

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПІД ЧАС ЇХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО РЕМОНТУ

Лузан С.О., Петренко Д.М.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка*

*У роботі наведено аналіз ресурсів відновлених при ремонті деталей машин. Представлені результати зносних порівняльних випробувань відновлювальних покриттів, нанесених газополуменевим способом. Обґрунтовано можливість підвищення довговічності деталей машин в процесі відновлювального ремонту шляхом нанесення газополуменевим способом покриттів з композиційних матеріалів. Показано, що одним з найбільш ефективних енергозберігаючих методів отримання композиційних матеріалів є високотемпературний синтез (СВС). Найбільшого поширення набули склади композиційних матеріалів на основі титану, оскільки реакції утворення карбідів і боридів титану проходять з високим екзотермічним ефектом, що дозволяє використовувати в якості матричного матеріалу різні метали і сплави.*

*В якості вихідних матеріалів для отримання композиційного матеріалу використовували порошки титану марки ВТ1-0, бору В, вуглецю марки ПМ-15 та оксиди алюмінію і кремнію з метою синтезування карбиду і дибориду титану. Крім того, для збільшення теплового ефекту в процесі синтезу карбиду і дибориду титану в механічну суміш вводиться терморезаючий порошок алюмінід нікелю ПТ-НА-01, алюмінієва пудра (порошок) ПАП-1 і оксид заліза Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Як матричний матеріал застосовувався самофлюсуючий сплав ПГ-10Н-01.*

*Наведено результати випробувань на абразивне зношування, які показали більшу високу зносостійкість (в 1,6 раз) ніж запропонованого композиційного матеріалу в порівнянні з самофлюсуючим сплавом ПГ-10Н-01.*

**Ключові слова:** довговічність, ресурс, композиційний матеріал, СВС-процес.

### Поставлення проблеми

Парк автотранспортних засобів в Україні за технічним рівнем, моральному і фізичному зносу вимагає відновлення, терміни амортизації майже у 50 % машин значно перевищені (понад 10 років), однак, вони продовжують експлуатуватися. Ресурс двигуна після ремонту за технічними умовами повинен бути не нижче 80 % ресурсу нового двигуна, проте насправді становить тільки 30-50%. Витрати коштів на технічне обслуговування та ремонт тракторів, автомобілів за весь термін служби в 3-6 разів перевищують вартість їх виготовлення. Середнє напрацювання на відмову трактора Т-150 в 2 рази, а термін служби в 2-3 рази менше, ніж у зарубіжних аналогів. В даній ситуації виникає гостра необхідність у підвищенні довговічності деталей при ремонті машин.

### Аналіз останніх досліджень

Практика експлуатації машин і обладнання підтверджує, що найбільш поширеною причиною їх виходу з ладу, в 80 випадках з 100, є не поломка, а знос і пошкодження робочих поверхонь [1-4]. Однією з основних причин передчасного виходу з ладу деталей двигунів після капітального ремонту є якість відновлених деталей, яка визначається застосовуваною технологією ремонту і правильною вибору способу відновлення і зміцнення зношених поверхонь деталі.

Відомо, що на підтримку працездатності тракторів за термін їх служби витрачається коштів у 3 - 4 рази більше, ніж на їх виготовлення. При цьому 60-80% цих коштів витрачається на усунення відмов і несправностей. На ремонт тракторів задіяно в 4 рази більше виробничих потужностей, ніж на їх виготовлення. Легковий автомобіль, що має масу 1000 кг, стає непридатним для ремонту, якщо втрата маси від зносу складе 1 кг, а також підраховано, що до списання трактора Т-130 на запасні частини для ремонту і технічного обслуговування потрібно витратити стільки металу, скільки він важить сам – 12000 кг.

В нормативах надійності, для оцінки довговічності тракторів і їх основних складових частин використовується ресурс до першого капітального ремонту (ГОСТ 26817-86) із заданою гарантованою ймовірністю безвідмовної роботи. Дані про ресурси деяких моделей сільськогосподарських тракторів, що випускаються в СНД, наведені в табл. 1 [5].

В ідеалі ресурс деталей повинен дорівнювати ресурсу машини в цілому. Але ця умова на сьогоднішній день не виконується. Реальний ресурс відремонтованої техніки порівняно з новою становить не більше 50% (хоча згідно ГОСТ 18524-85 повинен бути не нижче 80%), швидкість зношування деталей після ремонту зростає в 1,6-2,0 рази. Положення значно погіршується внаслідок зростання дефіциту і вартості запасних частин.

Таблиця 1

**Нормативи довговічності тракторів і їх основних складових частин**

Клас і тип трактора	90 - відсотковий ресурс до першого капітального ремонту тис. м. год., не менше		
	трактор	двигун	трансмісія
Колісні			
0,6	10	10	10
0,9	10	10	10
1,4*	10/12	10/12	10/12
2,0	12	12	12
3,0; 5,0	10	10	10
Гусеничні			
2,0**	9/10	9/10	9/10
3,0; 4,0	10	10	10
* В чисельнику – для тракторів з двигунами потужністю понад 55 кВт, в знаменнику з потужністю 55 кВт і менше.			
** В чисельнику з потужністю двигуна 51 кВт.			

В монографії [5] на основі аналізу впливу ряду факторів: навантаження, частоти обертання, ступеня забруднення мастильного середовища, конструктивних особливостей вузлів, сполучень на інтенсивність зношування та динаміку накопичення втомних пошкоджень, а також з урахуванням накопиченого досвіду підвищення працездатності деталей та вузлів на Харківському тракторному заводі була визначена номенклатура деталей шасі колісних тракторів типу Т-150К, що вимагають підвищення довговічності. Номенклатура містить 36 деталей. Однією з числа найбільш відповідальних деталей, що визначають ресурс трактора, є вали приводу переднього і заднього мостів, які встановлені в роздавальній коробці. В процесі експлуатації відбувається знос поверхні шийки валу під сальниками, що призводить до появи течі масла.

В цілому сучасне ремонтне підприємство за рівнем організації і технічного оснащення ще не повною мірою відповідає вимогам, які дозволяють забезпечити необхідні показники

якості ремонту деталей двигунів. Показник безвідмовності і ресурсу капітально відремонтованих двигунів становить 50-60% від відповідних значень нових, хоча за ГОСТ 18523-79 повинен бути не менше 80 %.

На основі вищевикладеного випливає, що проблема підвищення ресурсу деталей машин під час їх відновного ремонту є актуальною.

Одним з ефективних напрямків вирішення даної проблеми – є застосування газополум'яного способу нанесення зносостійких покриттів.

### Мета досліджень

Розробка пропозицій щодо підвищення довговічності деталей машин під час їх відновного ремонту шляхом застосування газополум'яного способу нанесення зносостійких покриттів з композиційних матеріалів.

### Викладення основного матеріалу

Порівняльну оцінку зносостійкості відновленої поверхні газополум'яним напиленням проводили по середній швидкості зношування відновного покриття і сталі 45, термообробленої до твердості HRC 50.

Для визначення середньої швидкості зношування відновного покриття були виконані дослідницькі роботи з визначення величини зносу від напрацювання сполучення. Порівняльні випробування на зношування відновлювальних плазмових покриттів проводили на машині тертя типу МІ за схемою "диск-колодка" в середовищі індустриального масла марки І-20 при наступних режимах: середня окружна швидкість ковзання 0,42 м/с, питомий тиск на колодку при нормальному механохімічному процесі зношування становило 8,0 МПа, площа поверхні тертя 1,8 см<sup>2</sup>. Диски і колодки виготовляли зі сталі 45, покриття наносили на диск, колодки піддавалися термообробці (гарт і відпуск) до твердості HRC 50. Величину лінійного зносу оцінювали за формулою

$$I = \frac{\Delta G}{\gamma \cdot F}, \quad (1)$$

де  $\Delta G$  – зміна маси зразка при випробуванні, кг;  $\gamma$  – щільність зношеного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  – площа контакту зразків, м<sup>2</sup>

Для дослідження динаміки зношування відновлювальних покриттів обрані найбільш вживані зносостійкі порошки марки ПГ-10Н-01 і ПГ-12П-01 на основі нікелю ТУ У 322-19-004-96, що виготовляються ВАТ «Торезтвєрдосплав».

Отримані експериментальні криві свідчать про нелінійний характер динаміки зношування, рис. 1.

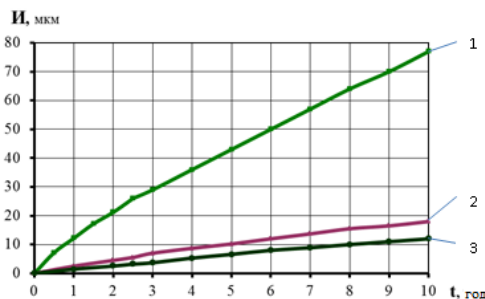


Рис. 1. Динаміка зношування відновлювальних покриттів в залежності від напрацювання: 1 – сталь 45 HRC 52; 2 – покриття ПГ-12Н-01; 3 – покриття ПГ-10Н-01

Причому, як видно з характеру отриманих залежностей, нелінійність більшою мірою проявляється в початковий період випробувань і в міру наростання напрацювання наближається до лінійної залежності за часом. Цей початковий період становить  $t \sim 2,5$  години. За цей час відбувається приробка зразків і забезпечується контакт по всій поверхні тертя, після чого настає процес нормального механохімічного зношування. Тривалість випробувань 10 годин обрана з урахуванням забезпечення отримання достовірних і відтворюваних результатів.

Як видно з рис. 1, криві залежностей динаміки зношування від напрацювання для досліджених матеріалів покриттів мають однаковий характер, і найменший знос у покриття ПГ-10Н-01, який в 6,4 рази менше ніж у сталі 45 HRC 50 в середовищі індустриального масла И-20. Тому для відновлення валу приводу моста був обраний порошковий матеріал марки ПГ-10Н-01 системи Ni-Cr-B-Si.

В результаті апроксимації експериментальних кривих (рис. 2) встановлені залежності величини зносу ( $I$ ) поверхні циліндричної деталі від часу напрацювання ( $t$ ) (2) та (3):

$$I_1 = 6,85t + 8,77 \quad (2)$$

$$I_2 = 1,18t + 0,46 \quad (3)$$

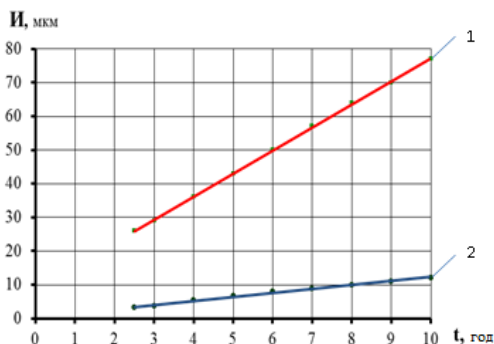


Рис.2. Залежність величини зносу відновлювальних покриттів від напрацювання: 1 – сталь 45 HRC 50; 2 – покриття ПГ-10Н-01

Апроксимацію проводили для інтервалу напрацювання  $0 \leq t \leq 2,5$  год (після початкового періоду випробувань – прироблення), коефіцієнти кореляції  $R_1 = R_2 = 0,99$ .

Збільшити ресурс при ремонті деталей можливо шляхом формування відновних зносостійких шарів на робочих поверхнях деталей, у яких швидкість зношування не перевищує таку, за якої величина зносу досягає граничного стану при заданому напрацюванні.

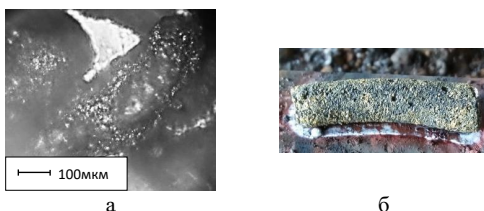
Для визначення швидкостей зношування ( $V$ ) необхідно продиференціювати рівняння (2) і (3) [6]. Таким чином, швидкість зношування відновлювальних покриттів в процесі нормального механохімічного зношування становить: ПГ-10Н-01 – 1,18 мкм/год, а сталі 45 HRC 50 – 6,85 мкм/год., іншими словами зносостійкість відновного покриття ПГ-10Н-01 в 5,8 разів вище, ніж сталі 45 HRC 50. Однак сплави, що сам офлюсуються системи Ni-Cr-B-Si, до яких відноситься порошок марки ПГ-10Н-01, мають недостатню зносостійкість при експлуатації в умовах абразивного середовища. Тому значний прогрес щодо підвищення зносостійкості покриттів пов'язаний з використанням при газотермічному напilenні композиційних матеріалів. Найбільш перспективними композиційними матеріалами є дисперсно-зміцнені. Структура їх являє собою матрично

металу або сплаву, в обсязі якої рівномірно розподілена зміцнююча фаза. В якості цієї фази доцільно застосовувати термодинамічні стабільні сполуки – оксиди, карбіди, бориди та інтерметаліди.

Одним з найбільш ефективних шляхів створення таких композиційних матеріалів є застосування технології високотемпературного синтезу (СВС). Найбільш популярними є склади композиційних матеріалів на основі титану. Це пов'язано з високим екзотермічним ефектом реакції утворення карбіду титану з елементів, що забезпечує широкий вибір матеріалу зв'язки (1) [7].

В якості вихідних матеріалів для отримання композиційного матеріалу використовували порошки титану марки ВТ1-0, бору В, вуглецю марки ПМ-15 і оксиди алюмінію і кремнію з метою синтезування карбіду і дибориду титану. Необхідно відзначити, що в якості оксидів використовувалася глина мелена вогнетривка по ТУ У 08.1-35007607-005:2012, що містить 55%  $\text{SiO}_2$ , 31,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Крім того, для збільшення теплового ефекту в процесі синтезу карбіду і дибориду титану в механічну суміш вводиться термореагуючий порошок алюмініда нікелю ПТ-НА-01, алюмінієва пудра (порошок) ПАП-1 ГОСТ 5494-95 і оксид заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

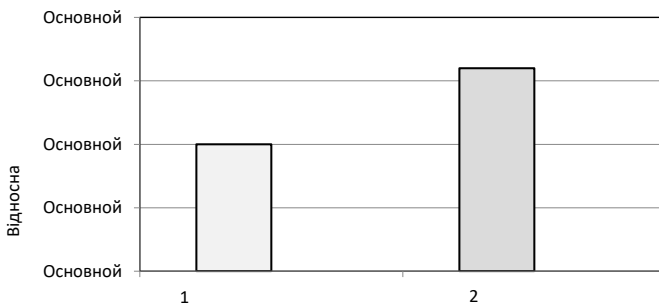
Обрані компоненти змішувалися, і отримана порошкова суміш піддавалася механічній активації. Вибір цього способу впливу на матеріали обумовлений необхідністю створення композитів, в мікрооб'ємах яких повинна відбуватися реакція СВС. Для отримання механоактивованих порошкових сумішей застосовувався метод механічної активації в кульових млинах. Час процесу механоактивації становив 15 хвилин (рис. 3, а). На рис. 3, а видно, що в результаті механоактиваційної обробки відбулася коагуляція частинок компонентів порошкової суміші, що полегшує протікання СВС-процесу. СВС-процес отримання композиційного матеріалу здійснювали на циліндричних зразках в умовах фронтального підпалювання реагуючого складу, яке здійснювалося електричною дугою.



**Рис.3.** Композиційний матеріал з компонентів  $\text{Ti}+\text{C}+\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}+\text{ПТ-НА-01}$  після: а – механоактивації; б – СВС-процесу

Після отримання композиційного матеріалу у вигляді спека (рис. 3, б), морфологія якого свідчить про його складний склад, провели його дроблення, додали матричний матеріал ПГ-10Н-01 у кількості 80% і здійснили вібраційну обробку в циліндричному контейнері об'ємом  $0,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , діаметр куль – 4,5 мм, амплітуда коливань 2 мм, частота  $4000 \text{ хв}^{-1}$ , час обробки – 2 хв.

Зносостійкість досліджуваних покриттів, нанесених газополумєним способом, оцінювали за результатами випробувань на тертя о закріплені абразивні частинки згідно ГОСТ 17367-71. Сплав ПГ-10Н-01 приймався в якості контрольного матеріалу, його зносостійкість була прийнята за одиницю. Другий - пропонований матеріал, синтезований із застосуванням СВС-процесу з компонентів  $\text{Ti} + \text{C} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al} + \text{ПТ-НА-01}$ , додавався в сплав ПГ-10Н-01 в кількості 20% і після змішування піддавався вібраційній обробки на вищевказаному режимі. Отримані результати представлені на рис. 4.



**Рис.4.** Відносна зносостійкість напилених газополум'яним методом матеріалів в умовах впливу закріплених частинок абразиву: 1 – сплав ПГ-10Н-01; 2 – композиційний матеріал {20% КМ + 80% ПГ-10Н-01}

З аналізу рис. 4 видно, що зносостійкість покриття з композиційного матеріалу {20% КМ + 80% ПГ-10Н-01}, напиленого газополум'яним способом, в 1,6 разів перевищує зносостійкість покриття з самофлюсуючого сплаву ПГ-10Н-01.

### Висновки

1. Розроблено композиційний матеріал, одержуваний із застосуванням СВС-процесу з порошкової суміші компонентів  $Ti+C+SiO_2+Al^2O_3+Fe_2O_3+Al+ПТ-НА-01$ , що володіє більш високою (1,6 разів) зносостійкістю при впливі абразивних частинок в порівнянні зі сплавом ПГ-10Н-01.

2. Застосування розробленого композиційного матеріалу для нанесення відновного покриття газополум'яним способом забезпечить підвищення довговічності деталей машин, що працюють в абразивному середовищі.

### Список використаних джерел

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): [учебник] / Гаркунов Д. Н. – М. : МСХА, 2002. – 632 с.
2. Лебедев С. Повышение безотказности тракторов в реальных условиях эксплуатации / С. Лебедев // Техніка і технології АПК. – К., 2011. – № 3. – С. 14-17.
3. Ксеневиц И.П. Обеспечение надежности сложных технических систем на стадии проектирования / И.П. Ксеневиц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – № 1. – С. 36-42.
4. Асоян А. Р. Анализ физико-механических свойств металла коленчатых валов, восстановленных нанесением наплавочных металлопокрытий/ А. Р. Асоян и др. // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №4. – С. 45-48.
5. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колёсных тракторов. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – 292 с.
6. Лузан С.О. Нормування швидкості зношування і методика визначення товщини відновлювального покриття деталей засобів транспорту / С.О. Лузан // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 139. – С. 51-57.
7. Лузан С.А. СВС-процессы в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин наплавкой и газотермическими способами напыления покрытий (обзор) / С.А. Лузан, А.И. Сидашенко, А.С. Лузан // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків: 2016. - № 6. – С. 152-162.

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ВО ВРЕМЯ ИХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА

Лузан С.А., Петренко Д.Н.

*В работе приведен анализ ресурсов восстановленных при ремонте деталей машин. Представлены результаты износных сравнительных испытаний восстановительных покрытий, нанесенных газопламенным способом. Обоснована возможность повышения долговечности деталей машин в процессе восстановительного ремонта путем нанесения газопламенным способом покрытий из композиционных материалов. Показано, что одним из более эффективных энергосберегающих методов получения композиционных материалов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Наибольшее распространение получили составы композиционных материалов на основе титана, поскольку реакции образования карбидов и боридов титана проходят с высоким экзотермическим эффектом, что позволяет использовать в качестве матричного материала различные металлы и сплавы.*

*В качестве исходных материалов для получения композиционного материала использовали порошки титана марки ВТ1-0, бора В, углерода марки ПМ-15 и оксиды алюминия и кремния с целью синтезирования карбида и диборида титана. Кроме того, для увеличения теплового эффекта в процессе синтеза карбида и диборида титана в механическую смесь вводится термореагирующий порошок алюминид никеля ПТ-НА-01 алюминиевая пудра (порошок) ПАП-1 и оксид железа  $Fe_2O_3$ . В качестве матричного материала применялся самофлюсующийся сплав ПГ-10Н-01.*

*Приведены результаты испытаний на абразивное изнашивание, которые показали более высокую износостойкость (в 1,6 раз) предлагаемого композиционного материала по сравнению с самофлюсующимся сплавом ПГ-10Н-01.*

**Ключевые слова:** долговечность, ресурс, композиционный материал, СВС-процесс

### Abstract

## INCREASING THE DURABILITY OF MACHINE PARTS DURING THEIR REPAIR

Luzan S.A., Petrenko D.N.

*The paper presents an analysis of the resources recovered during the repair of machine parts. The results of wear comparative tests of reducing coatings applied by gas-flame method are presented. The possibility of increasing the durability of machine parts in the process of repair by applying gas-flame coatings of composite materials. It is shown that self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is one of the more effective energy-saving methods for producing composite materials. The most widespread compositions of composite materials based on titanium, as the reaction of formation of carbides and borides of titanium are with a high exothermic effect, which allows you to use as a matrix material of various metals and alloys.*

*Titanium powders of VT1-0 grade, boron B grade, carbon PM-15 grade and aluminum and silicon oxides were used as starting materials for the preparation of the composite material in order to synthesize titanium carbide and diboride. In addition, to increase the thermal effect in the synthesis of titanium carbide and diboride in the mechanical mixture introduced thermosetting powder aluminide Nickel PT-NA-01, aluminum powder (powder) PAP-1 and iron oxide  $Fe_2O_3$ . Self-fluxing alloy PG-10N-01 was used as a matrix material.*

*The results of tests for abrasive wear, which showed a higher wear resistance (1.6 times) than the proposed composite material in comparison with the self-fluxing alloy PG-10N-01.*

**Keywords:** durability, resource, composite material, SHS - process.