів порошкової шихти для індукційного наплавлення.....	13
2.2 Методика нанесення зносостійких покриттів.....	14
2.3 Методика проведення металографічних досліджень та властивостей покриттів.....	15
2.4 Методика визначення абразивної зносостійкості кераміко-металевих покриттів.....	16
<b>3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>18</b>
3.1 Дослідження закономірностей структуроутворення і твердості кераміко-металевих покриттів.....	18
3.2 Вплив технологічних параметрів індукційного наплавлення при на формуванні кераміко-металевого зносостійкого покриття.....	23
3.3 Дослідження абразивної зносостійкості наплавлених кераміко - металевих шарів.....	25
<b>Висновки.....</b>	<b>27</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>28</b>

## ВСТУП

Одним із чинників ефективного застосування обладнання або комплексу є відсутність технологічних перерв, зупинок на плановий або аварійний ремонт. Як правило, це пов'язано з зносом обладнання, період роботи якого залежить від ресурсу деталей. Деталі, які піддаються інтенсивному зносу (абразивний та знос, кавітація, удар і ін.), виходять з ладу в першу чергу, що сильно знижує загальний ресурс обладнання та призводить до планових зупинок.

Промисловістю витрачається значна кількість металу на виготовлення запасних частин і заміну швидкозношуваних деталей, наприклад, робочих органів змішувальних та дробильних механізмів, деталей машин, валків прокатних станів, ґрунтообробних машин і ін. деталей. При цьому витрачається велика кількість праці, збільшуються простої агрегатів для заміни зношених деталей, знижується продуктивність машин і механізмів. Тому підвищення зносостійкості і терміну служби машин дуже важливе завдання науки і виробництва в сучасних умовах.

Підвищення зносостійкості і терміну служби машин досягають методом раціонального конструювання, вибором відповідного матеріалу, термічною або хіміко-термічною обробкою або зносостійким наплавленням. [1] Наплавлення є найбільш економічним і широко застосовуваним в промисловості методом відновлення деталей машин і механізмів, надання їм спеціальних якостей, які підвищують зносостійкість та довговічності деталей і вузлів устаткування, машин і механізмів.

Останнім часом розроблена досить широка номенклатура прогресивних кераміко-металевих матеріалів, що дозволяють значно підвищити зносостійкість деталей, які працюють в умовах абразивного зношування. Найбільший інтерес викликають композиційні матеріали системи «метал-кераміка».

Найбільш технологічним методом нанесення зміцнюючих покриттів на деталі для умов їх масового виробництва залишається індукційна наплавка, яка

поряд з її високою продуктивністю, дозволяє наносити композиційні порошкові покриття різного складу. Питання проектування конструкції деталей з композиційним кераміко-металевим покриттям, вибір його складу, особливості нанесення в залежності від зносу є актуальними.

Метою роботи є дослідження закономірностей структуроутворення кераміко-металевих зносостійких покриттів при індукційному наплавленні.

Завдання роботи:

1. Дослідження процесу формування покриттів системи кераміка-метал при індукційній наплавленні.
2. Дослідження структури і основних фізико-механічних властивостей кераміко-металевих покриттів, отриманих індукційним наплавленням.
3. Проведення лабораторних досліджень зміцнених зразків з метою визначення працездатності деталей машин та механізмів.

# **1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МАТЕРІАЛІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В АБРАЗИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

## **1.1 Характеристика і класифікація матеріалів для наплавлення.**

Матеріали для наплавлення можна класифікувати за формою виготовлення і методу наплавлення, та складом легуючих елементів. [2] За формою виготовлення і методу наплавлення матеріали випускаються наступних видів:

- ручна наплавка електродами;
- напівавтоматична або автоматична наплавка;
- із застосуванням суцільного дроту, порошкового дроту, самозахисного порошкового дроту;
- газополуменева наплавка і напилення порошковими сплавами (наплавочні порошки);
- плазмова наплавка і напилення;
- наплавка із застосуванням спеціальних присадних матеріалів.

Зносостійкі наплавочні матеріали можна класифікувати за типом зносу для захисту від якого призначені матеріали: абразивне зношування; ерозійне зношування; корозійне зношування; фрикційне зношування та ін. [1] Зазвичай наплавочні матеріали розрізняють по хімічному складу і використанню їх в тій чи іншій галузі промисловості. Наплавочні матеріали поділяють в залежності від хімічного складу на чотири групи: 1) малолеговані на основі заліза (від 2 до 12% легуючих елементів); 2) високолеговані на основі заліза (від 12 до 50% легуючих елементів); 3) матеріали на основі нікелю і кобальту; 4) матеріали, що містять в основному карбід вольфраму (75% і вище), класифікацію яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Класифікація, хімічний склад і твердість наплавленого металу на основі заліза

Тип наплавленого металу	Масова частка елементів, %									Твердість, HRC
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	Інші	
Нелеговані і низьколеговані сталі	$\leq 0,4$	0,5...3,0	$\leq 1,0$	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$			$\leq 1,0$		20...45
	$\geq 0,4$	0,5...3,0	$\leq 1,0$	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$			$\leq 1,0$		52...60
Хромовольфрамкові, хромомолібденові теплостійкі сталі	0,2...0,5	$\leq 2,0$	$\leq 1,0$	1,0...5,0	$\leq 5,0$	1,0...10,0	0,2...1,5	$\leq 4,0$		52...60
Вольфрамкові, вольфрамолібденові швидкоріжучі сталі	0,6...1,5	$\leq 0,5$	$\leq 4,0$	4,0...6,0	-	1,5...18,0	$\leq 3,0$	$\leq 10,0$	Co $\leq 15$	52...60
Низьковуглецеві хромисті сталі	$\leq 0,2$	$\leq 0,8$	$\leq 2,0$	12...30	$\leq 5,0$	-	-	$\leq 2,0$	-	35...50
Хромисті сталі з підвищеним вмістом вуглецю	0,2...2,0	0,3...1,5	$\leq 3,0$	5,0...18,0	$\leq 5,0$	$\leq 1,5$	-	$\leq 2,0$	-	50...60
Високомарганцеві аустенітні сталі	0,5...1,2	11...18	$\leq 4,0$	$\leq 5,0$	$\leq 4,0$	-	-	$\leq 1,0$	-	25...35
Хромонікелеві, хромонікельмарганцеві аустенітні сталі	$\leq 1,3$	1,0...8,0	$\leq 5,0$	12...20	8,0...25	-	-	$\leq 5,0$	Nb $\leq 1,5$ Ti $\leq 1,0$	18...25
Високохромисті	2,0...5,0	0,5...0,8	$\leq 5,0$	18-35	$\leq 4,0$	$\leq 5,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$	Nb $\leq 1,5$	55...65

Найбільш поширені зносостійкі наплавочні матеріали включають в себе: аустенітні високомарганцеві сталі, хромисті сталі, карбідні сталі класу швидкоріжучих, високохромисті чавуни; хромовольфрамкові теплостійкі сталі, кобальтові сплави з хромом і вольфрамом, нікелеві сплави з хромом і бором, нікелеві сплави з молібденом, карбідні спечені сплави і т.д. Система легування наплавочних матеріалів охоплює великий перелік з'єднань: Fe-C-Cr; Fe-C-Mn;

Fe-C-W; Fe-C-Cr-Mn; Fe-C-Cr-B; Fe-C-Cr-Ni; Fe-C-Mo; Fe-C-Cr-Mo; Fe-C-Cr-W;  
Fe-C-Cr-W-V; Fe-C-Cr-W-B и т.д.

## 1.2 Матеріали для підвищення абразивної зносостійкості деталей

Для захисту від абразивного зносу добре працюють сплави з високим вмістом фази карбиду. Зносостійкість наплавочних матеріалів істотно залежить від типу і кількості карбідної фази в сплавах. Найчастіше зміцнююча фаза в наплавочних сплавах містить карбіди:  $Fe_3C$ ;  $Mn_3C$ ;  $Cr_7C_3$ ;  $W_2C$ ;  $WC$ ;  $VC$ ;  $TiC$ ;  $V_4C$ ,  $Mo_2C$ , і ін., а також карбоборіди, нітриди, заліза і легуючих елементів. [2] Отримати універсальні наплавочні матеріали досить важко. Наприклад, при збільшенні стійкості до абразивного зносу зменшується стійкість до ударів і навпаки. [4] Для протистояння чисто абразивного зносу найчастіше використовується високохромистий чавун (сормайт). Цей матеріал має як ряд переваг так і недоліків. Фактор абразивного зносу і ударної дії в рівній мірі може впливати на деталь під час експлуатації.

До зносостійким матеріалам, які працюють в умовах абразивного зношування ставиться комплекс вимог:

- структура сплавів повинна бути гетерогенною, складатися з твердих зерен, рівномірно розподілених в пружнопластичній матриці, яка не повинна істотно змінюватися в процесі тертя;
- поверхневий шар повинен мати меншу міцність, ніж нижні шари (правило позитивного градієнта) і не наклепуватися в процесі тертя;
- між структурними складовими матеріалу повинна існувати міцний адгезійний зв'язок.

Індукційний нагрів є одним з найбільш прийнятних способів для утворення композиційних покриттів, так як відсутні інтенсивні перегріву і можна не допустити розплавлення наповнювача. Матеріал, призначений для нанесення зносостійких покриттів, може застосовуватися у вигляді електродів, присадочних прутків, дроту, порошоків.

Для ручної зносостійкого наплавлення застосовуються електроди різних марок. наведені в таблиці 1.1 [50].

Таблиця 1.1 – Електроди для ручної наплавлення зносостійких покриттів

Марка електроду	Типовий хімічний склад наплавочного металу									Твердість, HRC	Країна (фірма)
	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Ti	B		
ОЗН-400	0,2	4,2	0,5	-	-	-	-	-	-	38...46	СНГ
T-590	3,2	1,2	2,2	25	-	-	-	-	1,0	57...65	СНГ
T-620	3,2	1,2	2,2	23	-	-	-	1,3	1,5	55...62	СНГ
Delcrome alloy 11	4,2	0,9	1,6	15	0,5	-	-	-	-	55	США ("Cabot")
Delcrome alloy 91	5,0	0,4	1,2	26	3,4	-	-	-	-	57	То же
Delcrome alloy 94	3,0	0,9	0,4	31	1,3	-	-	-	-	55	Тоже
Super 20	6,0	-	-	22	7,0	5,0	-	-	-	66...65	Тоже
Super rome	4,5	-	2,0	30	-	-	-	-	-	56...61	США ("Alex")
Ni-Mang alloy	0,6	2,6	0,2	13,5	-	-	3,5	-	-	46	США "Cabot"
Nicro-mang*	0,8	4,0	-	14,0	-	-	4,0	-	-	44	США ("Alex")

Для ручного наплавлення застосовуються електроди з підвищеним вмістом хрому (10...30%) і вуглецю (3...6%), що відповідає за складом легованим чавунам (табл.1.1). Для підвищення зносостійкості наплавлених покриттів до складу електродів може додатково вводиться молібден, вольфрам, титан, бор [50]. Для відновлення деталей, що працюють в умовах абразивного зносу поєднується з сильними ударами, електроди містять підвищений вміст нікелю при вмісті вуглецю в межах 0,6-0,9%.

Прутки для наплавлення застосовуються як правило для газополуменевого і аргонно-дугового наплавлення в якості присадних матеріалів. Останнім часом йде тенденція збільшення споживання порошкового дроту замість дроту суцільного перерізу для наплавлення. У ремонтному виробництві широко використовуються наступні марки порошкових дротів [52]:



- ПП-Нп-200x15СГРТ (ПП-АН 125) - для наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування (ножі грейдерів, бульдозерів, дробильного і розмельного устаткування, робочих органів ґрунтообробних машин). Твердість наплавленого шару 50...58 HRC;

- ПП-Нп-300X25 Н2М2ГФ (ПП-АН123) - для наплавлення деталей, що працюють при ударних навантаженнях в умовах інтенсивного абразивного зношування (робочі органи ґрунтообробних машин). Твердість 52...56 HRC;

- ПП-ОЛН-22 (ПП-70X4МЗГ4ФТР) застосовується для наплавлення деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного і ударно-абразивного зношування і хімічно неагресивного середовища при знижених, нормальних і підвищених температурах (деталі екскаваторів, дробарок, змішувачів, розпушувачів ґрунту, елементів ходової частини землерийної техніки і ін.).

Найбільш перспективними матеріалами для зміцнення деталей є порошкові матеріали, так як основними методами нанесення покриттів на їх ріжучі елементи є індукційне і газопорошкове наплавлення [55].

В залежності від гранулометричного складу перераховані порошки виготовляються наступних класів: великий (К), середній (С), дрібний (М), маленький (ОМ) (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Гранулометричний склад і твердість порошків для індукційного наплавлення

Марка порошку	Форма частинок	Размер частиц по классам, мм				Твердість, HRC
		К	С	М	ОМ	
ПГ-УС25	Осколкова	1,25...0,80	0,8...0,4	0,4...0,16	< 0,16	≥ 55
ПГ-С27	Осколкова	1,25...0,80	0,8...0,4	0,4...1,16	< 0,16	≥ 53

До порошкоподібних наплавочних сумішей, також відносяться сталініт, УС-25, вокар; шихти С-2М, КБХ, БХ, ФБХ-6-2 и ВИСХОМ-9 [52]. Шихта поліпшеного сталініту містить 37,7% ферохрому, 10,8% феромарганцю, 47,1% чавунного порошку і 4,4% нафтового коксу. Покращений сталініт широко

застосовується при відновленні деталей робочих органів ґрунтообробних машин через низьку вартість і не дефіцитність, але за зносостійкістю він поступається борвмісним сумішам.

Вокар є механічною сумішшю вольфраму з вуглецем. У наплавленого металу знаходяться складні карбіди вольфраму, міцно закріплені в твердому розчині. Хімічний склад наплавленого металу (особливо першого шару, твердість становить 56...58 HRC) змінюється в досить широких межах. В середньому в ньому міститься 9...10% вуглецю, до 3% - кремнію, 85 ... 87% - вольфраму і до 2% заліза. Зміцнюючі шари, наплавлені вокаром, мають більш високу твердість і зносостійкість в порівнянні з сталінітом.

Шихта ВИСХОМ-9 на 74% складається з подрібненої стружки сірого чавуну, 15% - феромарганцю, 5% - ферохрому і 6% сріблястого графіту, пов'язаних між собою розчином рідкого скла з водою. Твердість металу, наплавленого такою шихтою, становить 55...58 HRC, зносостійкість в 1,6 рази вище, ніж покриття, наплавленого електродами Т-590.

Борвмісна суміш БХ являє собою механічну суміш, що складається за масою з 50% бориду хрому і 50% залізного порошку. Борид хрому містить близько 0,85% вуглецю, 80...85% хрому і 18,3% бору. В середньому наплавлений метал складається з 10% вуглецю, 25% - хрому, 7,5% - бору і 57,5% заліза. Зносостійкість наплавлення в 2-3 рази вище, ніж при наплавленні сталінітом. Наплавочний суміш КБХ містить 60% ферохрому, 30% - залізного порошку, 5% - борида хрому і 5% карбіду хрому (по масі). За зносостійкості наплавленого металу він в 1,5 рази перевершує суміш поліпшеного сталініту.

Суміші ПС-14-60 і ПС-14-80 (табл. 6) призначені для індукційного наплавлення деталей сільськогосподарських машин, що працюють в умовах абразивного зношування. Вони мають високу зносостійкість і знижену ударну стійкість [51]. Розмір порошкоподібних частинок зазначених сумішей становить 0,5...1,25 мм, твердість наплавленого металу для ПС-14-80 – 58...63 HRC, для ПС-14-60 -61...64HRC.

Таблиця 6 – Склад порошкових сумішей для індукційного наплавлення

Найменування компонентів	Вміст компонентів в суміші для наплавки (марка), %	
	ПС-14-8	ПС-14-60
Ферохром вуглецевий марки ФХ-800	80 ± 5	60 ± 5
Сплав (в'язка) ЛГС-1	20 ± 5	40 ± 5

Найбільш близьким до "ідеального" матеріалу для роботи в умовах абразивного зношування є композиційні матеріали - об'ємне штучне поєднання різнорідних за формою і властивостями двох або більше матеріалів з чіткою межею поділу між ними, з використанням переваг кожного [59]. Такі покриття можна отримати використовуючи або механічні суміші вихідних компонентів (найчастіше металеві та керамічні порошки) або заздалегідь сформовані композиційні матеріали у вигляді порошків, електродів, дроту, стрічки і т.д.

Композиційні порошки являють собою інтегровані комплекси вихідних компонентів (метал, кераміка, пластмаса) в кожній порошковій частинці. Для нанесення зносостійких покриттів доцільно використання композиційних порошків систем: метал (сплав) - тугоплавке металоїдного з'єднання; Cr-WC, Ni-WC, Ni-, (Ni-Cr-B-Si) -WC і ін. ; метал (сплав) оксиди: Ni- і ін. [49]. Деякі дані про композиційних порошках, представлені в табл. 8 [51,59-61].

Таблиця 8 – Композиційні порошки для нанесення зносостійких покриттів

Матеріал	Марка	ГОСТ або ТУ	Масовий склад, %
Нікель-карбід вольфрама	ВНП-15,ВНП-20,ПКВН-20,ПКВН-30,ПКВН-40,ПКВН-40,ПКВН-50,ВН-10, ВН-20, ВН-30	ТУ87ГССР01-87, ТУ48-3-107-84 ТУ 48-19-3 81-85	Ni 15...20 Ni 20...50 Ni 10...30
Нікелевий сплав –карбід вольфраму алюміній	ПТ-19НВК-01	ТУ 48-4206-156-82	WC 16...20 Al 8
Нікель-окись алюмінію	ПОАН-79, ПОАН-60, ПОАН-30	ТУ 48-3-145-84	Ni 70...30
Нікель - карбіди хрому і титану	ПКХТН-40, ПКХТН-30, ПКХТН-20	ТУ-48-3-150-84	Ni 40...20
Нікель-карбід титану	КТНП-35	ТУ87ГССР01-87	Ni 35

Нікель - карбід хрому	КХНП-20, КХНП-25, КХНП-30, КХН-15, КХН-30	ТУ48-19-381-85	Ni 15...30
Нікель - алюміній-карбід вольфраму	НАКВ-20, НАКВ-25, НКВ-30	ТУ 87ГССР 02-88	WC 70...80
Нікель-алюміній-карбід титана	НАКТ-20, НАКТ-25, НАКТ-30	-«-	Ti C70...80
Нікель - алюміній – карбід хрому	НАКХ-20, НАКХ-25, НАКХ-30	-«-	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 70...80
Нікель-хром-карбід хрому	КХНХ-30	ТУ 48-19-381-85	Ni 25; Cr 5,0
Кобальт-карбід хрому	КХК-20, КХК-40	ТУ 48-19-3 81-85	Co20...40
Кобальт-карбід вольфраму	АНК-2, ВК-15, ВК-20, ВК-25	ИЭС им.Патона ТУ 48-19-381-85	Ni 80 Co 15...25

Для ремонтного виробництва становить інтерес застосування наплавочних металокерамічних електродів. Їх виготовляють методом порошкової металургії: спіканням шихти, що складається з порошків сталі (55%) та карбіду титана (45%) [44].

Для наплавлення деталей металургійного устаткування широке застосування отримали електроди-кермети системи Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni. Зазначені кермети мають наступні співвідношення карбіду хрому і нікелю: ГК-10 - 90% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> +10% Ni; ГК-15 - 85% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> +15% Ni; ГК-30 - 70% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> + 30%Ni. Структура їх складається з зерен карбіду хрому, зцементованих твердим розчином на основі нікелевої зв'язки [59].

Композиційні порошкові дроти виготовляються шляхом наповнення металевих оболонок з маловуглецевої сталі механічними сумішами або композиційними порошками.

Таким чином, можна бачити розроблену досить широку номенклатура прогресивних матеріалів, що дозволяють значно підвищити зносостійкість деталей машин та механізмів. Але найбільший інтерес викликають композиційні матеріали системи «метал-кераміка», які з точки зору сучасних уявлень теорії тертя і зносу є найбільш переважними для підвищення абразивної зносостійкості.

## **2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КЕРАМІКО-МЕТАЛЕВИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ**

### **2.1 Вибір і обґрунтування складів порошкової шихти для індукційного наплавлення**

Вибір складу порошкової шихти для отримання композиційного кераміко-металевого покриття методом індукційного наплавлення проводився в кілька етапів: вибір основи шихти для отримання матриці покриття; вибір керамічного наповнювача; обґрунтування кількісного співвідношення основи шихти і наповнювача.

Індукційна наплавка деталей досить освоєний багаторічною практикою процес і цей досвід показав, що найбільш прийнятними порошковими матеріалами для створення зміцнюючих покриттів індукційної наплавленням є суміші на основі «сормайт» (табл. 3). Тому в досліджах основою шихти був порошок ПГ-УС-25. Масовий склад: С=4,4...5,4%; Cr=35...41%; Si = 1,6...2,6%; Mn = 2,5%; Ni = 1,0...1,8%; Fe – решта. Розмір фракцій – 150...200 мкм.

При виборі керамічної наповнювача виходили з наступного [1-2]: твердість частинок наповнювача повинна бути вищою за твердість абразиву та високий когезійний зв'язок з матрицею кераміко-металевих покриттів. Таким чином, зносостійкими наповнювачами можуть виступати різні класи керамічних матеріалів: карбіди, бориди, оксиди, нітриди і т.д., всі вони мають досить високу твердість, але нітрид дефіцитні, а борид тендітні і по міцності поступаються карбидам [3]. Більше перспективні, з точки зору рівня властивостей і доступності карбіди і оксиди (Додатку А).

Наступним етапом вибору матеріалу наповнювача є опрацювання питання сумісності останнього з матрицею кераміко-металевих покриттів [2]. На перше місце в питанні взаємодії компонентів кераміко-металевих покриттів виступають процеси розчинення і змочування керамічних наповнювачів рідким

металом матриці. В додатку В. представлені дані про взаємодію карбідів і оксидів з розплавленим залізом [3-4].

Карбіди хрому і вольфраму повністю змочуються розплавом заліза, також високою змочуваністю відрізняється і карбід титану. Оксиди  $Al_2O_3$  взагалі не змочується металами групи заліза, а  $TiO_2$  і  $Cr_2O_3$  змочуються незначно. Таким чином, використання оксидної кераміки в якості наповнювача при індукційній наплавленні кераміко-металевих покриттів досить проблематично.

З карбідів для проведення наших експериментів вибираємо карбід хрому.  $Cr_3C_2$  менш дефіцитний в порівнянні з  $WC$  або  $TiC$ , має меншу вартість та володіє унікальною стійкістю проти окислення.

Попередні дослідження показали, що  $WC$  і  $Cr_3C_2$  активно розчиняються в рідкому матриці в процесі наплавлення, утворюючи, при цьому найчастіше сплави, а не кераміко-металевих покриттів. Крім того, порошкоподібний карбід вольфраму зосереджується на дні зварювальної ванни (в силу великої щільності), що обумовлює анізотропію структури по товщині шару покриття.

Для зменшення активного розчинення карбідів в матриці застосовували метод плакування керамічних частинок, тобто використовували композиційні порошки  $Cr_3C_2 - Ni$ . Вміст нікелю в композиційній частинки - 20% по масі.

В досліджах застосовували композиційні плаковані порошки, отримані гідрометалургійним методом в НВО «Композиційні системи» [5] марки КХНП-20 (Додаток Г 1.8).

Технологічні властивості порошків мали наступні значення:

$Cr_3C_2$  – текучість – 59 С; насипна щільність –  $3,117 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

КХНП 20 – текучість 35 С; насипна щільність –  $4,023 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

## **2.2 Методика нанесення зносостійких покриттів**

Нанесення різних за складом зносостійких покриттів на зразки зі сталі 65Г проводилося на діючому промисловому обладнанні ВАТ «Червона зірка».

Наплавлення струмами високої частоти проводили на установці типу ВЧГ-2-100 /0.066, потужністю  $N = 100$  кВт за прийнятим на заводі режиму: струм індикатора - 0,8А; струм анода - 7,5-8 мА; напруження - 12А; потужність - 10 кВт. Підготовку поверхні зразків проводили методом фрезерування торцевою фрезою до шорсткості Rz40.

Перед наплавленням суміш (шихту) рівномірно розподіляли по ріжучої кромці товщиною 2-2,3 мм, шириною 15-16 мм з подальшим ущільненням дерев'яної лінійкою.

### **2.3 Методика проведення металографічних досліджень та властивостей покриттів**

Підготовка шліфів для металографічних досліджень проводили на шліфувально-полірувальному верстаті із застосуванням абразивного матеріалу - алмазної пасти. Травлення шліфів здійснювалося згідно стандартних методик 4% спиртовим розчином  $\text{HNO}_3$  (ГОСТ 4461-77). Дослідження мікроструктури проводилося на мікроскопах МИМ-8 у відбитому світлі при збільшенні 100, 400, 500. Оцінку отриманої структури для сірого чавуну проводили по ГОСТ 3443-87.

Морфологія поверхні застосовуються порошоків вивчалася за допомогою растрового електронного мікроскопа «Сameбах microbeam». Склад порошкової шихти для індукційного наплавлення, тобто кількісне співвідношення основного порошку матриці (ПГ-УС-25) і керамічного наповнювача вибирали виходячи з попередніх дослідів і літературних даних [2,6,7]. Вміст  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  або КХНП-20 в механічній суміші варіювали на рівнях 5, 10, 15, 20,25, 30 об. %.

Пористість покриттів визначали планіметрична методом на оптичному мікроскопі по ГОСТ 18898-73. Виміри проводилися на мікрошліфах, протравлених в хлорному залізі.

Мікротвердість структурних фаз і карбідів досліджували на мікротвердомірі ПТМ-3, використовуючи в якості індентора 4-х-гранну

алмазну піраміду при навантаженні 100 г (1,0 Н) протягом 5 с, а також на приладі «Shemadzu» Японія (ГОСТ 9450- 76).

## 2.4 Методика визначення абразивної зносостійкості кераміко-металевих покриттів

Лабораторні випробування наплавлених зразків на зносостійкість проводили на машині типу НК (нерухоме кільце) [66]. Абразивним середовищем служив зволожений кварцовий пісок марки "К", частинки розміром 0,2...1,0 мм. Після кожного чергового випробування (0,5 години) додавали свіжі порції піску, а після завершення циклу випробувань одного зразка (3 години) пісок повністю замінювали.

Для випробувань застосовувалися наплавлені зразки зі сталі 65Г з товщиною шару 0,6...1 мм (рис. 8). Зразки мали кут нахилу передньої поверхні 30°, на ділянці різальної крайки з наплавленим нижнім розташуванням зносостійкого шару. Перед індукційним наплавленням 10 зразків закріплювалося в обоймі, виготовленої з асбоцементного листа. Між собою зразки поділялися азбестовим картоном, що запобігало змішування порошкових шихт різного складу, засипаних на сусідні зразки.

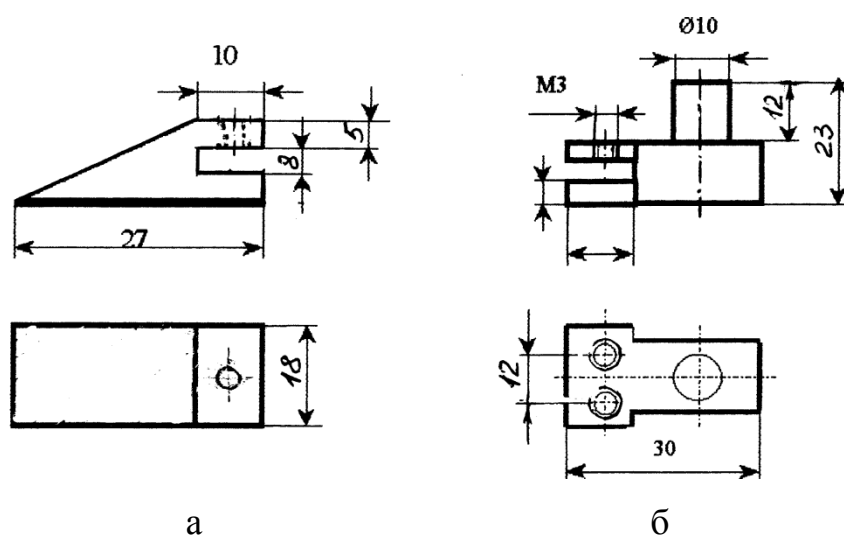
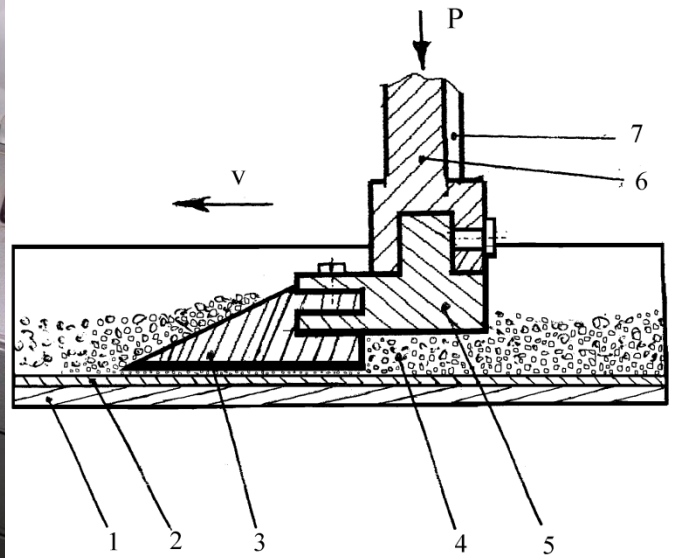


Рисунок 8 – Ескіз зразка (а) і затиску зразка (б) для випробувань на абразивний знос на машині типу НК.





а



б

1 - дно чаші; 2 - мідне кільце; 3 - зразок з наплавленим покриттям; 4 - абразивна середовище; 5 - затиск для зразка; 6 - шток; 7 - паз штока

Рисунок 9 – Загальний вид машини типу НК (а) та схема випробувань на абразивний знос (б)

Наплавлені зразки закріплювали в гніздах штоків коромисла машини на відстані 405 мм один від одного (рис. 9). Питомий тиск на поверхню тертя зразка становила 0,02, 0,085 і 0,15 МПа, швидкість ковзання 0,56 м / с.

Знос визначали ваговим методом на вагах АДВ-200 М. Відносну зносостійкість оцінювали, порівнюючи знос зразків з покриттям із зносом сталі 65Г. Абсолютний знос зразків визначали зважуванням через кожні 0,5 години випробувань на протязі всього циклу (3 години).

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Дослідження закономірностей структуроутворення і твердості кераміко-металевих покриттів

Закономірності формування структури кераміко-металевих зносостійких покриттів з наповнювачами на основі карбідів хрому вивчали на прикладі використання наступної порошкових сумішей (% за об'ємом): ПГ-УС-25 + 5...30% КХНП - 20 (фракція наповнювача 150...200 мкм) . Наплавлені шари при вмісті в якості наповнювача 30% КХНП-20 мали твердість HRC 54-56 (наплавка серійним складом - HRC 44 - 48).

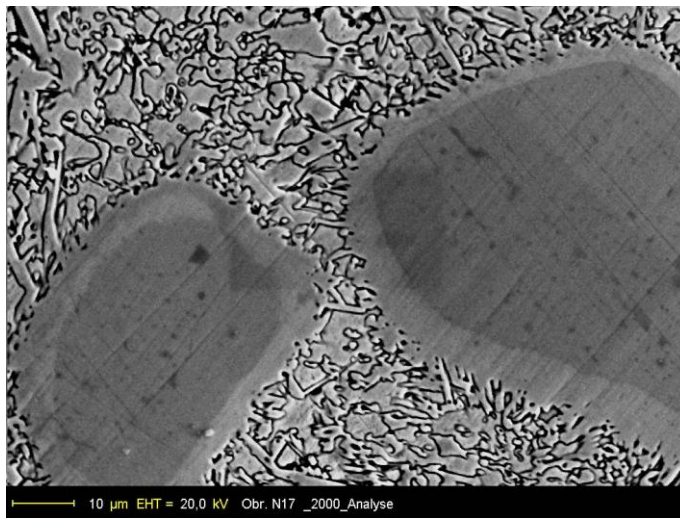
Металографічне дослідження мікроструктури зносостійких шарів, отриманих з суміші порошків ПГ-УС-25 і КХНП-20, показало міцний зв'язок наповнювача з металевою основою, без пор, раковин і несучільностей. Наплавлені шари мають однорідну будову з пористістю, який не перевищує 3%. Металевою матрицею таких покриттів є евтектика, що представляє собою суміш твердого розчину хрому і нікелю в залозі і легованих карбідів (рис. 7).



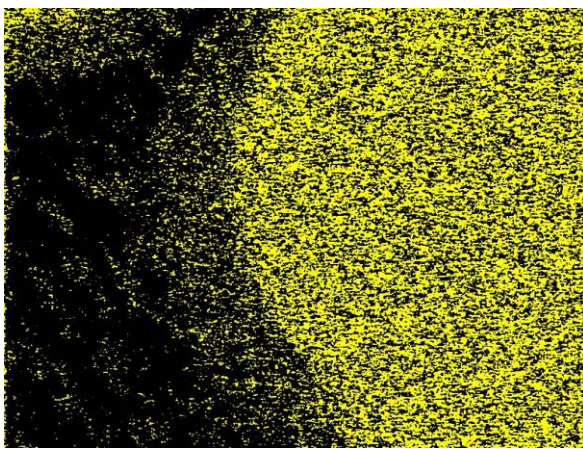
Рисунок 7. Мікроструктура наплавленого шару складу ПГ-УС-25 + 30% КХНП-20, час наплавлення 21 с. х300

Мікротвердість евтектики при збільшенні вмісту добавки КХНП-20 від 5 до 30% зростає від 613 до 761 кгс / мм<sup>2</sup>. Евтектика щільно оточує великі щільні карбіди хрому ( $H_{\mu} = 1891...2010$  кгс/мм<sup>2</sup>). При підвищенні в складі шихти в

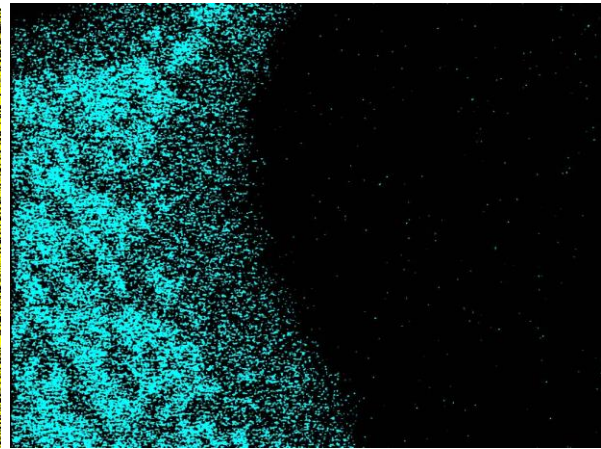
кількості КХНП-20 понад 30% в мікроструктурі відзначається контактування між собою окремих включень карбідів хрому без прошарку зв'язки, що послаблює міцність їх закріплення в матриці. Дослідження мікрорентгеноспектральним аналізом зносостійких шарів підтвердило наявність в структурі покриттів легованої хромом евтектики. Карбіди в складі евтектики поділяються прошарками легованих хромом - фази (рис. 8).



а



б



в

Рисунок 8. Будова включень наповнювача КХНП-20 (а) і якісна картина розподілу в них хрому (б) і заліза (в)

Показано, що легована евтектика характеризується мікротвердістю 409...794 кг/мм<sup>2</sup>. Чим далі ділянку евтектики розміщений від включення наповнювача, тим менші значення мікротвердості характерні для них. Евтектика має неоднорідне будову, орієнтоване щодо напрямлення тепловідведення при кристалізації (щодо підкладки) і щодо карбідів наповнювача. Евтектика щільно оточує частинки карбідів наповнювача і має

морфологічний зв'язок з ними, що сприяє їх міцному закріпленню в матриці наплавленого шару. Хімічний склад - фази знаходиться в межах: 10...15% Cr і 65...75% Fe. У складі евтектичних карбідів вміст хрому змінюється в межах 20 ... 40%, а вміст заліза становить 40 ... 67%.

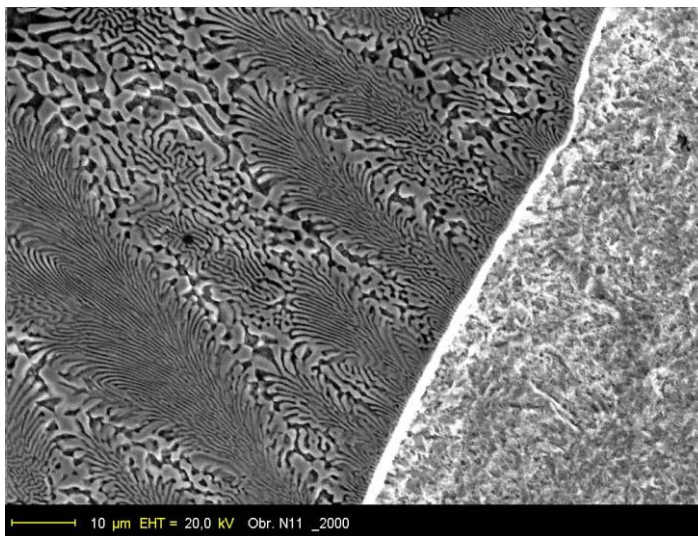


Рисунок 9 – Орієнтація евтектичних колоній щодо підкладки.

Виявлено, що у карбідних включених наповнювача розміром понад 30 мкм спостерігаються ділянки різної будови. Центральна частина цих включень світліше в порівнянні зі світло-сірою оболонкою товщиною до 5 мкм. Для цієї оболонки характерно знижений, щодо центральної частини включень наповнювача, вміст хрому і підвищений - заліза. Ці дві характерні зони в будові включень наповнювача розділені кордоном.

Більш дрібні карбіди, що не розплавився при формуванні кераміко-металевого зносостійкого шару, за рахунок дифузійних процесів взаємозаміщення хрому залізом мають знижений до 50...65% вміст хрому і знижену до 1300...1400 кг / мм<sup>2</sup> мікротвердість.

Статистична обробка результатів мікрорентгеноспектрального аналізу по окремих випадкових точках проводилася за такими елементами, як хром, залізо, нікель, кремній в різних фазах. Результати аналізу показали наявність лінійної кореляції між вмістом в карбідних фазах хрому і заліза. Залежність, що зв'язує вміст хрому і вміст заліза в аналізованих структурних складових розділяється на характерні ділянки (рис. 10).

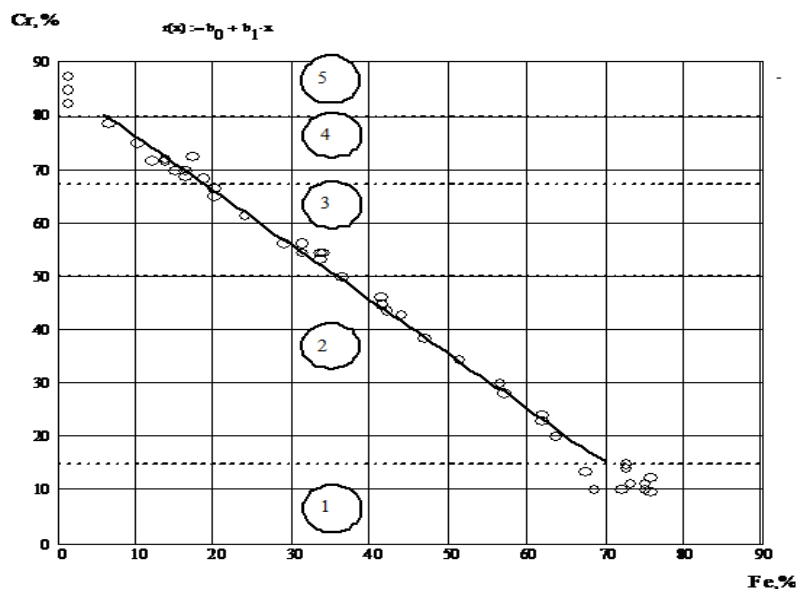


Рисунок 10 – Кореляційний зв'язок між вмістом заліза і хрому в фазах наплавленого кераміко-металевого зносостійкого шару: 1-центральна частина включень; 2 світла частина включень наповнювача; 3-світло-сіра частина включень наповнювача; 4-карбіди евтектики; 5-твердий розчин в складі евтектики.

Перша ділянка характеризується високим вмістом хрому при практичній відсутності заліза, та відповідає центральній частині включень карбідів.

Друга ділянка утворена карбідами з вмістом 80...68% хрому і 7...18% заліза, яка відповідає складу світлих ділянок включень наповнювача на яких частково пройшли процеси взаємної дифузії хрому і заліза.

Третя ділянка відповідає світло-сірим периферійним зонам наповнювача. Четверта ділянка з вмістом хрому 50...15% відповідає включень карбідів, утворених в процесі евтектичною кристалізації.

П'ята ділянку відповідає фазі, яка входить до складу евтектики. На ній відсутня кореляційна залежність між вмістом хрому і заліза. На ділянках твердого розчину реєструється наявність нікелю (до 1,4%) і кремнію (до 0,6%), що узгоджуються з довідковими даними, розчинність хрому в залізі досягає 12% [83].

Лінійним мікрорентгеноспектрального аналізом показано, що перехід від світлих до світло-сірим ділянок в будові наповнювача відбувається при вмісті

близько 50% Cr і 37% Fe і супроводжується стрибкоподібним зміною складу карбідної фази (рис. 11).

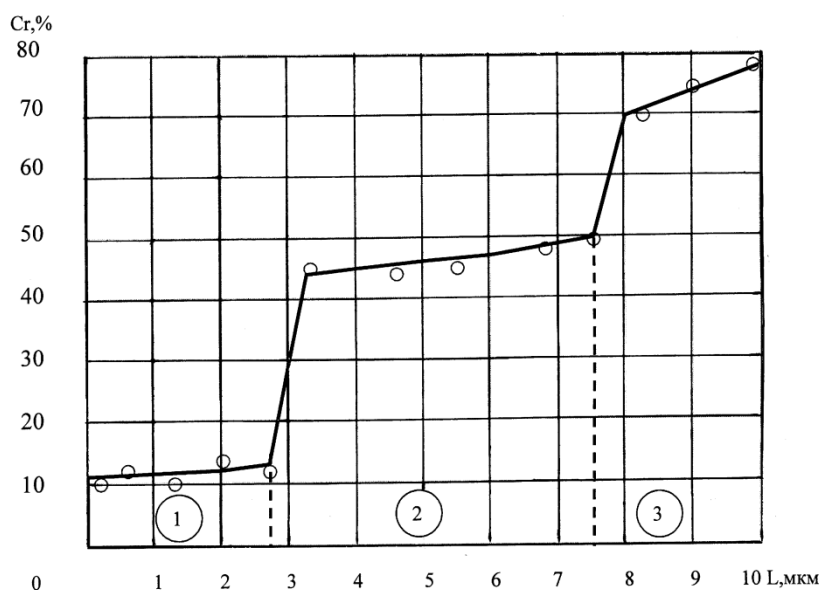


Рисунок 11 – Розподіл хрому між фазами наплавленого кераміко-металевого зносостійкого шару: (наповнювач КХНП-20): 1 центральна світла частина включень наповнювача; 2-периферійна світло-сіра зона у включеннях наповнювача; 3-твердий розчин в складі евтектики.

Виявлено рівномірне зниження концентрації хрому в обох зонах в напрямку від центру до периферії включення, що обумовлює зміну будови кристалічної решітки. Таке перетворення призведе до істотного підвищення в карбідної фази напружень, мікроефектів і щільності дислокацій, яка сприяє прискоренню дифузії хрому з включення наповнювача в розплав. Зміна будови карбідного включення призведе до його знеміцнення, що проявляється в зниженні мікротвердості з 3049...2626 кг / мм<sup>2</sup> в центральній частині до 1891...1287 кг / мм<sup>2</sup> на периферійних світло-сірих ділянках. Знеміцнення покриття відбувається і за рахунок перекристалізації кубічної кристалічної решітки, характерною для карбїду, в складну тригональну кристалічну решітку, яка властива для карбїдів [85].

### 3.2 Вплив технологічних параметрів індукційного наплавлення при формуванні кераміко-металевого зносостійкого покриття

При дослідженні ролі тривалості індукційного нагріву на формування кераміко-металевого зносостійкого шару використовували карбіди з вузьким діапазоном гранулометричного складу. Наповнювачі з гранулометричним складом 150...200 мкм додатково розсіювали на віброситі "Analisette 3" з відділенням фракції 140...160 мкм. Як наповнювачі використовували порошки КХНП-20, а також для порівняння карбіди і ферохром ФХ-800. Вихід фракцій 150...160 мкм становив для КХНП -20 до 23%, для до 32% і ФГ-800 до 28% від маси просіяних наповнювачів. Досліди проводили на сумішах складу ПГ-УС-25 з добавкою 30% наповнювача, час прогрівання становило 25 с.

Дослідження мікроструктури утворених покриттів, методом стереометричних металографії, показало середній розмір включень наповнювача який складав: зразок з  $Cr_3C_2$  -63 мкм, зразка з КХНП -20-119 мкм, зразок з ФХ-800 - 137 мкм. Наявність плакуючого нікелевого шару на поверхні КХНП-20 знижує швидкість розчинення включень карбіду хрому до значень близьких до аналогічних показників ферохрому.

Лабораторне вивчення впливу тривалості індукційного наплавлення на структуроутворення кераміко - металевих покриттів проводили на сумішах порошку ПГ-УС-25 з наповнювачами КХНП-20 і  $Cr_3C_2$  фракції 140...160 мкм. Також проводили дослідження з карбідами хрому  $Cr_3C_2$  фракції 20 ... 40 мкм. Досліди проводили при незмінній потужності (заводський режим) на індукторі змінюючи час наплавлення в межах 15...35 с. У мікроструктурі утворених кераміко-металевих покриттів лінійним методом стереометричних металографії визначали вміст нерозплавлених частинок наповнювача [86,87].

Достатнє сплавлення компонентів покриття, при якому не відбувається викришування наповнювача з матриці при виготовленні мікрошліфів, досягається після 19...21 сек. індукційного нагрівання. На графіку отриманої залежності (рис. 12) виділяються три характерних періоди. Вихідні добавки: 1-

карбід хрому (20...40 мкм); 2 карбід хрому (140...160 мкм); 3 КХНП-20 (140...160 мкм).

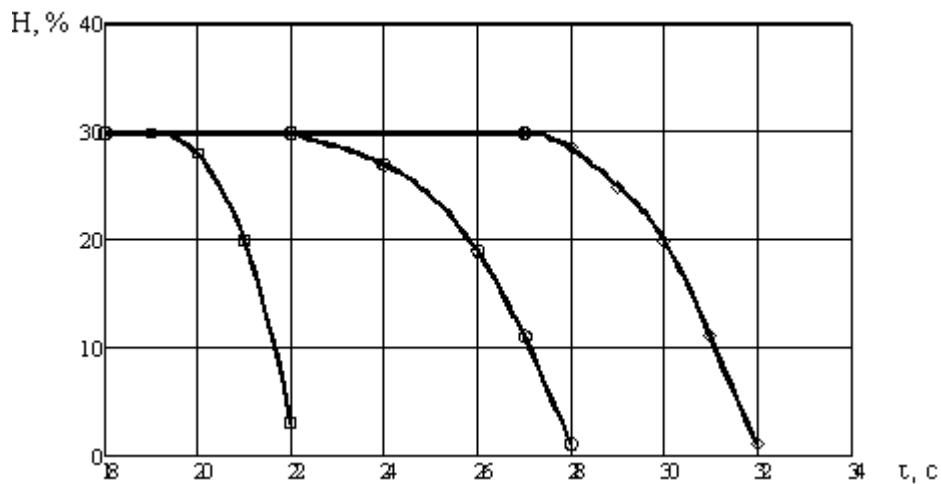


Рисунок 12 – Вплив тривалості індукційного нагрівання при формуванні зносостійкого покриття на частку включень наповнювача в мікроструктурі

Перший період являє собою горизонтальну ділянку на якому практично не спостерігається зниження кількості наповнювача в структурі наплавленого шару. Цей період характеризується розплавленням порошків, що утворюють металеву матрицю, і виникненням щільного контакту між наповнювачем і рідкою фазою. Друга ділянка характеризується поступовим зниженням вмісту наповнювача в структурі, що пов'язано з розчиненням в розплаві карбідів.

Для третьої ділянки характерно прискорення зниження частинки наповнювача - карбідів, які в процесі дифузії змінили свій склад і пройшли перекристалізацію в твердому стані. Це призведе до їх прискореного розчинення при індукційному прогріванні формується покриття.

Встановлені залежності для наповнювачів з карбіду хрому і КХНП-20 не мають між собою принципової різниці. Для КХНП-20 характерним є збільшення до 20% за часом першої ділянки, що пов'язано з гальмуванням розчинення карбідів наповнювача плакуючим шаром нікелю.

У той же час в цьому випадку друга і третя ділянки коротші, що пов'язано з більш інтенсивним протіканням процесів дифузійного перерозподілу хрому і заліза у включеннях наповнювача і з їх прискореним розчиненням в навколишньому розплаві за рахунок більшого перегріву утворюється покриття.

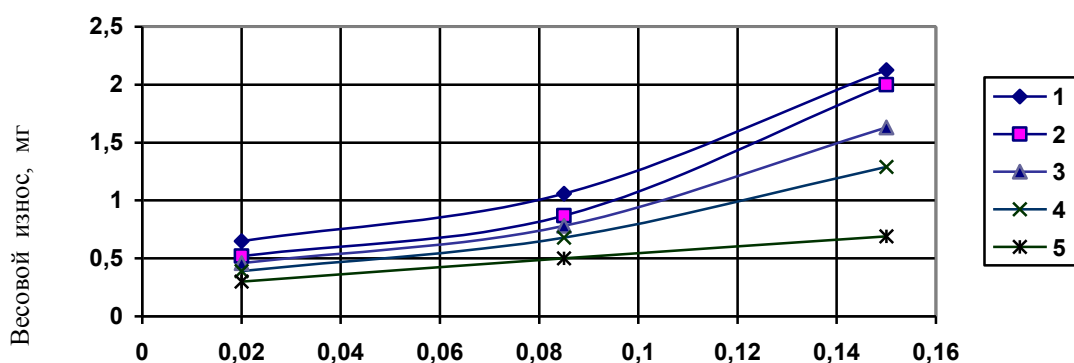


Розчинення більш дисперсного наповнювача з карбїду хрому протїкає значно інтенсивніше, практично одночасно з утворенням рїдкої фази.

Явище зниження мїкротвердостї карбїдного наповнювача за рахунок дифузїйних процесїв і вїдповїдно пїдвищення абразивної зносостїкостї наплавленого керамїко-металевого шару може бути ослаблене при використаннї плакуванням наповнювачїв оптимальних розмїрїв на основї карбїду хрому, а також забезпечення більш інтенсивних режимїв прогрївання шихти і охолодження утвореного покриття. Пїдвищення зносостїкостї наплавленого шару також можливо за рахунок пїдвищення мїцностї евтектичною матрицї, забезпечуючи формування структури з розмїщенням включень наповнювача на вїдстанї один вїд одного не бїльше 60...80 мкм.

### 3.3 Дослїдження абразивної зносостїкостї наплавлених керамїко - металевих шарїв

Дослїдження динамїки абразивного зносу наплавлених шарїв проводилися при питомих тисках 0,02, 0,085 і 0,15 МПа. Випробовувалися покриття утворенї з шихти складу: 1) ПГ-УС-25; 2) ПС-14-60; 3) ПГ-УС-25 + 15% КХНП-20; 4) ПГ-УС-25 + 30% КХНП-20 (рис. 13).



удельное давление P, МПа  
Наплавленї зразки: 1 – ПГ-УС-25; 2 – ПС-14-60; 3 – ПГ-УС-25 + 15% КХНП-20;  
4 – ПГ-УС-25 + 30% КХНП-20

Рисунок 13 – Динамїка абразивного зношування при питомих тисках: а) P=0,02 МПа; б) P=0,085 МПа; в) P=0,15 МПа.

Результати лабораторних досліджень показали, що на кривих зносу виділяється два характерних періоду. Перший період випробувань тривалістю до 30 хв характеризується підвищеною втратою ваги зразків, що пов'язано з викришування виступаючих карбідів і прискореним стиранням нерівностей на поверхні тертя. Другий період характеризує процес стабільного зношування при терті поверхні зразків з абразивної середовищем. Динаміка зношування в цей період носить характер близький до лінійного. Найбільш інтенсивно зношується шар, утворений при наплавленні сплаву ПГ-УС-25 без наповнювача, найбільш висока зносостійкість у наплавлення ПГ-УС-25 + 30% КХНП-20. Слід зазначити, що особливо істотно ця різниця проявляється при підвищенні питомого тиску до 0,15 МПа. При такому навантаженні в покриттях, виготовлених за базовою технологи з використанням порошкової суміші ПС-14-60, відбувається викришування карбідів хрому, що мають значну кількість відколів і тріщин. З цієї причини зносостійкість зв'язки ПГ-УС-25 без наповнювача при питомому тиску 0,15 МПа близька до зносостійкості серійної наплавлення зі сплаву ПС-14-60.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав можливість підвищення зносостійкості і довговічності деталей, що працюють в абразивному середовищі, індукційним наплавленням кераміко-металевого покриття змінного складу і властивостей.

2. Встановлено закономірності структуроутворення в кераміко-металевих зносостійких шарах, утворених при індукційному наплавленні, показана роль дифузійних процесів в зниженні міцності включень наповнювача.

3. Зафіксовано явище перебудови кристалічної решітки включень наповнювача при певному хімічному складі за рахунок дифузійного перерозподілу заліза і хрому.

4. Встановлено наявність в різних кераміко-металевих покриттях лінійної кореляційної залежності між вмістом хрому і заліза в карбідних фазах різного походження.

5. Показано, що з точки зору бездефектності будови з урахуванням зниженої швидкості розчинення в процесі індукційного наплавлення, найбільш доцільно використовувати в якості наповнювача кераміко-металевих покриттів плакованих нікелем карбід хрому марки КХНП-20.

6. Резервом підвищення зносостійкості утворених шарів може бути використання наповнювачів двох видів наповнювачів. Перший вид - наповнювачі з підвищеною швидкістю розчинення (не плаковані карбіди) дрібних фракцій, які в процесі формування покриття будуть повністю розчинятися і зміцнювати за рахунок легування матрицю, знижувати градієнт дифузії хрому у включеннях наповнювача. Другий вид - плакованих карбіди хрому фракції 150...200 мкм, які забезпечують підвищення зносостійкості шляхом формування кераміко-металевих структур.

7. На основі лабораторних досліджень визначено інтенсивність зносу кераміко-металевих покриттів при зміні питомої тиску в межах 0,02...0,15 МПа.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания – М. Машиностроение, 1995. – 336 с.
2. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. М. Машиностроение, 1971, - 264 с.
3. Ткачев В.Н. Износ рабочих органов почвообрабатывающих машин и некоторые методы увеличения срока их службы. Автореф. дисс. д.т.н., Ростов-на-Дону, 1964.
4. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания металлов. М. изд. Акад.наук СССР, 1960.
5. Крагельский И.В. Трение и износ. М. Машгиз, 1962.
6. Ткачев В.Н., Финштейн Б.М., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1970, 182 с.
7. Семенюк И.М. Износостойкость хромированных деталей сельскохозяйственных машин.-В сб.: Повышение износостойкости и срока службы деталей машин.-М.:Машгиз,1953.-с.18-19.
8. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. – К.: УМК ВО, 1989. – 256 с.
9. Кондратьев Е.Т., Кондратьев В.Е. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин – М.: Агропромиздат, 1989. – 95 с.
10. Варума Арифа. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственных машин газопорошковой наплавкой керамко-металлических покрытий. Автореф. дис... канд.техн.наук. – Кировоград: КДТУ, 1999. – 17 с.
11. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / Под.ред. И.М.Федорченко и др. - К.: Наукова думка, 1985-745 с.
12. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Т., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. - К.: Техніка, 1985 - 152 с.

13. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей машин с помощью новых износостойких материалов. - М.: АгроНИИТЭИИТО, 1990. - 64 с.
14. Данильченко Б.В. Наплавка. - Киев: Наукова думка, 1983. - 76 с.
15. Основные виды продукции Горезского завода наплавочных твердых сплавов. - Донецк: Облполиграфиздат, 1987. - 29 с.
16. Хасуи А., Мorigаки О. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985.-240 с.
17. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. - М.: Машиностроение, 1987. - 192 с.
18. Черновол М.И., Поединок С.Е., Степанов Н.Е. Повышение качества восстановления деталей машин. -К. : Техніка, 1989. - 169 с.
19. Черновол М.И., Голубев И.Г., Деревков А.И. Восстановление деталей за рубежом. М.: АгроНИИТО, 1987. - 34 с.
20. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями. - К.: Вища школа, 1992. - 79 с.
21. Композиционные плакированные порошки для создания защитных и упрочняющих покрытий и композиционных материалов. - Тбилиси, Сабчота, Сакартвело,1989. - 5 с.
22. Астахов А.С., Буклагин Д.С., Голубев И.Г. Применение технической керамики в сельскохозяйственном производстве. - М.: Агропромиздат, 1988. - 64 с.
23. Таненбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966,- 232 с.
24. Пирогов С.Я. ,Шеенко И.Н., Марков И.И., Олейник В.А., Соколов В.Ф. Исследование сплавов, наплавленных шихтой, содержащей тугоплавкие соединения/ Порошковая металлургия, №10, 1977, с.92-98.

25. Шеенко И.Н., Пирогов С.Я., Чемерис Н.Г. и др. Индукционная наплавка композиционного сплава на основе литого карбида вольфрама.- Сварочное производство, 1974, №6, с.38-44.
26. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями. -К.: Вища школа, 1992.-79 с.
27. Композиционные материалы. Справочник /Под ред. Д.М.Карпиноса. – --К.: Наукова думка, 1985, - 59 2 с.
28. Композиционные плакированные порошки для создания защитных и упрочняющих покрытий и композиционных материалов. /проспект НПО «Композиционные системы». – Тбилиси: Сабчота Самартвело, 1986. – 5 с.
29. Григорьева В.В., Клименко В.Н. Сплавы на основе карбида хрома. – К.: Из-во АН УССР, 1961. –57 с.
30. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Т., Щербань М.И. Конструкционные порошковые материалы. – К.: Техніка, 1985. – 152 с.
31. Беккерт М., Кимм Х.Способы металлографического травления. Справочник – М.: Металлургия, 1998. – 399с.
32. Бойко А.И. Повышение долговечности рабочих органов кормоизмельчающих машин конструкторско-технологическим методом.– Автореф. дис. ... д-ра техн.наук: 05.20.05.– НПО ВНИИ Живмаш.– Минск, 1992.– 41 с.
33. Кондратьев Е.Т. Кондратьев А.Е. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Агропромиздат, 1989.–93 с.
34. Гордиенко С.П., Маслюк В.А. Компьютерное моделирование фазовых превращений  $Cr_3C_2$  в контакте с железом при нагреве, Порошковая металлургия, 1996, №1/2, С.69-73.
35. Башмакова Т.Н. Влияние легирования на образование карбидной фазы, структуру и свойства наплавленного металла системы  $Fe - C - Cr$  . Автоматическая сварка, 1998, №12 (549) –С.39-42.
36. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М. –Металлургия, 1970, 376 с.

37. Саинсус А.Д.,Черновол М.И.,Кропивный В.Н., Надворный Б.Е. Повышение абразивной износостойкости стрельчатых культиваторных лап дифференцированной индукционной наплавкой. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Вип. 15, Кіровоград,2004,с.306-313.

38. М.Беккерт, Х.Кимм. Способы металлографического травления. Справочник. –М: Металлургия, 1988. – 399 с.

39. В.Н.Ткачев, Б.М.Фийтейн, Н.В.Козинцев и др. Индукционная наплавка твердых сплавов. М.: Машиностроение.

40. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.

41. Саинсус А.Д.,Черновол М.И.,Кропивный В.Н., Надворный Б.Е. Повышение абразивной износостойкости стрельчатых культиваторных лап дифференцированной индукционной наплавкой// Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. Вип. 15, Кіровоград,2004, с.306-313.

42. Спосіб зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин”. Патент на винахід №2002031900. Бюл.№10, 2002 р. (Автори Саінсус О.Д., Черновол М.І., Кулешков Ю.В., Кропівний В.Н., Аулін В.В., Надворний Б.Є.)

# ДОДАТКИ



Додаток А – Властивості порошків, що застосовуються в якості наповнювача зносостійких покриттів

Середовище	Плотность, $\sigma \cdot 103, \text{кг/м}^3$	Температура плавления, $T_{пл}, \text{оС}$	Теплопроводность $\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 106, \text{град}^{-1}$	Модуль упругости $E, \text{ГПа}$	Микротвердость, $H_m, \text{МПа}$	Термодинамические свойства	
							Теплота образования, $\Delta H_{298}, \text{кДж/моль}$	Стандартная энтропия, $S_{298}, \text{Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
<i>Карбиды</i>								
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	6,74	1890	20,9	10,0	380	18000	97,812	85,272
TiC	4,93	3250	17,1	8,2	510	31700	209,0	24,740
WC	15,8	3143	45,2	6,1	731	21000	35,112	35,530
<i>Оксиды</i>								
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,97	2040	29,3	8,0	372	20700	1675,557	51,020
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,1	2300	13,2	9,6	-	29400	1130,436	81,224
TiO <sub>2</sub>	4,2	1840	3,4	10,0	273	6000	941,611	50,283

**ДОДАТОК В – Некоторые характеристики взаимодействия наполнителя с железной матрицей**

Материал наполнителя	ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ОТНОШЕНИЮ К ЖЕЛЕЗУ			
	Температура, °С	Угол смачивания, град	Работа адгезии $W_a \cdot 10^2$ , МДж/м <sup>2</sup>	Предельная растворимость, % (мол.)
Карбиды				
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1490	0	38,0	11,9
TiC	1550	40	31,4	1,1
WC	1490	0	-	4,1
Оксиды				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1550	141	4,05	не взаимодействует
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1550	75	-	- « -
TiO <sub>2</sub>	1550	72	-	- « -