

О.Д. Саїнус, ген. директор

ВАТ "Червона Зірка"

М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, В.М. Кропівний, проф., канд. техн. наук,

Б.Є. Надворний, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Особливості структуроутворення при індукційному наплавленні кераміко-металевих зносостійких шарів

У статті описані результати дослідження процесів форірування кераміко-металевих шарів при індукційному наплавленні. Показана роль дифузії та розчинення компонентів шихти при структуроутворенні зносостійких покриттів.

індукційна наплавка, кераміко-металеві слої, лапи культиваторів, карбідні наповнювачі, зносостійкість

Зміцнення робочих органів індукційною наплавкою кераміко-металевих шарів є ефективним засобом підвищення ресурсу ґрунтообробної техніки при виконанні сільськогосподарських робіт.

Найбільше розповсюдження у якості керамічного наповнювача для зносостійких наплавок знайшли порошки карбідів хрому. Ці порошки можуть бути різного складу, способу виготовлення та фракційного складу і тому отримані різними дослідниками результати суттєво різняться між собою.

З метою розробки ефективної технології індукційного наплавлення зносостійких матеріалів на робочі органи ґрунтообробних машин необхідно вивчити закономірності структуроутворення у кераміко-металічному шарі при використанні різних наповнювачів.

Індукційне наплавлення культиваторних лап з шириною захвату 270 мм здійснювали в умовах ВАТ „Червона зірка” на установці ВЧГ – 2 – 1000/0,066 потужністю 100 кВт на базовому режимі: струм аноду – 8 мА, струм розжарення 12 А, напруга 10 кВ, тривалість процесу 28 с. Підготовку поверхні лап із сталі 65Г під наплавку проводили до досягнення шорсткості R_z 40 фрезеруванням.

У виробничих умовах ВАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград) для наплавлення серійних стрільчастих лап культиваторів використовується порошкова суміш виробництва ВАТ „Торезтвєрдосплав” ПС-14-60, що складається з 60% вуглецевого ферохрому марки ФХ -800 фракції 150-200 мкм та сплаву (зв'язки) ЛГС-1 слідуючого складу, %: 0,9...1,5 С; 0,3...0,7 В; 2,8...5,0 Si; 2,0 Cr; 2,0...4,0 Mn; 2,0...4,0 Ni; 1,5...2,5 Cu. В мікроструктурі зносостійкого шару, наплавленого за заводською технологією, по всьому перерізу спостерігаються крупні карбіди зі значною кількістю транскристалітних тріщин.

У практиці індукційного наплавлення робочих органів ґрунтообробної техніки як зв'язку для формування зносостійких покриттів використовують високохромисті залізовуглецеві сплави (сормайти). Вони технологічні, мають високу абразивну зносостійкість, освоєно їх промислове виробництво на Україні. В процесі проведення досліджень у якості основи шихти використовували порошок виробництва ВАТ „Торезтвєрдосплав” ПГ-УС-25 (У50Х40Н2С2Г) такого складу, %: 4,5...5,5 С; 1,8...2,8 Si; 2,5 Mn; 38...42 Cr; 1,0...1,8 Ni. Розмір фракцій – 150...200 мкм. Як наповнювачі

композиційних покриттів при проведенні експериментів використовували наступні порошки:

1) КХНП – 20 (ТУ 48-19-381-85). Масовий склад: 80% карбіди хрому Cr_3C_2 , плаковані 20% Ni ;

2) Порошок вуглецевистого феррохрому ФХ800 з масовим складом, %: 7,88 C ; 71,25 Cr ; 0,24 Si ; 20,55 Fe ;

3) Карбіди хрому Cr_3C_2 .

Досліджували покриття отримані з наступних порошкових сумішей (за об'ємом):

№ 1 (11) ПГ-УС-25 + 30% Cr_3C_2 ;

№ 2 (17) ПГ-УС-25 + 30% КХНП -20;

№3 (24) ПГ-УС-25 + 30% ФХ800;

№4 (16) ПС-14 + 40% ФХ800 (наплавка серійного складу).

У всіх дослідах фракція наповнювача складала 150-200 мкм. Наплавлені шари мали наступні значення агрегатної твердості №1 - HRC 54 - 56; № 2 – HRC 54-56; № 3 - HRC 55-56; № 4 HRC 44 – 48.

Дослідження мікроструктури зносостійких покриттів проводили на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі BS - 340 фірми „TESLA”, оснащеним енерго-дисперсійним аналізатором „Ліпс-860” (із виведенням характеристичних зображень на ЕОМ). Це обладнання дозволяє паралельно з растрово-електронним дослідженням робити локальне визначення хімічного складу ділянок у точці діаметром від 1 до 1,5 мкм. Крім кількісного визначення хімічних елементів, реєстрували зображення в характеристичних променях окремих елементів, що дозволило якісно визначити розподіл цих елементів у межах досліджуваної ділянки мікрошліфа.

Електронно-мікроскопічне дослідження засвідчило, що у структурі покриттів присутня легована хромом евтектика, до складу якої входять включення карбідів, що виділяються з розплаву в процесі кристалізації. Карбіди у складі евтектики розділяються прошарками легової хрому α - фази. У зразках №1 та №2 розмір карбідів складає 2,5...5,0 мкм, товщина прошарків між карбідами евтектики 1,2...3,0 мкм (рис.1). Легована евтектика характеризується мікротвердістю 409...794 кг/мм². Чим далі ділянка евтектики розміщена від включення наповнювача, тим менші значення мікротвердості характерні для неї. Евтектика має нерівномірну будову, орієнтовану відносно напрямку тепловідведення при кристалізації (відносно підложки) та відносно карбідів наповнювача (рис.2). У зразках, де у якості наповнювача використовувався ферохром евтектика містить більшу кількість карбідів, що проявляється у збільшенні їх розмірів (рис.3). Евтектика щільно оточує частки карбідів з наповнювача та має морфологічний зв'язок з ними, що сприяє їх міцному закріпленню у матриці наплавленого шару.

Хімічний склад α - фази знаходиться в межах: 10...15% Cr та 65...75 % Fe . В складі евтектичних карбідів вміст хрому змінюється в межах 20...40 %, а вміст заліза складає 40...67 %. При цьому чітко просліджується кореляція між вмістом хрому та заліза в карбідах евтектики (рис.5).

В карбідних включеннях наповнювача розміром понад 30 мкм спостерігаються ділянки різної будови. Центральна частина цих включень є більш світлою у порівнянні з світло-сірою периферійною оболонкою товщиною до 5 мкм (рис.4). Для цієї оболонки характерний понижений відносно центральної частини включень наповнювача вміст хрому та підвищений – заліза. Ці дві характерні зони у будові включень наповнювача розділені чітко вираженою межею.

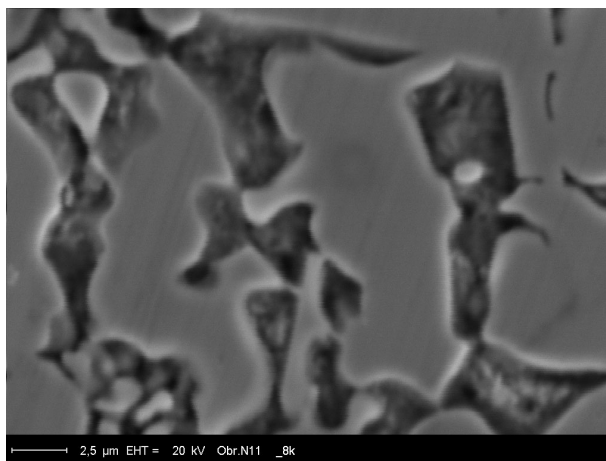


Рисунок 1 – Будова евтектики у складі зносостійкого покриття

В структурі наплавлених шарів зразків №1 та №2 включення наповнювача (карбіду хрому) мають щільну будову на відміну від включень ферохрому (зразки №3 та №4). Ферохромовий наповнювач має значну кількість тріщин, неметалічних включень та неоднорідний склад по об'єму включень. Особливо це характерно для наповнювача, який використовується за заводською технологією (рис.3). Очевидно, це пов'язано з особливостями технології виробництва та подрібнення вуглецевистого ферохрому марки ФХ-800.

Статистична обробка результатів мікрорентгеноспектрального аналізу по точках проводилась по таких елементах, як хром, залізо, нікель, кремній у різних фазах. Результати аналізу показали наявність лінійної кореляційної залежності між вмістом у карбідних фазах хрому та заліза. Залежність поділяється на характерні ділянки (рис.5).

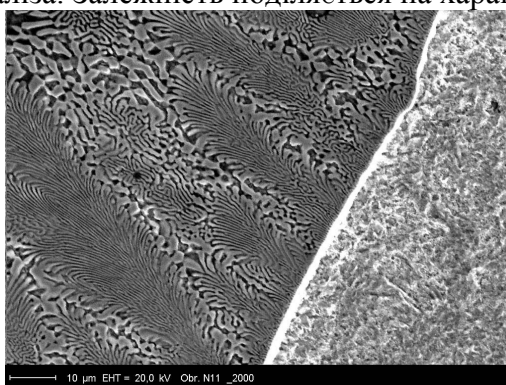
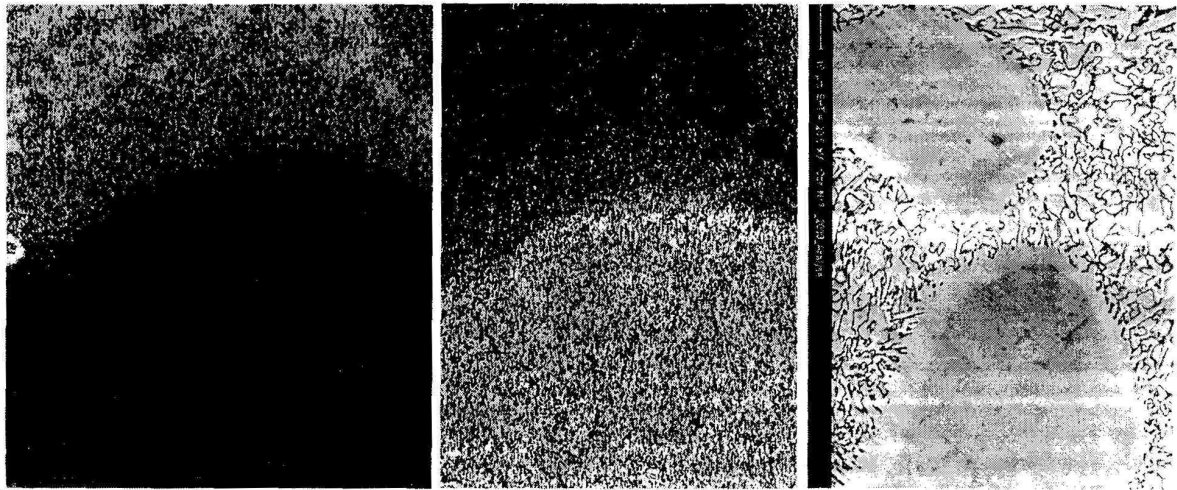


Рисунок 2 – Орієнтація евтектичних колоній відносно підложки



Рисунок 3 – Будова включень наповнювача у наплавленому шарі за заводською технологією в перехідній зоні наплавлений шар-підложка



а) б) в)
Рисунок 4 – Будова включень наповнювача КХНП-20 (а) та якісна картина розподілу в них хрому (б) і заліза (в)

Перша ділянка характеризується високим вмістом хрому при практичній відсутності заліза. Ця ділянка відповідає центральній частині включень карбідів на основі Cr_3C_2 (зразки № 1,2).

Друга ділянка утворена карбідами з вмістом 80...68 % хрому та 7...18 % заліза. Ця ділянка відповідає складу центральної частини включень наповнювача з ферохрому, а також світлим ділянкам включень наповнювача Cr_3C_2 , на яких частково пройшли процеси взаємної дифузії хрому та заліза. Значення максимального вмісту хрому в центральній частині карбідів наповнювачів, що використовувалися при проведенні досліджень, представлено на рис.7. Найвищий вміст хрому та високі значення мікротвердості мають місце при використанні у якості наповнювача порошку КХНП-20.

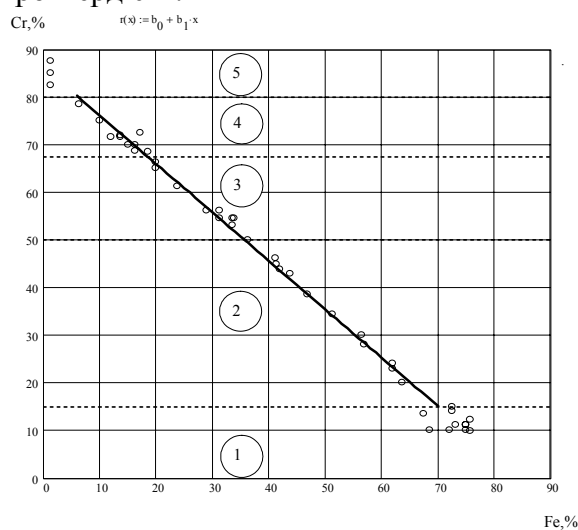
Третя ділянка відповідає світло-сірим периферійним зонам наповнювача. Четверта ділянка з вмістом хрому 50...15% відповідає включенням карбідів, утворених в процесі евтектичної кристалізації.

П'ята ділянка відповідає α - фазі, що входить до складу евтектики. На цій ділянці відсутня кореляційна залежність між вмістом хрому та заліза. На ділянках твердого розчину реєструється наявність нікелю (до 1,4%) та кремнію (до 0,6 %).

Лінійний мікрорентгеноспектральний аналіз свідчить, що перехід від світлих до світло-сірих ділянок у будові наповнювача відбувається при вмісті близько 50% Cr та 37% Fe і супроводжується скачкоподібною зміною складу карбідної фази (Рис.6). При цьому в обох зонах спостерігається рівномірне зниження концентрації хрому у напрямку від центру до периферії включення. Очевидно, про зниженні концентрації хрому в карбідній фазі відбувається зміна типу кристалічної ґратки. Таке перетворення веде до суттєвого підвищення у карбідній фазі напружень, мікродфектів та щільності дислокацій, що сприяє різкому прискоренню дифузії хрому із включення наповнювача в розплав та підвищенню вмісту заліза у цих включеннях. Зміна будови карбідного включення веде до його розміщення, що проявляється у зниженні мікротвердості з 3049... 2626 кг/мм² в центральній частині до 1891...1287 кг/мм² на периферійних світло-сірих ділянках. Можливо допустити, що у цьому випадку відбувається перекристалізація кубічної кристалічної ґратки, характерної для карбіду Cr_3C_2 у складну гексагональну кристалічну ґратки, яка властива для карбідів $(Fe,Cr)_{23}C_7$.

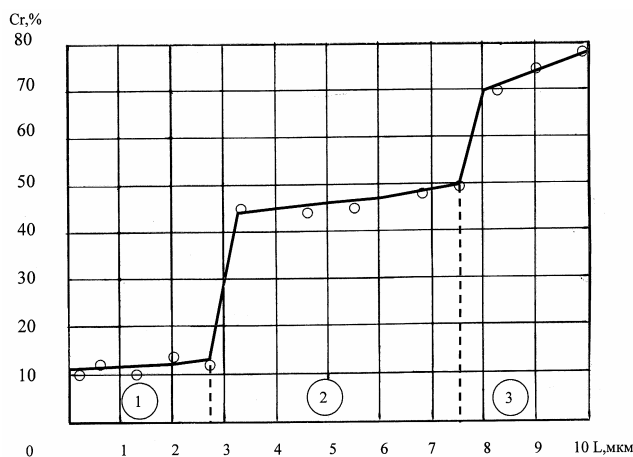
Ділянки різної будови зустрічаються в карбідних включеннях наповнювача розміром понад 30 мкм. Більш дрібні карбіди, які не розплавившись при формуванні

кераміко-металевого зносостійкого шару, за рахунок дифузійних процесів взаємозаміщення хрому залізом мають знижений до 50...65 % вміст хрому та знижену до 1300...1400 кг/мм² мікротвердість.



1-центральна частина включень Cr₃C₂; 2- світла частина включень наповнювача; 3-світло-сіра частина включень наповнювача; 4-карбіди евтектики; 5-твердий розчин у складі евтектики.

Рисунок 5 – Кореляційний зв'язок між вмістом заліза та хрому у фазах наплавленого кераміко-металевого зносостійкого шару:



1- центральна світла частина включень наповнювача; 2-периферійна світло-сіра зона у включеннях наповнювача; 3-твердий розчин у складі евтектики.

Рисунок 6 – Розподіл хрому між фазами наплавленого кераміко-металевого зносостійкого шару: (наповнювач КХНП-20)

Шляхами ослаблення явища зниження мікротвердості карбідного наповнювача за рахунок дифузійних процесів і відповідно підвищення абразивної зносостійкості наплавленого кераміко-металевого шару є використання плакованих наповнювачів оптимальних розмірів на основі карбіду хрому, а також забезпечення більш інтенсивного прогрівання шихти та охолодження утвореного покриття. Підвищення зносостійкості наплавленого шару також можливе за рахунок підвищення міцності евтектичної матриці, досягаючи формування структури з розміщенням включень наповнювача на відстані одне від одного не більше 60...80 мкм.

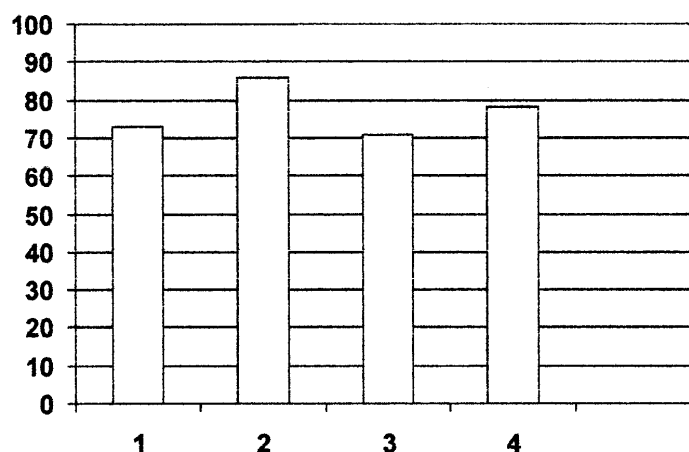
Для визначення ролі швидкості розчинення керамічного наповнювача у формуванні зносостійкого шару при індукційному наплавленні використовували

карбіди зі звуженим діапазоном гранулометричного складу. Наповнювачі з гранулометричним складом 150...200 мкм додатково розсіювали на віброситі “Analisette 3” з відділенням фракції 140...160 мкм. У якості наповнювачів використовували порошки КХНП-20, карбіди Cr_3C_2 та ферохром ФХ-800 з партій, які використовувалися у попередніх дослідках. Вихід відділеної фракції 150...200 мкм складав для КХНП -20 до 23% , для Cr_3C_2 до 32% та ФХ-800 до 28% від маси наповнювачів, що просіюються. Досліди проводили на сумішах складу ПГ-УС-25 з 30% наповнювача. Утворення зносостійкого шару виконували на режимах індукційного наплавлення, які використовувалися при проведенні попередніх дослідів (час прогрівання 25 с.).

При дослідженні мікроструктури утворених покриттів визначали середній розмір включень наповнювача методом стереометричної металографії [1]. Результати вимірювань становлять: зразок з Cr_3C_2 - 63 мкм, зразок з КХНП -20 -119 мкм, зразок з ФХ-800 – 137 мкм. Отримані результати свідчать, що найменшу швидкість розчинення при індукційному напавленні має наповнювач з ферохрому ФХ-800, а найвищу карбіди хрому Cr_3C_2 . Наявність плакуючого нікелевого шару на поверхні КХНП-20 знижує швидкість розчинення включень карбіду хрому до значень, які близькі до аналогічних показників ферохрому.

Визначення впливу тривалості індукційного наплавлення на структуроутворення та зносостійкість покриттів проводили на шихтових сумішах з наповнювачами КХНП-20 та 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 на індукторі змінюючи час наплавлення в межах 15...35 с. В мікроструктурі утворених кераміко-металевих покриттів лінійним методом стереометричної металографії визначали долю нерозплавлених часток наповнювача [1].

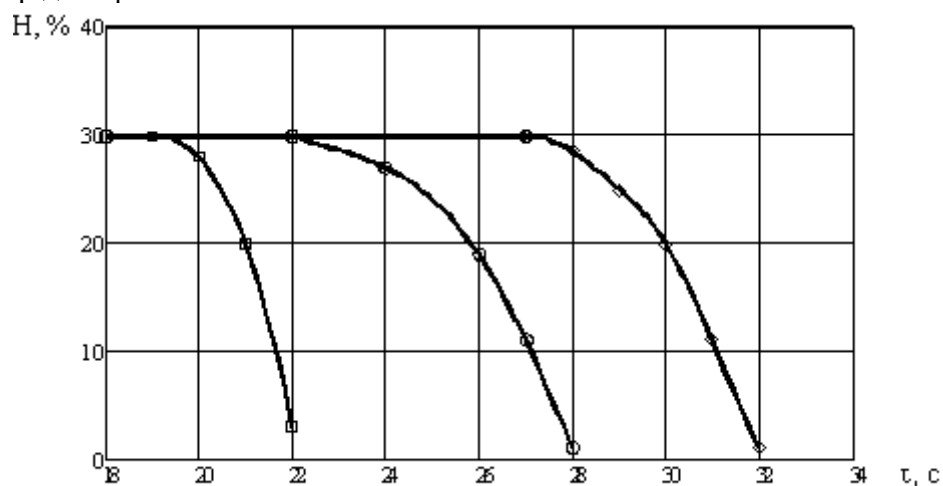
Достатнє сплавлення компонентів покриття, при якому вже не відбувається викришування наповнювача з матриці при виготовленні мікрошліфів, досягається після 19...21 секунди індукційного нагрівання. На графіку отриманої залежності (рис.8) виділяються три характерні періоди. Перший період являє собою горизонтальну ділянку на якій практично не відбувається зниження кількості наповнювача в структурі напавленого шару. Цей період характеризується розплавленням порошоків утворюючих металеву матрицю та виникненням щільного контакту між наповнювачем і рідкою фазою. Друга ділянка характеризується лінійним зниженням в часі долі наповнювача в структурі, що пов'язано з рівномірним розчиненням у розплаві карбідів.



н о м е р з р а з к а

Рисунок 7 – Максимальний вміст хрому в центральній частині карбідних включень наповнювачів у досліджуваних зразках

Для третьої ділянки характерне прискорене зниження долі наповнювача. За рахунок протікання дифузійних процесів наявні карбіди повністю набувають склад $(Fe,Cr)_{23}C_7$. Це веде до їх прискореного розчинення при індукційному прогріванні покриття, що утворюється. Встановлені залежності для наповнювачів з карбіду хрому та КХНП-20 не мають між собою принципової різниці. Для наповнювача КХНП-20 характерним є лише збільшення до 20% за часом першої ділянки, що пов'язано з гальмуванням розчинення карбідів наповнювача плакуючим шаром нікелю. В той же час у цьому випадку друга та третя ділянки дещо коротші, що пов'язано з більш інтенсивним протіканням процесів дифузійного перерозподілу хрому та заліза у включеннях наповнювача та їх прискореним розчиненням в оточуючому розплаві за рахунок більшого перегріву покриття, що утворюється. В той же час розчинення більш дисперсного наповнювача з карбіду хрому протікає значно інтенсивніше, одночасно з утворенням рідкої фази.



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

Рисунок 8 – Вплив тривалості індукційного нагрівання при формуванні зносостійкого покриття на долю включень наповнювача в мікроструктурі

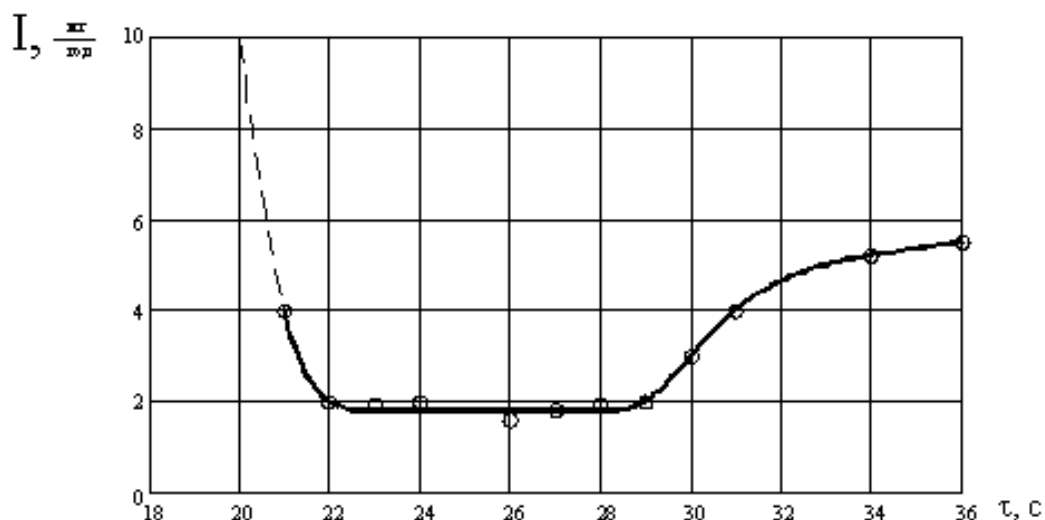


Рисунок 9 – Вплив тривалості індукційного нагрівання на зносостійкість утвореного покриття з наповнювачем КХНП - 20 (140...160 мкм)

Лабораторні дослідження зносостійкості покриттів, наплавлених з використанням наповнювача КХНП-20 проводилося на установці типу НК за методикою, що наведена у попередній роботі авторів [2].

Покриття на початкових стадіях формування мають низьку зносостійкість, що пов'язано з слабким закріпленням наповнювача у матриці (рис.6). Збільшення часу індукційного прогрівання до 21 секунди веде до суттєвого підвищення зносостійкості зразка. Зі збільшенням часу нагрівання спостерігається поступове зниження зносостійкості за рахунок зменшення доли карбідів наповнювача в мікроструктурі зносостійкого шару. При повному розчиненні наповнювача відбувається перехід від формування кераміко-металевого до металевого покриття, яке має зносостійкість в умовах абразивного тертя на 30...35% меншу. Подальше прогрівання понад 28 секунд веде до поступового зниження зносостійкості за рахунок часткового окислення легуючих елементів з розплавленого шару та їх дифузії в основу, зі зниженням дисперсності евтектичних структур, що утворюються.

Висновки:

1. В результаті проведених досліджень встановлені закономірності структуроутворення в кераміко-металевих зносостійких шарах, утворених при індукційному наплавленні, показана роль дифузійних процесів у зниженні міцності включень наповнювача.

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

3. Встановлено наявність у різних кераміко-металевих покриттях лінійної кореляційної залежності між вмістом хрому та заліза у карбідних фазах різного походження.

4. Показано, що з точки зору бездефектності будови та за швидкістю розчинення в процесі індукційного наплавлення, найбільш доцільно використовувати у якості наповнювача кераміко-металевих покриттів плакований нікелем карбід хрому марки КХНП-20.

5. Резервом підвищення зносостійкості утворюваних шарів може бути використання наповнювачів двох гранулометричних видів. Перший вид – наповнювачі з підвищеною швидкістю розчинення (нелеговані карбіди) дрібних фракцій, які будуть повністю розчинятися та зміцнювати за рахунок легування матрицю, знижувати градієнт дифузії хрому у включеннях наповнювача. Другий вид – плаковані карбіди фракції 150...200 мкм, які забезпечують підвищення зносостійкості шляхом формування кераміко-металевих структур.

Список літератури

1. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970.– 376 с.
2. 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.

В статье описаны результаты исследования процессов формирования керамики - металлических слоев при индукционной наплавке. Показана роль диффузии и растворения компонентов шихты при структурообразовании износостойких покрытий.

The results of research of processes of forming of ceramic layers are described in the article - metallic layers at induction cladding. The role of diffusion and dissolution of components of charge is refined at gelation of wearproof coverages.