

УДК 621

**В. М. Голубець***Національний лісотехнічний університет України***А. Є. Стецько***Українська академія друкарства***ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ І ДИФУЗІЙНОГО ХРОМУВАННЯ**

*Запропоновано комплексний метод хімічної обробки і дифузійного хромування для відновлення деталей машин, досліджено дифузійні шари, відновлені даним методом.*

*Деталі машин, відновлення, хімічна обробка, дифузійне хромування, композит, фазовий склад, мікротвердість*

Основне завдання машинобудівної галузі в Україні — різке підвищення техніко-економічного рівня та якості машин, устаткування, приладів. Для цього слід удосконалювати конструкції деталей і вузлів машин, розробляти нові конструкційні матеріали й технологічні процеси виготовлення та обробки заготовок, впроваджувати перспективні методи нанесення захисних покриттів та ін. Це забезпечить підвищення конкурентоздатності продукції машинобудування.

Створення заданого ресурсу та його подальше збільшення є важливою справою конструкторів, технологів, металознавців і метрологів. Саме технологічні методи є найефективнішими при вирішенні даної проблеми. Вони дозволяють підвищити точність виготовлення деталей і складання вузлів машин, забезпечити оптимальний (для даних умов експлуатації) стан поверхневого шару.

При експлуатації поверхневий шар деталі зазнає найістотнішого механічного, теплового, магніто-електричного, світлового та інших впливів. Втрата деталлю свого призначення та її руйнування переважно починаються з поверхневого шару, наприклад, виникнення та розвитку втомної тріщини, корозії, ерозії, зношування тощо.

Технологічний вплив на поверхневий шар та вивчення його властивостей — область досліджень, що швидко розвивається і є дуже перспективною. Розвиток цього напрямку визначає успіхи в сучасному машинобудуванні. Проводяться розробки [7, 14] зі створення та дослідження комбінованих технологічних процесів отримання матричнонаповнених мілі-, мікро- або нанодисперсними включеннями металопорошкових формовок. Після хіміко-технологічної обробки корозійно-електрохімічних покриттів було отримано композиційні покриття Ni-TiB<sub>2</sub>, Ni-B-C. Дослідження авторів [6] спрямовані на одержання покриттів лазерним оплавленням дифузійного двофазного боридного шару або обробкою лазером боромісної пасти (полібориду магнію Mg<sub>2</sub>B<sub>4</sub>, карбіду бору B<sub>4</sub>C, борного ангідриду B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та бури Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·CH<sub>2</sub>O).

Автори [10] порушують проблему підвищення надійності та довговічності сучасних механізмів і машин нанесенням хромових покриттів вакуумним способом на сталях та силумінах, а також корозійно-електрохімічного дослідження такого захисного покриття. Результати експериментів дозволяють замінити електролітичні хромові покриття на вакуумні ферохромові товщиною 30...60 мкм, отримані на дешевих сталях. Наприклад, проводяться дослідження [11] з нанесення двокомпонентних покриттів (хрому та титану) і додатково однокомпонентним (хромом) способом хіміко-технологічної обробки. Для підвищення стійкості різців застосовують зміцнення [13]: хімічне хромування з наступною нітроцементациєю; отриманий інструмент за якістю не поступається алмазним розточним різцям. У цьому контексті цікавим є дослідження [12] про вплив фосфору на структуру сталі. Фосфор, як зазначають автори, у зв'язку із розширенням технологічних вимог до деяких сталей, може виступати не як небажаний додатак, а як твердорозчинний зміцнювач, конкурентоздатний щодо марганцю, хрому, кремнію. Інші автори [1] звертають увагу на проблему обмеженості технологічних методів зміцнення та відновлення робочих поверхонь деталей застосовуваних машин.

Отже, на підприємствах гостро стоїть проблема відновлення спрацьованих поверхонь деталей машин технологічно нескладними методами, що використовували б універсальне обладнання і наявну кваліфікацію працівників, дослідження типів відновлених шарів для встановлення їх застосування відповідно до умов роботи деталей машин.

Метою даної роботи є дослідження поверхневих дифузійних шарів деталей машин, відновлених комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування.

Запропонований для відновлення деталей машин комплексний метод хімічної обробки і дифузійного хромування [1–5, 9] полягає в осадженні на попередньо підготовлену поверхню відновлюваної деталі нікелькобальтфосфорного хімічного покриття (ХП) у водяному розчині визначених рецептур і дифузійному хромуванні за прийнятими режимами. У результаті відновлення на поверхні деталі утворюється дифузійний шар. Його будова залежно від застосовуваних режимів методу складається з декількох зон, робочою з яких є зовнішня композитна зона, яка досягає 250 мкм. Під час відновлення комплексним методом використовується наявне на підприємствах універсальне обладнання.

Хімічна обробка полягає у нанесенні на поверхню деталі, яка пройшла попередню механічну обробку, очищена, знежирена, декапована і промита, хімічного осадження у водяному розчині визначеної рецептури. Завдяки збільшеному завантаженню процес хімічного осадження триває 45 хв. У результаті отримуємо Ni-Co-P хімічне покриття аморфного типу товщиною 8–12 мкм.

Хіміко-термічна обробка — дифузійне хромування здійснюється при температурі 1050°C. Деталь поміщають у реторту з порошковою сумішшю ферохрому, оксиду алюмінію та хлористого амонію і герметизують

плавким затвором. Для формування дифузійного шару потрібної будови застосовується ізотермічна витримка при температурі 700 або 800°C тривалістю 1 або 1,5 години.

Порівняно з традиційним дифузійним хромуванням, де отримують зміцнені шари товщиною 15–30 мкм, які складаються з карбідів хрому  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  і  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ , після комплексного методу відновлення хімічною обробкою та дифузійним хромуванням утворюється дифузійний шар, який для середньо- і високовуглецевих сталей містить чотири зони: зовнішню композитну, що складається із стовпчастих карбідів хрому в матриці твердого розчину  $\text{Cr}$  в  $\alpha\text{-Fe}$  товщиною 100–250 мкм та інтегральною мікротвердістю 11–15 ГПа; зону твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі товщиною 10–50 мкм та мікротвердістю 4,5 ГПа; евтектоїдну товщиною 10–30 мкм та мікротвердістю 4 ГПа; зневуглецьовану товщиною 100–180 мкм та мікротвердістю 1,4–1,6 ГПа за феритною складовою і серцевиною деталі. Композитна будова зони дозволяє значно підвищити ресурс роботи завдяки релаксації накопичених у ході роботи внутрішніх мікронапружень у м'якій фазі — твердому розчині хрому в  $\alpha$ -залізі, у той час як основне навантаження — стовпчасті зерна карбїду хрому високої твердості (до 18 ГПа) сприйматиме тверда фаза.

Цікавість становлять дифузійні шари, отримані комплексним методом на середньовуглецевих сталях. При реалізації режимів комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування з 5-годинним дифузійним хромуванням при 1050°C та годинною ізотермічною витримкою при 700°C ми отримали на сталі 45 зміцнений шар, який складається з чотирьох основних зон (рис. 1). Зовнішня композитна зона 1 (товщиною до 100 мкм) складається з пакетів транскристалітних мікрозерен карбідів хрому. Одночасно спостерігається вкраплення карбідних зерен, які переважно розташовані біля фізичної поверхні (ближче до джерела хрому). Інтегральна мікротвердість композитної зони 1 таких зразків досягає 11 ГПа. Тут можна бачити суцільні колонії карбідних мікро зерен і формування колоній карбідних мікрозерен у зернах вихідного матеріалу. Фазовий аналіз, проведений на даних зразках, показав наявність карбідів хрому  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  та  $\alpha$ -заліза.

Графік розподілу дифузійних елементів підтверджує про наявність великої кількості  $\text{Ni}$  і  $\text{Co}$  в зоні 2 твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі (рис. 2), що служить доказом активних дифузійних процесів. Пікові сплески вмісту хрому і, відповідно, різке падіння концентрації інших елементів в цих місцях свідчать про присутність сформованих карбідних колоній у композитній зоні.

При комплексному відновленні деталі зі сталі 45 з хімічним покриттям, 7-годинним дифузійним хромуванням (1050°C) та годинною ізотермічною витримкою (800°C) отримуємо морфологію дифузійного шару — більш розвинуту структуру композиційної зони (рис. 3). Композитний шар 1 (товщиною до 250 мкм) характеризується розвинутою мережею витягнутих до фізичної поверхні карбідних зерен, які розміщені в матриці твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі. На границі із зоною 2 ці зерна зрослися в суцільне пасмо карбідів.

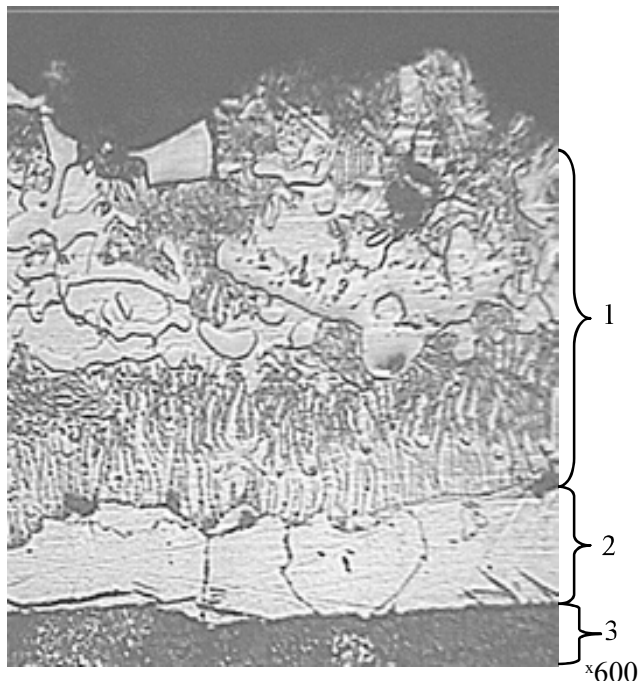


Рис. 1. Мікроструктура дифузійного шару, відновленого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі 45 з попередньою Ni–Co–P обробкою. Режими:  $T=1050^{\circ}\text{C}$ , витримка  $t=5$  год (ізотермічна витримка  $t=1$  год при  $T=700^{\circ}\text{C}$ )

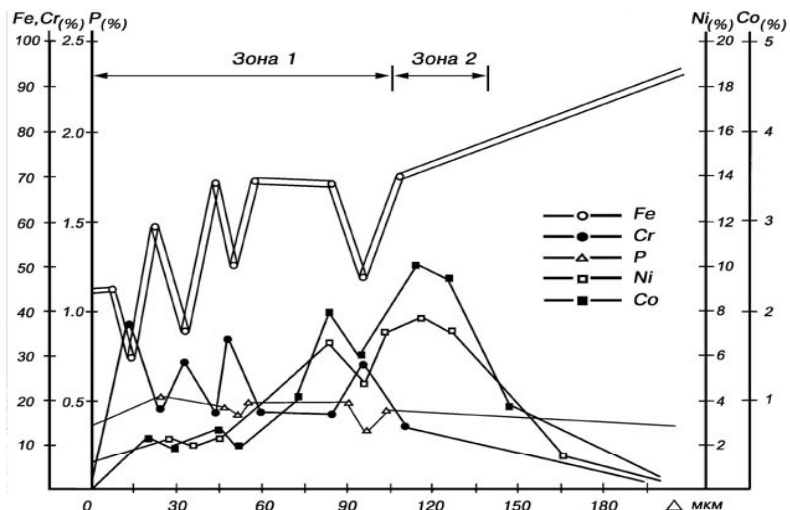


Рис. 2. Графік розподілу концентрації дифузійних елементів дифузійного шару, відновленого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі 45 з попереднім Ni–Co–P покриттям. Режими:  $T=1050^{\circ}\text{C}$ , витримка  $t=5$  год (ізотермічна витримка  $t=1$  год при  $T=700^{\circ}\text{C}$ )

Цікавим є те, що карбідні зерна не повністю пронизують зону 1, а на 30–50 мкм не доходять до фізичної поверхні. Інтегральна мікротвердість композиційної зони дорівнює 12 ГПа. Графік розподілу дифузійних елементів (рис. 4) підтверджує наявність приповерхневої зони твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі, в якій дифузійні елементи за концентрацією стабільні, та піковими (вище 50%) значеннями концентрації хрому (відповідно до падінь концентрації в цих місцях інших елементів) за глибиною розташування карбідних зерен. Гомогенній зоні 2 твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі характерні високі значення вмісту Ni (до 10%) та Co (до 3%). Товщина зони 2 є в середньому 25–40 мкм. Очевидно, що нікель відтісняє вуглець з підповерхневої зони і спостерігається утворення витягнутих карбідних зерен, які розташовані від границі зон 1 і 2 в бік фізичної поверхні.

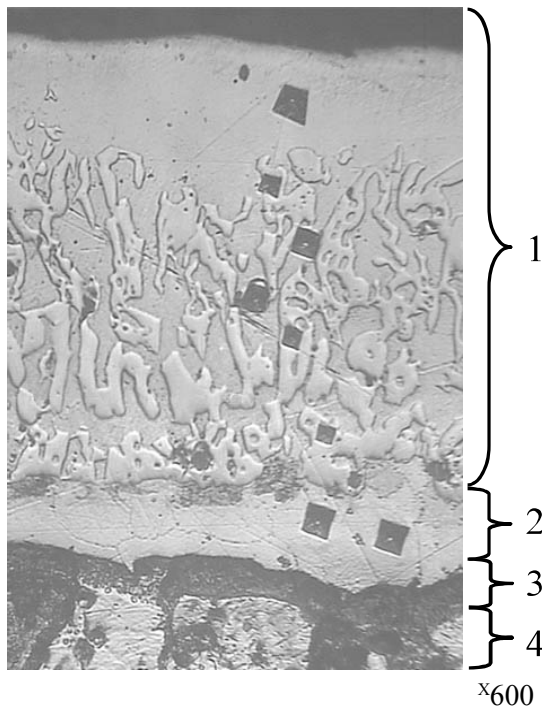


Рис. 3. Мікроструктура дифузійного шару, відновленого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі 45 з попереднім Ni—Co—P покриттям. Режими:  $T=1050^{\circ}\text{C}$ , витримка  $t=7$  год (ізотермічна витримка  $t=1$  год при  $T=800^{\circ}\text{C}$ )

Наявність у комплексному методі хімічної обробки та ефект рідко-металевої фази, який виникає внаслідок того, а водночас ізотермічної витримки дозволяє зміцнювальному шарові розвинути на досить велику глибину. Композитна зона 1 цього шару, яка на деталях пар тертя є робочою, дорівнює 250 мкм, що забезпечує підвищений ресурс роботи.

Фазовий аналіз проводився на даному зразку двічі через велику кількість неіндексованих піків, що свідчить про складний напружений стан зміцненого шару. Але однозначно можна стверджувати про наявність тут  $Cr_7C_3$  та великої кількості  $\alpha$ -заліза.

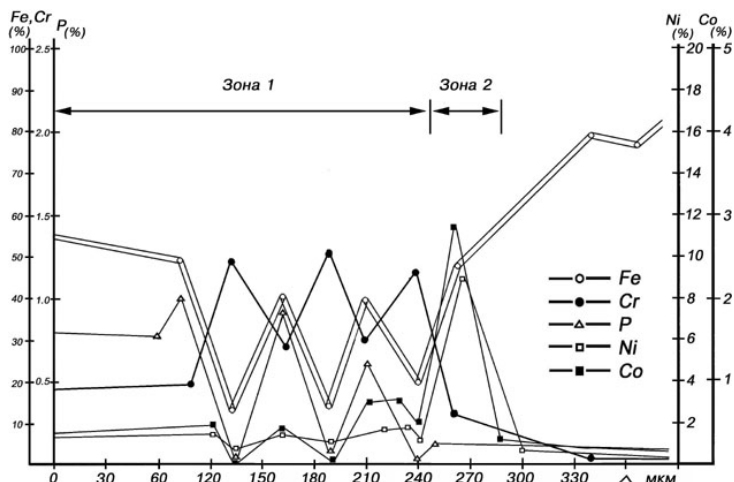


Рис. 4. Графік розподілу концентрації дифузійних елементів дифузійного шару, відновленого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі 45 з хімічною Ni–Co–P обробкою. Режим:  $T=1050^{\circ}C$ , витримка  $t=7$  год (ізотермічна витримка  $t=1$  год при  $T=800^{\circ}C$ )

Дифузійний шар на сталі У10 (рис. 5), отриманий після реалізації режимів комплексного методу відновлення — 7 год дифузійного хромування (при  $1050^{\circ}C$ ) з попередньою годинною ізотермічною витримкою (при  $800^{\circ}C$ ) і хімічною обробкою, — характеризується високим об'ємним вмістом зерен карбідів хрому в композиційній зоні 1. Ці зерна мають витягнуту до фізичної поверхні форму, а на границі із зоною 2 утворюють суцільну карбідну колонію з карбідними зернами хрому, що зрослися між собою. При цьому візуально спостерігається різниця між цими типами зерен. Згідно з [14], витягнуті карбідні зерна — це  $Cr_{23}C_6$ , а карбідна колонія —  $Cr_7C_3$ . Інтегральна мікротвердість композиційної зони 1 дорівнює 15 ГПа.

Частина графіка розподілу дифузійних елементів (рис. 6), яка за глибиною відображає зону 1, показує досить рівномірний вміст дифузійних елементів з невеликими їх коливаннями, і лише наприкінці зони, на місці розташування суцільної карбідної колонії — зростання (до 50%) вмісту хрому і, відповідно, падіння концентрації інших елементів. Вміст дифузійних елементів у зоні 1 досить високий і стабільний за товщиною зони (крім місця розташування суцільних карбідів біля межі із зоною 2). Гомогенна зона 2 твердого розчину Cr в  $Fe_{\alpha}$  характеризується нестабільною товщиною, а місцями зона 1 упритул підходить до зони 3. Даний зразок має максимальний вміст Ni та Co в зоні 2 (близько 18% Ni та понад 3% Co).

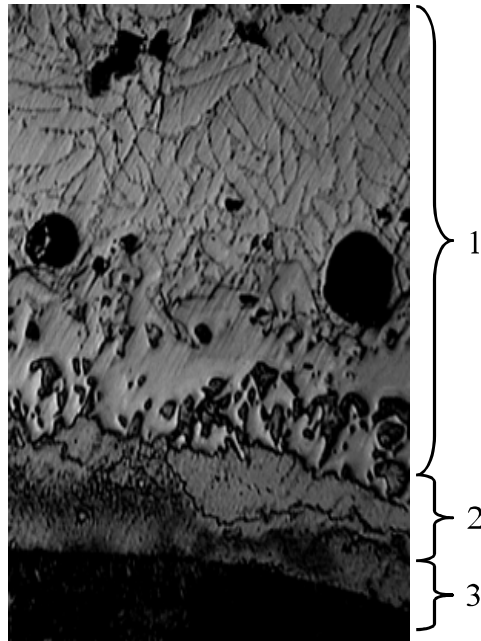


Рис. 5. Мікроструктура дифузійного шару, відновленого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі У10 з попереднім Ni–Co–P покриттям. Режими: T=1050°C, витримка t=7 год (ізотермічна витримка t=1 год при T=800°C)

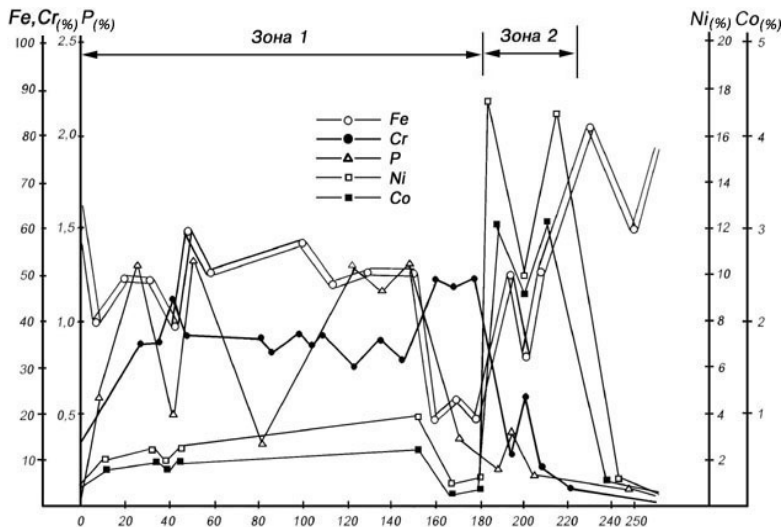


Рис. 6. Графік розподілу концентрації дифузійних елементів дифузійного шару, відновленого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі У10 з хімічною Ni–Co–P обробкою. Режими: T=1050°C, витримка t=7 год (ізотермічна витримка t=1 год при T=800°C)

Після відновлення комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на сталі У10 аналогічно, як і на сталі 45, прослідковуються всі характерні зони, у тому числі евтектоїдна  $\beta$ . Але, за авторами [8], «в евтектичній та заевтектичній сталі мікроаналіз не дозволяє виявити темний проміжний шар та зону з підшаровим зневуглецюванням». Очевидно, режими, які використовуються нами при відновленні комплексним методом, інакше впливають на сталь, ніж звичайне дифузійне хромування. Ця різниця проявляється на високовуглецевих сталях. Фазовий аналіз, здійснений двічі, показав, що в даному шарі присутні карбіди хрому  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$ , а також  $\alpha$ - та  $\gamma$ -залізо.

Графіки розподілу дифузійних елементів (Ni, Co, P) показують (рис. 2, 4, 6), що між зернами карбідів хрому простежується їх підвищена концентрація. Наприклад, для Ni, який, попри підвищення міцності, поліпшує і пластичність матеріалу спостерігається його збільшення до 10%. Таким чином, карбідні зерна ніби огортаються пластичним матеріалом, котрий зможе добре релаксувати внутрішні напруження, які виникають під час роботи деталі, що підвищує ресурс її роботи, відновлений комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування.

Реалізація комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування для відновлення деталей машин дозволяє отримувати дифузійні шари різні за будовою, товщиною та твердістю.

Оптимальними для відновлення методом хімічної обробки є деталі машин із конструкційних середньовуглецевих сталей. На відновлених деталях зі сталі 45 отримано шари, де товщина зовнішньої композитної зони досягає 250 мкм, а інтегральна мікротвердість 12 ГПа. Фазовий склад композитної зони складається з карбідів хрому  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  і  $\alpha Fe$  (002).

Комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування можна відновлювати деталі, виготовлені з високовуглецевих сталей. Одержаний на них дифузійний шар має композитну зону високої інтегральної мікротвердості (майже 15 ГПа), товщиною до 200 мкм із щільно розташованими карбідними зернами. Фазовий склад композитної зони складається із карбідів хрому  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  і  $\alpha Fe$  (002).

Деталі, які виготовлені із середньовуглецевих сталей і працюють при динамічних навантаженнях, слід відновлювати при режимах, що передбачають 5-годинне дифузійне хромування з годинною ізотермічною витримкою при 700°C. Це дозволяє отримати дифузійні відновлені шари, зовнішня композитна зона яких складається з дрібнодисперсних ниткоподібних карбідів хрому в матриці твердого розчину  $\sigma$  в  $\alpha$ -залізі товщиною близько 100 мкм та інтегральною мікротвердістю до 11 ГПа. Фазовим складом таких шарів є карбіди хрому  $Cr_7C_3$ ,  $\alpha Fe$  (110) і  $\alpha Fe$  (002).



С. 87–93. 2. Декларац. пат. 38153 Україна. Спосіб отримання комбінованого покриття на залізовуглецевих сплавах / Стецьків О. П., Манько О. В., Стецько А. Є.; код С 23С10/02, С23С 10/00; опубл. 15.05.01, Бюл. № 4. 3. Декларац. пат. 47261А Україна. Спосіб отримання комбінованого покриття поверхонь деталей пар тертя із залізовуглецевих сплавів / Стецьків О. П., Манько О. В., Стецько А. Є.; код С23С10/02; опубл. 17.06.02, Бюл. № 6. 4. Декларац. пат. 47783А Україна. Спосіб отримання комбінованого покриття на деталях із залізовуглецевих сплавів / Стецьків О. П., Манько О. В., Стецько А. Є.; код С23С10/02; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7. 5. Декларац. пат. № 56472А Україна. Спосіб отримання комбінованого покриття деталей машин із залізовуглецевих сплавів / Стецьків О. П., Манько О. В., Стецько А. Є.; код С23С10/02; опубл. 15.05.03, Бюл. № 5. 6. Лабунець В. Б. Працездатність зміцнених вуглецевих сталей в умовах тертя ковзання і віброударних навантажень / В. Б. Лабунець, Маджід Абдаллах, Дерек Іренеуш // Металознавство та обробка металів. — 1999. — № 1–2. — С. 63–66. 7. Лучка М. В. Получение и свойства гальванотермических градиентных наслоений с заданными величиной, содержанием и распределением в матрице частиц наполнителя и легирующих её элементов / М. В. Лучка // (Проблемы трибологии). — 1998. — № 2. 8. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов; изд. второе перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1965. — С. 205. 9. Патент 77102С2 Україна. Спосіб отримання композиційного дифузійного покриття на швидкозношуваних поверхнях деталей із залізовуглецевих сплавів / Стецько А. Є., Манько О. В.; код С2310/02; зареєстр. в Держ. реєстрі пат. України на винаходи 16.10.06. 10. Соколов А. Д. Защитные свойства и коррозионно-электрохимическое поведение вакуумных хромовых покрытий / А. Д. Соколов, А. И. Костржицкий // Проблемы техники. — 2004. — № 1. — С. 55–67. 11. Юрков И. И. Износостойкость в условиях трения скольжения сталей, подвергнутых диффузионному насыщению хромом и титаном / И. И. Юрков, Н. В. Степанова // Трение и износ — 1988. — № 6. 12. Яценко С. / Вплив фосфору на кристалізацію та структуру сталі / С. І. Яценко, Н. І. Репіліна, Г. В. Левченко [та ін.] // Металознавство та обробка металів. — 1999. — № 1–2. С. 34–38. 13. Елизаветин М. А. Технологические способы повышения долговечности машин / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. — М.: Машиностроение. — 1969. — 399 с. 14. Luchka M. V. The strenghtening and reduction of surfaces of sliding by gradient coatingm M. V. Luchka, M. V. Kindrachuk, Y. N. Mechalovich // Problems of Tribology. — 2000. — № 2.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ДИФФУЗИОННОГО ХРОМИРОВАНИЯ**

*Предложен комплексный метод химической обработки и диффузионного хромирования для восстановления деталей машин, исследовано диффузионные слои, восстановленные данным методом.*

## **PICKED UP THREAD OF DETAILS MACHINES BY THE COMPLEX METHOD OF CHEMICAL TREATMENT AND DIFFUSIVE CHROME-PLATING**

*The complex method of chemical treatment and diffusive chrome-plating is offered for proceeding in the details of machines, investigational diffusive layers are picked up thread by this method*

*Стаття надійшла 22.06.09*