

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Конспект лекцій для студентів спеціальності

131 «Прикладна механіка»

Затверджено

на засіданні кафедри зварювання

Протокол № 12 від 30.06.2023

Харків
НТУ "ХПІ"
2023

УДК 621.793.7:624.81(075.8)

С 35

Рецензенти:

О. С. Полянський, д-р. техн. наук, професор,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет;
Б. В. Сітніков, к. т. н., доцент кафедри "Зварювання",
НТУ"ХПІ".

Лузан С.О.

С 35 Лузан С.О. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей : конспект лекцій. Харків : НТУ «ХПІ», 2023. 118 с.

ISBN

Запропановано курс лекцій, що містить у собі базовий матеріал з дисципліни «Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей». Мета дисципліни навчити студентів застосовувати на практиці комплексний підхід при виборі найбільш раціонального способу вдосконалення методу відновлення деталей машин. Розглянуто характерні види зносу деталей машин, наведені класифікації відновлюваних деталей, СВС-процеси в технологіях зміцнення і відновлення деталей машин. Розглянута методологія вибору способу відновлення деталей з урахуванням їх ресурсу та оцінка витрат по нанесенню покриття. В курсі лекцій представлений внесок НТУ «ХПІ» у розвиток технологій відновлення деталей. Для студентів, магістрів, аспірантів і викладачів інженерних спеціальностей закладів вищої освіти 3-4 рівнів акредитації, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Іл. 36. Табл. 15. Бібліограф. 19 назв.

УДК621.793.7:624.81(075.8)

ISBN© С. О. Лузан, 2023

ЗМІСТ

<i>Лекція 1.</i> Вступ. Ресурс транспортних засобів та їх основних складових частин після ремонту.....	4
<i>Лекція 2.</i> Характерні види зносу деталей машин	13
<i>Лекція 3.</i> Вибір способу відновлення деталей машин	23
<i>Лекція 4.</i> Класифікація відновлюваних деталей і характеристики способів газотермічного напилення.....	34
<i>Лекція 5.</i> Удосконалення методів газотермічного напилення.....	62
<i>Лекція 6.</i> СВС-процеси в технологіях зміцнення і відновлення деталей машин наплавленням і газотермічними способами напилення покриттів.....	87
<i>Лекція 7.</i> СВС-процеси в газотермічних способах напилення і наплавлення покриттів.....	97
<i>Лекція 8.</i> Економічна ефективність технологічного процесу відновлення деталей.....	113
Список літератури.....	117

Лекція 1. Вступ. Ресурс транспортних засобів та їх основних складових частин після ремонту.

План лекції

Вступ.

1. Аналіз трудомісткості поточних ремонтів машин.
2. Основні причини відмов машин.

Вступ.

Підвищення і забезпечення надійності засобів транспорту є однією з найважливіших передумов їх ефективного використання. Основна властивість, яке характеризує надійність засобів транспорту, – довговічність визначається показниками термін служби і ресурс. На даний момент ряд засобів транспорту, що експлуатуються в різних областях промисловості, мають недостатній термін служби, що призводить до величезних збитків. Внаслідок тертя і зношування в машинобудуванні матеріальні втрати розвинених держав досягають 4-5% національного доходу. Опір тертя поглинає в усьому світі 30-40% вироблюваної енергії. Витрати на ремонт і технічне обслуговування машин найчастіше в кілька разів перевищують їх вартість.

Рішення завдання підвищення ресурсу деталей машин і обладнання за рахунок застосування високоміцних нержавіючих сталей і сплавів призводить до великих витрат, як на дорогі матеріали, так і на металорізальний і штамповий інструмент. Причому, незважаючи на те, що зі збільшенням вмісту легуючих елементів міцність, твердість і зносостійкість зростають, в той же час ймовірність крихкого руйнування підвищується. Для запобігання цьому необхідно застосування нових конструкційних матеріалів, що поєднують міцну, зносостійку і тверду поверхню з пластичної, вузької і тріщиностійкості основою. Цим пояснюється все зростаючий в даний час інтерес до покриттів. Збільшення застосування покриттів обумовлюється ще й тим, що оскільки руйнування деталі, як правило, починається з поверхні, з'являється можливість відновлення розмірів і властивостей деталей методами нанесення покриттів.

В умовах ринкової економіки перед авторемонтними підприємствами стоять наступні завдання: забезпечення транспортних засобів запасними деталями в необхідній кількості і заданої якості, скорочення часу ремонту автомобіля, зниження матеріальних і енергетичних витрат на ремонт. Ці завдання можливо вирішити при використанні ресурсозберігаючих технологій.

1. Аналіз трудомісткості поточних ремонтів машин.

Практика експлуатації машин і устаткування підтверджує, що найбільш поширеною причиною їх виходу з ладу, в 80 випадках з 100, є не поломка, а знос і пошкодження робочих поверхонь.

Розвиток конструкцій машин відбувається при постійному прагненні до збільшення їх продуктивності, що майже завжди супроводжується підвищенням механічної і теплової напруженості рухливих сполучень деталей. При цьому ставляться завдання досягнення високої надійності і довговічності машини, зниження її маси, скорочення витрат дефіцитних матеріалів. Відомо, що підвищення довговічності машини навіть в невеликому ступені веде до значної економії металу, зменшення витрат на виробництво запасних деталей; скорочується число і обсяг ремонтів, а отже, збільшується кількість фактично працюючих машин.

Оскільки при конструюванні машин враховуються і економічні чинники виробництва і експлуатації, конструктору необхідно проводити перспективний прогноз тривалості використання даної машини з урахуванням тривалості експлуатації машин попередніх моделей. У ряді випадків цей термін становить 25 років, а іноді і більше, наприклад, для автомобілів, тракторів, транспортних літаків, металообробних верстатів. При виборі конструктивного рішення необхідно враховувати майбутні витрати не тільки на виготовлення машини і її окремих вузлів, але і на обслуговування і ремонт. Останні витрати при тривалій експлуатації машини в кілька разів перевищують їх вартість.

Як приклад розглянемо дані Р.В. Кугеля про трудомісткість поточних ремонтів вузлів, агрегатів і систем двох моделей вантажних автомобілів масового виробництва (в частках від загальної суми витрат праці, коштів і матеріалів), табл. 1.1.

З наведених вище даних видно, що двигун, вузли і агрегати трансмісії і ходової частини автомобіля поглинають більше 70% трудомісткості поточних ремонтів.

Основні техніко-економічні показники двигунів транспортних засобів, що експлуатуються в Україні, на рівні більшості зарубіжних аналогів. Ресурс до першого капітального ремонту, встановлений заводом-виготовлювачем, повинен становити 8000-9000 год, тобто при середньорічній напруженості 1000 год двигун повинен працювати без капітального ремонту 8-9 років - термін, практично рівний амортизаційному терміну служби транспортної техніки і їх нормативам надійності.

Насправді, в процесі реальної експлуатації відбувається значне зниження потужностного-економічних показників двигунів.

Таблиця 1.1 – Трудомісткість поточних ремонтів вузлів, агрегатів і систем двох моделей вантажних автомобілів

Вузол, агрегат, система	Трудомісткість, час	
	Модель А	Модель Б
Двигун з системою охолодження і мастильної системою	36,5	41,4
Гальма	10,9	8,6
Електрообладнання	8,6	7,6
Коробка передач	6,1	5,9
Задній міст	5,4	5,1
Зчеплення	5,7	4,8
Підвіска автомобіля	8,3	7,3
Карданна передача	3,2	3,2
Рульове управління і передня вісь	3,0	3,5
Система живлення двигуна	2,9	2,9
Рама, кабіна, платформа, система випуску газів мають показники 2 і менше		

Так за наявними даними, фактичні середні напрацювання до ремонту для двигунів КамАЗ-740 становлять 110-160 тис. км., А між ремонтами 50-70 тис. км для різних умов експлуатації та термінів випуску двигунів, хоча повинен бути до капітального ремонту не менше 350 тис. км - для двигунів з робочим об'ємом до 11 л і 200 тис. км - для двигунів сільськогосподарського призначення того ж обсягу, тобто фактичні напрацювання двигунів до ремонту істотно нижче нормативного.

2. Основні причини відмов машин.

Характер розподілу відмов (поломок) нових і відремонтованих двигунів у міру збільшення напрацювання показує, що найбільша їх інтенсивність проявляється в початковий період експлуатації. Встановлено, що збільшення відмов відбувається при напрацюваннях 100-300 ч і надалі число відмов знижується.

Для нових двигунів таке явище можна пояснити недосконалістю технологічного процесу їх виготовлення, зокрема неправильним підбором зміцнюючих способів обробки, порушенням підробітки деталей.

Причинами малого ресурсу двигунів після ремонту є:

- низька культура виробництва ремонтних робіт;
- вибір неефективною технологією ремонту деталей;

- низька якість обробки поверхонь, що труться деталей;
- відсутність технологій і обладнання, що забезпечують необхідний рівень фізико-механічних властивостей матеріалу відремонтованих деталей;
- недостатня спеціалізація виробництва на ремонтних підприємствах з метою забезпечення якості відновлених деталей на рівні заводу-виготовлювача двигунів транспортної техніки.

В цілому сучасне ремонтне підприємство за рівнем організації та технічного оснащення ще не в повній мірі 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 по ГОСТ 18523-79 повинен бути не менше 80%).

Аналіз причин відмов машин показав, що найбільш часто зустрічається ресурсним відмовою є вихід через знос і руйнування деталей пари тертя шийка колінчастого вала - вкладиш підшипника ковзання, табл. 1.2.

Аналіз динаміки зміни зазорів в трибосистемі двигунів транспортних засобів також показав, що найбільш інтенсивний характер збільшення зазору поряд з цилиндропоршневою групою (ЦПГ) має сполучення кривошипно-шатунного механізму (КМШ), тобто шийка колінчастого вала - вкладиш підшипника ковзання. Залежність зміни зазору в КМШ від напрацювання представлені на рис. 1.1.

Проаналізувавши графічні залежності, представлені на рис. 1.1 можна зробити висновок, що характер кривих зміни зазорів в з'єднанні вкладиш - шийка колінчастого вала двигуна у нового і відремонтованого двигунів аналогічний, причому швидкість зношування

сполучень у двигунів після ремонту вище, ніж у нових.

Таблиця 1.2 - Кількісна оцінка ресурсних відмов двигунів

Найменування	Кількість, %				
	СМД-62	ЯМЗ - 238НБ	ЯМЗ - 240Б	Д-240	КамАЗ - 740
Вихід з ладу групи шийка колінчастого вала - вкладиш підшипника ковзання (КШМ)	67	55	45	40	56
Знос цилиндро - поршневої групи (ЦПГ)	14	20	35	44	24

Обрив поршня	14	15	15	10	8
Обрив шатуна і його болтів	1	10	5	6	9
Обрив болтів кріплення маховика	–	–	–	–	3

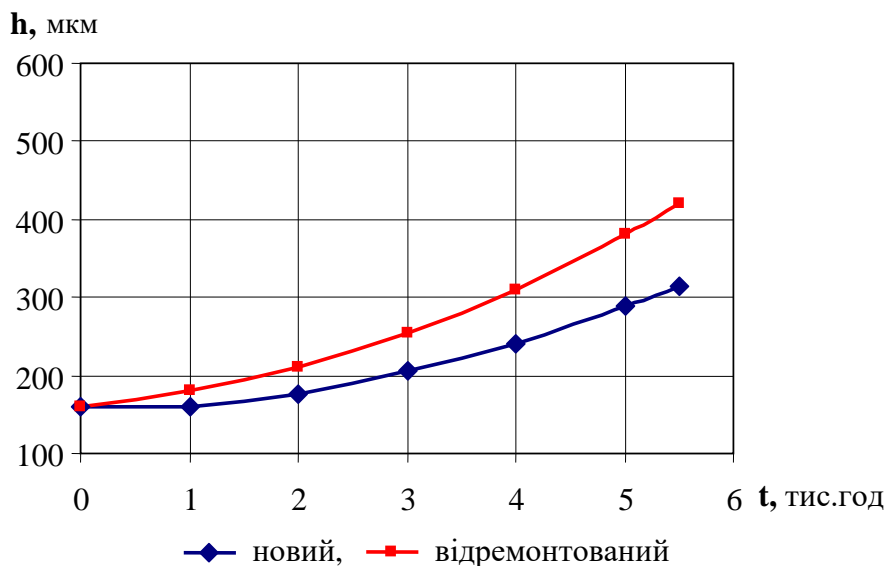


Рисунок 1.1 – Зміни зазорів в з'єднанні вкладиш - шийка колінчастого вала двигуна від часу напрацювання

Порівняння параметрів зносів деталей в міжремонтний і доремонтного період двигунів ЯМЗ-238НБ і ЯМЗ-240 свідчить про більш інтенсивному зміні технічного стану після ремонту. Ставлення швидкостей зношування деталей, що визначають ресурс, становить 1,28-1,32.

Однією з основних причин передчасного виходу з ладу деталей двигунів після капітального ремонту є якість відновлених деталей, яке визначається застосовуваної технологією ремонту і правильністю вибору способу відновлення і зміцнення зношених поверхонь деталі.

Статистичні дані величини зносу корінних і шатунних шийок для вантажних і легкових автомобілів наведені на рис. 1.2.

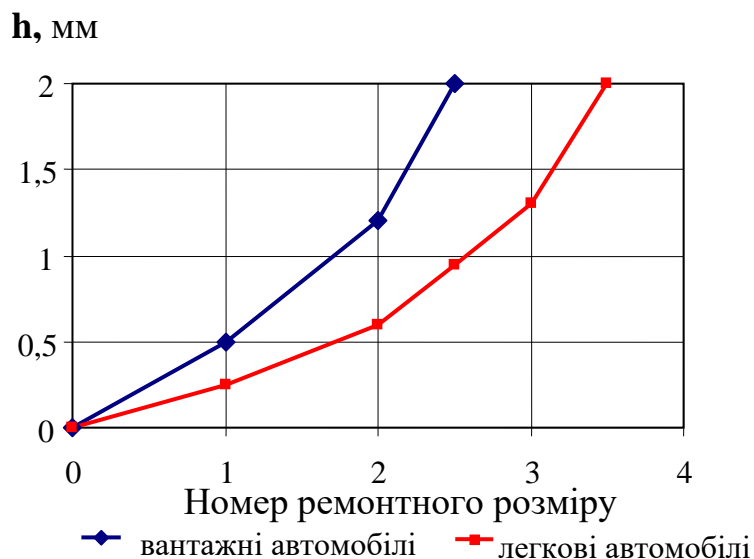


Рисунок 1.2 – Залежність зношування шийок колінчастого вала від кількості ремонтів

З отриманих залежностей видно, що знос корінних і шатунних шийок колінчастого вала, як для легкових, так і для вантажних автомобілів з кожним ремонтом зростає і, як наслідок, двигун виходить з ладу значно раніше встановленого часу. Причиною цього є неефективність технології зміцнення шийок колінчастого вала в процесі відновлення (ремонту). Як приклад розглянемо колінчаті вали двигунів КамАЗ-740 і 5Д49. Згідно конструкторської документації колінчаті вали (креслення № 740.1005020 і № 2-9ДГ.8.01-1) виготовляються з сталей 42ХМФА і 38ХНЗМА відповідно.

Після механічної обробки упрочнюються азотуванням на глибину $h = 0,25-0,4$ мм. Згідно з вимогами на ремонтні розміри для цих деталей різницю між номінальною і останнім ремонтним розміром (КамАЗ-740 - 4 р.р., 5Д49 - 12 р.р.) складає 1-3 мм, що значно перевищує товщину зміцненого шару.

В теж час, відповідно до прийнятої технології ремонту колінчастих валів, що не передбачається по кожного ремонтного розміру шийок виконувати операцію азотування. Це пов'язано з тим, що організація технології азотування в умовах ремонтних підприємств зажадає значних капітальних витрат і наявності відповідних фахівців в області хіміко-термічної обробки.

Поряд з проблемою підвищення ресурсу пари шийка колінчастого вала - вкладиш підшипника ковзання також велике значення має зниження втрат потужністю на подолання тертя в самій парі, оскільки при експлуатації двигуна частину потужності витрачається на внутрішні (механічні) втрати. В

даному сполученні втрачається 16-19% потужності двигуна.

Відомо, що на підтримку працездатності тракторів за термін їх служби витрачається коштів в 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 його маси від зносу складе 1 кг, а також підраховано, що до списання трактора Т-130 на запчастини для ремонту і технічного обслуговування потрібно витратити стільки ж металу, скільки він важить сам - 12000 кг. У 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. 1.3.

Таблиця 1.3 - 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
* У чисельнику - для тракторів з двигунами потужністю більше 55 кВт, в знаменнику з потужністю 55 кВт і менше.			
** У чисельнику з потужністю двигуна 51 кВт.			

В ідеалі ресурс деталей має дорівнювати ресурсу машини в цілому. Але ця умова на сьогоднішній день не виконується. Реальний же ресурс відремонтованої техніки в порівнянні з новою становить не більше 50% (хоча по ГОСТ 18524-85

повинен бути не нижче 80%), швидкість зношування деталей після ремонту зростає в 1,6-2,0 рази. Положення значно посилюється внаслідок зростання дефіциту і вартості запасних частин.

До 1990 року Україна щорічно отримувала близько 52 тисяч тракторів і парк тракторів становив 495 тисяч машин. У зв'язку зі спадом виробництва вже 2005 році в сільськогосподарських підприємствах України було 194,92 тисячі тракторів усіх марок. Таким чином за 15 років випуск тракторів скоротився більше ніж у 30 разів, а в 2009 році більш ніж в 100 разів. Відсоток використання виробничих потужностей тракторних заводів також знизився з 93% в 1985 році до 5,2% в 1997 році. А в 2009 році виробничі потужності підприємств були завантажені до 2%.

У зв'язку з цим в даний час в експлуатації питома вага тракторів випущених до 1985 року досягає 25%, випущених в 1986-1990 роках - 42%. Більше половини тракторів, які є в наявності, були випущені близько 20 років тому.

Так, наприклад, кількість тракторів марки «ПМЗ», які знаходяться в господарствах України становить близько 50 тисяч штук. З них більше половини потребує капітального ремонту. І якщо не вжити відповідних заходів, то до 2015 року вони залишаться в одиничних екземплярах в господарствах України. Трохи краща ситуація з тракторами «ХТЗ», проте за 8 місяців 2009 року господарствами України було придбано всього 150 штук цих тракторів. З огляду на сформовану економічну ситуацію потрібні нові системні підходи до збільшення ресурсу машин шляхом відновлення деталей визначають їх ресурс.

Як показує досвід виробництва тракторів на провідних заводах СНД, спочатку створювати конструкцію з високим рівнем надійності досить складно.

Відповідно ДСТУ 2863-94 програма по забезпеченню надійності повинна містити етап розробки нормативів довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності. Це основа управління процесом забезпечення необхідної надійності.

На основі аналізу впливу ряду факторів: навантаження, частоти обертання, ступеня забруднення мастильної середовища, конструктивних особливостей вузлів, сполучень на інтенсивність зношування і динаміку накопичення втомних пошкоджень, а також з урахуванням накопиченого досвіду підвищення працездатності деталей і вузлів на Харківському тракторному заводі була визначена номенклатура деталей шасі колісних тракторів типу Т-150К, що вимагають підвищення довговічності. Номенклатура містить 36 деталей. Переважаючі види пошкоджень: знос - 33 деталі, пітінг зубів - 2 деталі, спікання втулки з валом - 1 деталь. Якщо проаналізувати вибрані можливі шляхи підвищення довговічності, то на частку зміцнюючих технологій припадає 9 деталей (плазмового напилення - 3 дет., Хіміко-термічне зміцнення - 3 дет., Лазерне зміцнення - 3 дет.), Що становить понад 27%, а серед них плазмового напилення і лазерне зміцнення займають обсяг 67%.

Ресурс більшості машин залежить від відносно невеликої кількості деталей. Це дозволяє планувати обсяги їх відновлення, розробляти, випускати і впроваджувати спеціальне обладнання, створювати і розвивати спеціалізовані виробництва, нарощувати обсяги і розширювати номенклатуру відновлення зношених деталей.

Агрегати і вузли автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин являють собою сукупність безлічі деталей типу: вал, втулка, важіль, корпус, шестерня, що піддаються в процесі експлуатації дії різного роду навантажень і середовища, що призводять до незворотних процесів зносу їх робочих поверхонь.

При обробці статистичних даних по відмовах деталей автомобілів встановлено наступне їх розподіл: знос - 53,4%; руйнування (тріщини, поломка, обрив частини деталі) - 18,9%; деформація (розтягнення, скручування, вигин) - 10,4%, інші види дефектів - 17,3%. Аналізуючи дефекти деталей, що виникають при експлуатації, слід мати на увазі, що кожна окрема деталь схильна різному навантаженню, виду деформацій і умов змащення.

Контрольні питання

1. Що є найбільш поширеною причиною їх виходу з ладу деталей машин?
2. Частка від загальної суми витрат праці, коштів і матеріалів поточних ремонтів двигунів вантажних автомобілів?
3. Перерахуйте причини малого ресурсу двигунів після ремонту
4. Яка причина найбільш часто зустрічається ресурсного відмови машин?
5. Назвіть основні нормативи довговічності тракторів і їх основних складових частин?
6. Який ресурс відремонтованої техніки в порівнянні з новою повинен бути у відремонтованої техніки відповідно ГОСТ 18524-85?
7. Який вид дефекту деталей, що виникає при експлуатації, найбільш поширений?

Лекція 2. Характерні види зносу деталей машин.

План лекції

1. Аналіз видів зносу деталей машин.
2. Структурна схема і типові сполучення засобів транспорту.

1. Аналіз видів зносу деталей машин.

Дослідження показали, що значна кількість деталей автомобілів замінюється в експлуатації через знос. При дослідженні зношування машин в реальних умовах експлуатації виділяються два головних напрямки: встановлення якісних і кількісних закономірностей. В результаті якісного аналізу зношених поверхонь деталей визначаються причини низької опірності зношування і намічаються шляхи підвищення зносостійкості. Для всебічних досліджень якісних закономірностей зношування на підставі ймовірно-статистичного методу підбираються ті деталі, інтенсивність відмов яких була найбільшою. Так як деталі відмовляють з різних причин, то в цілях відбору деталей для досліджень з найбільш типовими дефектами визначають ймовірність повторення кожного дефекту, систематизують види зносу і поломок деталей по кожній машині.

При узагальненні видів зносу деталей, які виникають в експлуатації машин, виготовлених на різних заводах, встановлюються характерні дефекти, властиві машинам різного призначення. У поламаних деталях машин спостерігається абразивний знос, втомне руйнування поверхневого шару, контактна схоплювання, смятие і корозія. У числі дефектів зустрічаються тріщини, сколювання і викришування зубів, поломка зубів, скручування шліців і валів.

Абразивний знос превалює над усіма іншими: близько 40% деталей мають чисто абразивний знос і 50% - абразивний знос в поєднанні з іншими видами зносу і руйнувань поверхневого шару.

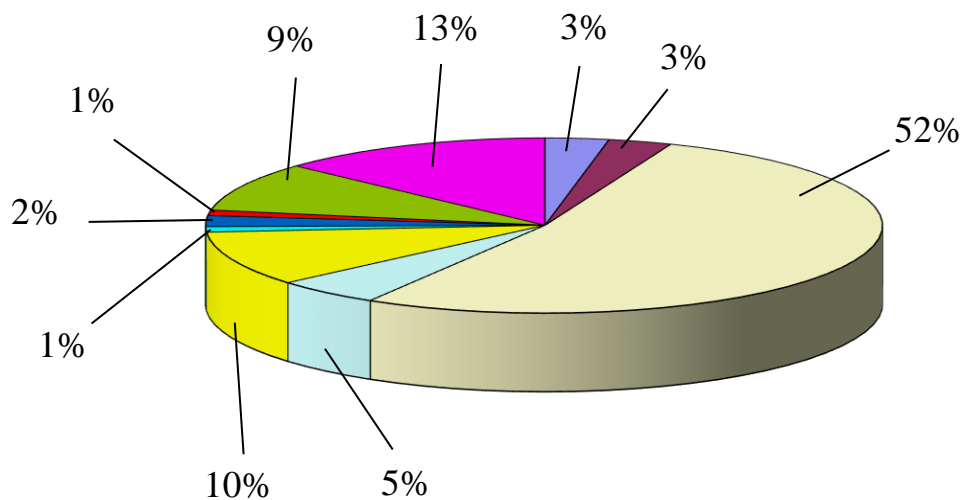
Дуже часто, на одній деталі і навіть на одній і тій же поверхні тертя

спостерігається кілька видів зносу і руйнування (табл. 2.1).

Знос поверхонь деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин розподіляється приблизно таким чином, рис. 2.1.

Таблиця 2.1 - Характерні види зносу і руйнувань деталей машин

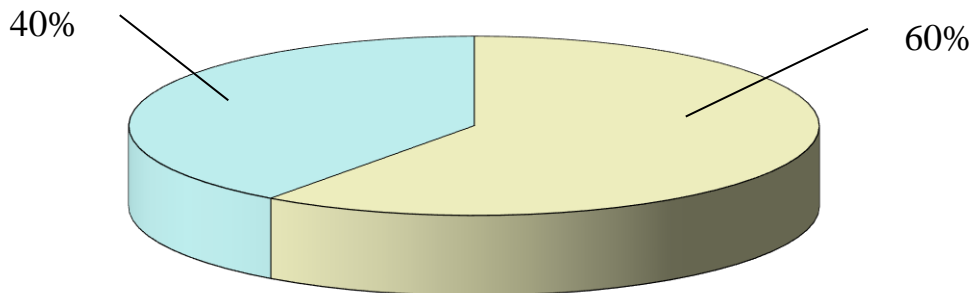
Вид зносу і руйнування	Можливість повторення, %
Змінання і абразивний знос зубів і шліців з'єднувальних муфт	14,8
Втомне руйнування поверхневого шару і абразивний знос зубів шестерень	15,8
Відколи і абразивний знос зубів шестерень	20,1
Абразивний знос деталей	38,8
Контактна схоплювання деталей	10,5
Корозія деяких деталей в поєднанні з різними видами зносу і руйнуваннями поверхневого шару	3,5–10



Циліндричні - 52%; конічні і сферичні - 3%; шліци - 3%; пази, канавки, лиски - 5%; різьблення - 10%; плоскі поверхні - 1%; зуби шестерень - 2%; профільні, фасонні поверхні - 1%; тріщини і злами - 9%; порушення геометричної форми - 13%.

Рисунок 2.1 - Знос поверхонь деталей автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин

При цьому 40% найбільш часто зустрічаемого дефекту - знос циліндричної поверхні - становить знос зовнішньої циліндричної поверхні, 60% - внутрішньої, рис. 2.2.



40% - знос зовнішньої циліндричної поверхні, 60% - внутрішньої

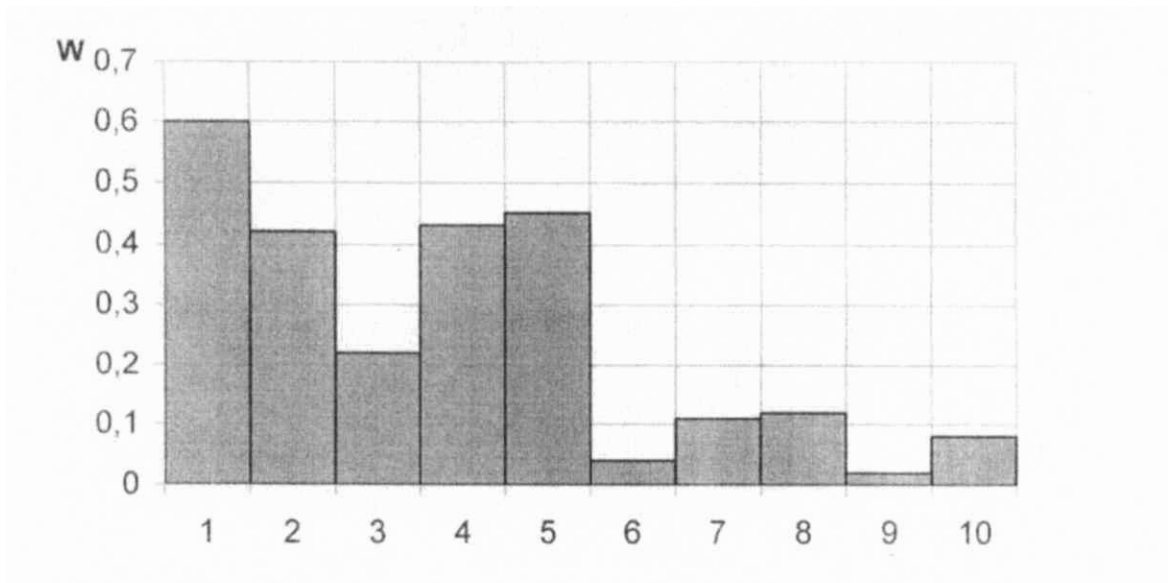
Рисунок 2.2 - Знос циліндричних поверхонь деталей автомобілів, тракторів, і сільськогосподарських машин

Таким чином, в цій сукупності 21% зношених деталей доводиться на деталі типу «вал». Це деталі типу тіл обертання з гладкою або ступінчастою зовнішньою поверхнею. Кількість і конструктивна значимість деталей типу «вал» є визначальними у забезпеченні працездатності техніки. До деталей типу «вал» в агрегатах і вузлах відносяться як власне вали (колінчастий, розподільний, генератора, приводу, передавальної коробки і т.д.), так і деталі, які мають конструктивні поверхні, характерні для валів (осі, шківни, втулки і ін.), і також ця група включає до 7% деталей з фланцями.

Широке застосування деталі типу «вал» в вузлах автотракторної техніки, різноманітність діючих сил і умов експлуатації визначають великий розкид в значеннях зносу їх робочих поверхонь (0,1 - 3,0 мм).

Порядку 70% валів виготовляються з вуглецевих якісних сталей (Сталь 45, 35, 50), близько 20% деталей типу "вал" з легованих сталей (40Х, 25ХГТ, 50Г, 18ХГТ), і 4% з вуглецевих марок сталей звичайної якості (переважно

деталі комбайнів), 6% з чавунів. Основні розмірно-точності характеристики деталей представлені на рис. 2.3.



1 - посадочні поверхні під підшипники кочення; 2 - посадочні поверхні під підшипники ковзання; 3 - поверхні нерухомих сполучень; 4 - шпонкові пази; 5 - зовнішня різьба; 6 - фланці;

7 - осьові отвори; 8 - допоміжні отвори; 9 - фасонні поверхні; 10 - лиски

Рисунок 2.3 - Розподіл відновлюваних конструктивних елементів по деталях з зовнішніми циліндричними поверхнями

Як видно з рис. 1.5, найбільша повторюваність зносу характерна для зовнішніх ділянок, причому в 60% випадків деталі підлягають відновленню.

Проведений аналіз літературних джерел дозволив скласти перелік деталей типу «вал», відновлюваних газополуменевим напиленням в даний час, табл. 2.2.

Технологія газопламенного напилення при відновленні деталей розробляється відповідно до їхніх характеристик і ставляться до експлуатації.

Перш за все, необхідно володіти інформацією про вихідний стан деталей і типі ушкоджень при експлуатації (дефектах і їх повторюваності, величиною зносу,

поведінці матеріалу на поверхні тертя), конструктивних параметрах деталей, що визначають типорозміри і можливість їх використання в сполученні, а також обладнання, що застосовується.

Таблиця 2.2 - Номенклатура основних деталей типу «вал», рекомендованих для відновлення і зміцнення газополуменевим методом

Номенклатура деталей	Причина виходу з ладу, необхідність зміцнення	Спосіб відновлення, зміцнення
Вали насосів і ін. машин	Знос посадкового місця під сальник. Знос більше 0,3 мм	Напилення з оплавленням ПГ-12Н-02
Колінчастий вал (шийки)	Знос, зміцнення	Газополум'яне напилення шнурової ма-лами
Розподільний вал	Знос кулачків і опорних шийок	Напилення ПГ-12Н-02
Ротор електродвигуна або генератора, якор стартера (пос. місця під подшип.)	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01
Кільця торцевих ущільнювачів насосів	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01, ПГ-12Н-02
Ось колодки переднього і заднього гальма	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01
Кулак разжимной зад нього гальма (шийки)	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-12Н-02
Шкворень поворотного кулака	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01
Валик педалей зчеплення і гальма	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01, ПГ-12Н-02
Валик важелів	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01,
Вал ведений шестерні	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-12Н-02
Приводу паливного насоса	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01
Ось масляного насоса коробки змінні пере-дач	Знос, зміцнення	Напилення ПГ-10Н-01, ПГ-12Н-02

Важливими є і вихідні показники якості, якими повинні володіти деталі (твердість, міцність, зносостійкість, шорсткість поверхні).

Необхідно відзначити, що найбільше число деталей (близько 83%) має знос до 0,6 мм. З них знос до 0,1 мм - 52%, до 0,2 - 12%, до 0,3 - 10%, до 0,4 - 1%, до 0,5 - 5% і до 0,6 - 3 %, що відповідає технологічним можливостям газопламенного способу нанесення покриттів.

2. Структурна схема і типові сполучення засобів транспорту.

Для розробки технології відновного ремонту засобів транспорту

представимо його структурну схему в наступному вигляді, рис. 2.4.

На рис. 2.5 приведена схема типових сполучень транспортних засобів. Типові сполучення являють собою не що інше, як створені в процесі розробки

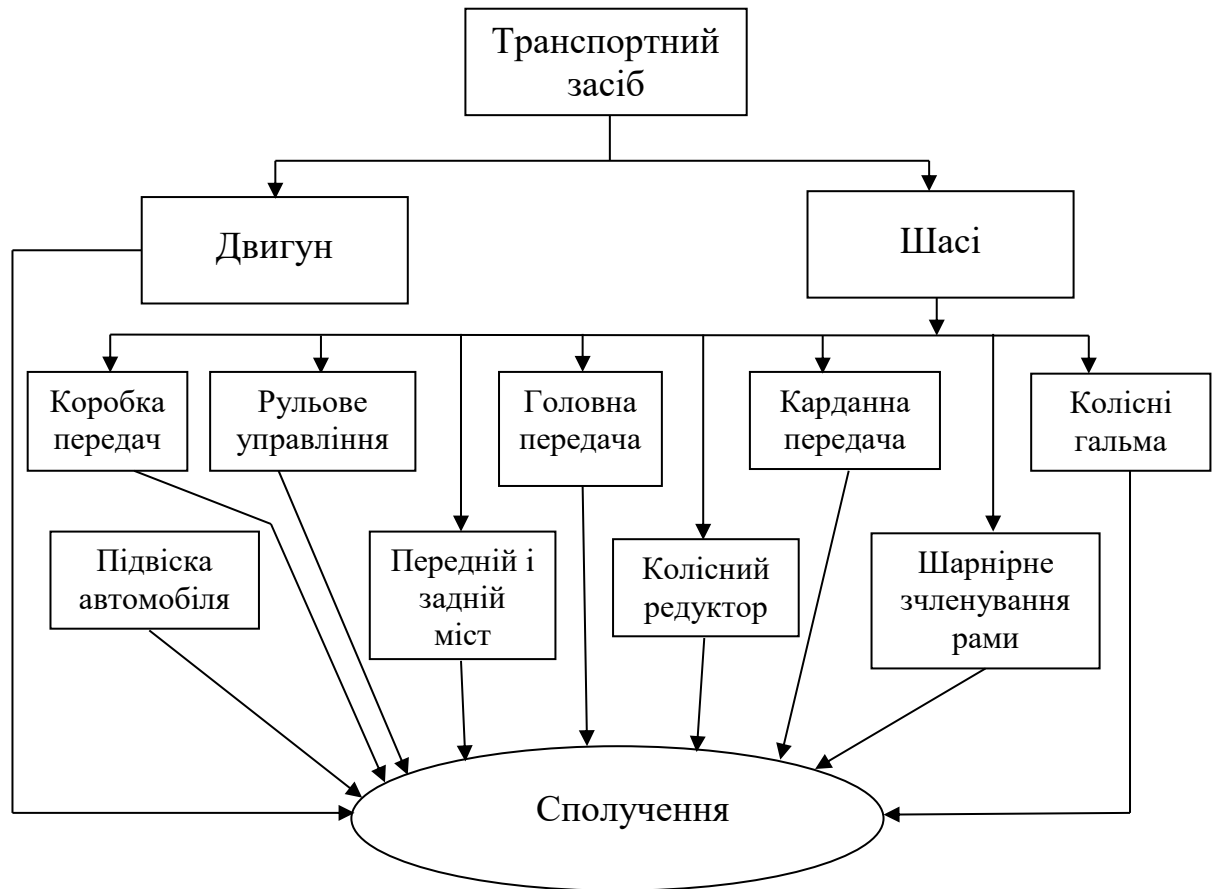


Рисунок 2.4 - Структурна схема засобу транспорту

конструкції трибологические системи, від довговічності роботи яких залежить ресурс транспортної техніки. З аналізу рис. 2.5 видно, що вузлами тертя, що визначають ресурс машини, є вузли, що містять пари тертя ковзання і кочення, а також рухливі нероз'ємні фрикційні з'єднання.

Серед стратегій експлуатації машин і устаткування найбільш прогресивною вважається експлуатація техніки по поточному стану, при якій управляє ремонтне вплив на працююче виріб формується на базі накопиченої інформації, отриманої в результаті моніторингу його поточного стану.

Допускається тривала експлуатація транспортних техніки, в зв'язку з економією коштів, без своєчасного ремонту, яка призводить до того, що деталі, що визначають ресурс роботи машин, часто мають величини зносів

близькі до критичних.

Під управлінням якістю відновлюваних деталей в процесі ремонту розуміється функція логістично організованих систем, структурно об'єднаних



Рисунок 2.5 - Схема типових сполучень коштів транспорту

для забезпечення розроблених програм та поставлених завдань збільшення життєвого циклу транспортної техніки.

Управління як система складається з підсистем:

- обґрунтування мети;
- технології, що забезпечують досягнення мети;
- принципи визначення технологій для оптимального досягнення мети.

Етапи управління якістю відновлюваних деталей при ремонті:

- накопичення інформації про динаміку зношування, характер пошкоджень, визначення номенклатури ушкоджуваних деталей;
- систематизація видів сполучень, їх конструктивних особливостей і умов експлуатації;
- визначення способу відновлення зношених поверхонь деталей, розробка технології відновлення;
- організація виконання робіт по відновленню деталей;
- збір і обробка інформації про результати роботи відновлених деталей;
- коригування технології відновлення за результатами їх роботи в експлуатації.

В даний час при ремонті транспортних засобів застосовується досить велика кількість способів відновлення зношених деталей. Кожен метод характеризується певні переваги і недоліки, має свою сферу застосування. Відновлювальні технології часто вимагають застосування спеціального обладнання та матеріалів. Наприклад, для газопламенного напилення покриттів необхідно мати спеціальну установку і матеріали у вигляді порошку або дроту.

У загальному вигляді будь-яка технологія відновлення складається з наступних операцій: підготовка деталі, підготовка відновлюваної поверхні, підготовка матеріалів покриття, нанесення покриття, механічна обробка.

Контрольні питання

1. Який знос деталей машин превалює над усіма іншими?

2. Як розподіляється знос поверхонь деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин?
3. Перерахуйте типові сполучення засобів транспорту?
4. Які загальні операції містить будь-яка технологія відновлення деталей машин?

Лекція 3. Вибір способу відновлення деталей машин.

План лекції

1. Критерії вибору способу відновлення.
2. Застосування газотермічних методів напилення.
3. Електрохімічні покриття.

1. Критерії вибору способу відновлення.

Вибір раціонального способу відновлення деталей машин, що визначають їх ресурс, - актуальна проблема для різних галузей народного господарства.

Перші роботи в цій області були виконані Шадрічевим В.А. Ним розроблені критерії та метод вибору оптимального способу відновлення деталей автомобільного транспорту. Суть методу полягає у використанні 3-х критеріїв: 2-х технічних (технологічний критерій або критерій застосовності і критерій довговічності) і 1-го економічного.

Технологічний критерій враховує технологічні можливості способу відновлення зношеної поверхні конкретної деталі. Він не має чисельного значення і встановлюється на основі накопиченого досвіду.

Критерій довговічності має чисельне значення, яке визначається за формулою:

$$K_{\partial} = \frac{T_{\epsilon}}{T_{н}} \quad (3.1)$$

де K_{∂} – критерій довговічності;

T_{ϵ} – термін служби відновленої деталі, год;

$T_{н}$ – термін служби нової деталі, год.

Економічний критерій характеризує витрати на відновлення деталі.

Вибір способу відновлення деталі проводиться за техніко-економічним критерієм, оцінюваного за виразом:

$$C_e < K_d \cdot C_n \quad (32.2)$$

де C_e – собівартість відновлення деталі;

C_n – собівартість нової деталі.

Дана методика вимагає наявності достовірної інформації про терміни служби відновлених і нових деталей. Для отримання цих відомостей необхідно провести порівняльні стендові або експлуатаційні випробування деталей, що є трудомістким і дорогим процесом.

У той же час методику професора Шадрічева В.А. можна розглядати як основоположною в удосконаленні методології по вибору і прийняттю оптимальних рішень у виборі технології ремонту деталей відновленням.

У роботах Курчаткіна В.В., Никифорова В.Г., Сумеркіної Ю.В. рекомендується використовувати ці ж критерії для орієнтовного вибору найбільш ефективного способу відновлення деталей механічного обладнання сільськогосподарської та судноремонтної техніки.

Для відновлення зношених деталей судових механізмів Молодцов Н.С. пропонує методику вибору оптимального способу відновлення і зміцнення. Вибір оптимального варіанту здійснюється за узагальненим комплексним критерієм, який включає наступні показники: коефіцієнт довговічності, середній ресурс відновленої деталі, рівень механізації технологічного процесу, вартість матеріалів, трудомісткість робіт, забезпеченість матеріалами та обладнанням, ступінь шкідливості умов праці та інші чинники. Об'єднання показників в єдиний мультиплікативний критерій проводиться шкалювання по функції бажаності Харрінгтона. Неметричні показники порівнюються за 10-бальною шкалою. Максимальне значення узагальненого комплексного критерію відповідає оптимального варіанту технології відновлення.

До недоліків цієї методики, як вважає автор, можна віднести наступне:

- правильність вибору в значній мірі обумовлюється досвідом і інтуїцією експертів, так як Неметричні показники, розташування

координатних осей і їх ціна ділення при масштабуванні всіх приватних показників визначаються експертним шляхом;

- відсутність вагових коефіцієнтів для приватних показників, особливо в разі значного розсіювання їх значень, при формальній згортку підвищує ймовірність необ'єктивності вибору.

Оптимізація технологічних параметрів є необхідною складовою концепції відновного ремонту. Оптимізації технологій відновлення деталей завжди приділялася велика увага в роботах дослідників. Так, проблема оптимізації технологій при відновленні і зміцненні деталей суднової техніки розглядається в роботах Сєдих В.І .. Він, використовуючи системний підхід, розробив технологічні основи створення оптимальних властивостей матеріалу поверхневого шару при відновленні деталей. Технологічні процеси відновлення і зміцнення представляються в системі «Т-М-Е» (технологія - матеріал - експлуатація). Поверхневий шар відновлюваних деталей, вважає автор, утворюється за рахунок сумарного об'єднання двох випадкових процесів: конструктивно-технологічного формування параметрів (КТФП) при ремонті і експлуатаційного формування параметрів (ЕФП). Завдання формування параметрів матеріалу в системі «Т-М-Е» вирішуються поетапно:

- вибирається технологічна схема формування властивостей матеріалу відновлюваних деталей з урахуванням умов експлуатації;
- проводиться ремонт деталі з наступним вивченням характеристик матеріалу поверхневого шару з метою визначення технологічних можливостей обраної схеми і комплексної оцінки на основі критерію W_t змін структурно-механічних, геометричних і техніко-економічних параметрів в процесі КТФП, по якій визначаються області властивостей матеріалу поверхневого шару.

Параметри працездатності матеріалу деталей в процесі ЕФП оцінюються за узагальненим показником працездатності W_e , швидкість зміни якого дозволяє встановити області значень фізико-механічних властивостей і геометрії поверхні відновлюваних деталей, а також уточнити

межі змін W_T .

Узагальнене взаємодія процесів КТФП, ЕФП і об'єкта ремонту характеризується експлуатаційно-технологічних показником $Q_{ет}$, який є безліччю критеріїв технологічних можливостей процесу формування і являє собою композицію функцій W_T та W_e . Для забезпечення надійної роботи деталей все зміни $Q_{ет}$ повинні знаходитися в межах заданого допуску $\Delta Q_{ет}$.

Процес формування параметрів матеріалу поверхневого шару відновлюваних деталей включає оптимізацію узагальненого параметра W_T , відбір за критерієм заданої працездатності W_e варіантів формування експлуатаційно-технологічних показників деталей $Q_{ет}$, визначення показників експлуатаційної надійності в залежності від зміни $Q_{ет}$. При цьому комплексні показники W_T , W_e и $Q_{ет}$ розглядаються як випадкові величини. Вибір оптимальних значень факторів процесу формування з області допустимих варіантів повинен забезпечити отримання параметрів матеріалу в заданих межах і з заданою вірогідністю. Для різних груп деталей наводиться приблизний перелік параметрів матеріалу поверхневого шару в процесах КТФП і ЕФП. Ця методологія дозволяє оптимізувати процеси КТФП і ЕФП як незалежно один від одного, так і у взаємозв'язку. У той же час необхідно відзначити, що оптимізація параметрів матеріалу поверхневого шару відновлюваної деталі і технологічних впливів на неї здійснюється в рамках обраної технології. Завдання вибору самої технологічної схеми відновлення вона не вирішує. Визначення комплексних показників W_T , W_e и $Q_{ет}$ є складним завданням.

Харламов Ю.О., розглядаючи питання оптимізації технологічних процесів газотермічного напилення, приносить структурну схему проектування зазначених процесів, яка складається з 7 етапів: збір інформації та підготовка вихідних даних для проектування з урахуванням конструктивних, організаційно-технічних і експлуатаційних факторів; виконання лабораторно-дослідних робіт та уточнення вимог до конструкції покриттів; розробка варіантів маршруту технологічного процесу із

застосуванням морфологічної матриці, що складається з етапів, а також способів обробки і нанесення покриттів газотермічним способом; логічну оцінку варіантів за критеріями економічності та надійності, оформлення остаточного варіанта. Стратегія робіт з технологічного проектування передбачає при необхідності повернення до попередніх етапів, а також паралельним їх виконанням. Розглядаються питання створення різноманітних таблиць технологічних маршрутів отримання покриттів на типових поверхнях і систем автоматизації проектування технологічних процесів.

Пропонована стратегія проектування технологічних процесів газотермічного напилення покриттів є цілком узагальненою для знову виготовлених деталей, але в той же час мало формалізованою. У той же час теоретичні основи цієї стратегії можуть використовуватися і при оптимізації технологічних процесів відновного ремонту деталей транспортних засобів газополуменевим напиленням.

В роботі Кулика Ю.Г. наводиться, розроблений на основі функціонального підходу і принципів логістики метод функціональних моделей технології ремонту для визначення комплексної техніко-економічної оцінки технічних рішень при виборі і проектуванні засобів технічного оснащення.

Баженова Н.Д. розроблена методика оптимізації засобів технологічного оснащення і технологічних процесів по продуктивності праці і рівнем механізації. За основний критерій оптимальності пропонує показник річного економічного ефекту.

Бурмістрова Є.Г. пропонує оптимізацію технологічних процесів виробляти за екологічними показниками. В якості критерію оптимальності приймається рівень екологічної безпеки U_e , що характеризує ступінь насиченості виробництва екозахисних технікою і технологіями і ефективність їх використання.

Способи відновлення деталей машин передбачають компенсацію

втрачених в процесі експлуатації поверхневих шарів основного конструкційного матеріалу (відновлення номінальних креслярських розмірів і експлуатаційних властивостей) шляхом нанесення на зношені ділянки нових мас (шарів) матеріалу тієї ж або іншої марки. У ряді випадків при відновленні використовують метод растачивания на наступний ремонтний розмір, при цьому змінюють сполучається деталь. Також потрібне проведення спеціальних обробок - відпалу для зняття напружень, зміцнення для підвищення зносостійкості.

У різних галузях народного господарства, в тому числі і при ремонті транспортних засобів, застосовується велика кількість методів і способів відновлення деталей. Основні з них наведені на рис. 2.1. Частка деталей, відновлюваних на підприємствах агропромислового комплексу наплавленням, газотермічним, електрохімічними та іншими, найбільш часто вживаними методами, становить:

- методами наплавлення 34,4%
- способами газотермічного напилення 26,1%
- електрохімічними покриттями 20,4%
- іншими методами 19,1%

Нанесення покриттів методами наплавлення займає перше місце серед використовуваних технологій.

Способи газотермічного напилення, що займають в даний час за обсягом відновлюваних деталей 2 місце, використовуються на підприємствах з середини 70 років. Слід зазначити, що основна частка деталей, відновлюваних газотермічним покриттями (94%), припадає на газополуменеve напилювання (ГПН).

Якість відремонтованих деталей визначається технологічними можливостями процесу відновлення, в результаті яких формуються фізико-механічні властивості і структурний стан матеріалу, геометрія і інші характеристики поверхні.



Рисунок 2.1 - Способи відновлення деталей засобів транспорту

Також важливі і супутні процеси, такі як поширення теплоти, зміна структури основного металу в зоні термічного впливу, виникнення залишкових напруг і деформацій. Для забезпечення надійного захисного дії покриття на основу необхідно прагнути послабити вплив залишкових напружень, кисню, дефектності покриття.

Найбільш поширеним способом відновлення зношених деталей вважається наплавка. В процесі експлуатації на важко навантажених ділянках деталей під дією високих питомих навантажень часто відбувається наклеп і зміцнення поверхневого шару, що призводять до підвищення твердості. Наплавлення дозволяє відновити геометричні розміри, отримати необхідну твердість. Зазвичай, при цьому способі відновлення необхідний попередній нагрів деталі. Температура підігріву вибирається залежно від хімічного складу і розмірів деталі. Так, для вуглецевих сталей в залежності від масової частки вуглецю температура підігріву становить від 100 до 400 ° С. У всіх випадках попередній нагрів, що входить в процес наплавлення, викликає поява залишкових напружень розтягу, які негативно впливають на міцність від втоми металу.

2. Застосування газотермічних методів напилення.

Для зміцнення і відновлення деталей машин і обладнання у нас в країні і за кордоном накопичений великий досвід по застосуванню газотермічних методів напилення, які за обсягом застосування для відновлення деталей знаходяться на другому місці після наплавлення.

За даними компанії "Arcos" (Брюсель) бурові коронки, напилені сумішшю порошків карбиду вольфраму з хромистих нікелем дозволили підвищити продуктивність буріння на 100%. Додавання 15-20% Cr в наносимое покриття забезпечує утворення захисного шару з гарним зчепленням при високих температурах.

Фірма «Metco» (Італія) широко застосовує плазмового напилення з метою захисту від зносу, корозії, а також для відновлення зношених деталей машин.

Фірма «Plasma - Technic» (Швейцарія) виробляє напилення сплавом OT3 ($Al_2O_3+3\%TiO_2$) або OT13 ($Al_2O_3+13\%TiO_2$) деталей текстильного обладнання, що значно підвищує їх стійкість проти зносу.

Широке застосування для газотермічного напилення отримали самофлюсуючі сплави системи Ni-Cr-B-Si.

Сплави системи Ni-Cr-B-Si успішно застосовують для збільшення зносостійкості пресового інструменту, деталей прокатного і волочильного обладнання.

У США і Бельгії фірма «OMSO» для підвищення корозійної стійкості та зносостійкості деталей широко застосовує сплави типу «CoImony» з широким діапазоном температур кристалізації і неясно вираженою точкою плавлення. Фірма «Metco» застосовує процес «Thermospray», що полягає в напиленні самофлюсуючі сплавів типу Ni-Cr-B-Si з подальшим оплавленням газопламенною пальником. У Франції для відновлення деталей машин використовують самофлюсуючі сплави A1 і A2. У Німеччині Ni-Cr-B-Si самофлюсуючі тверді покриття наносять на різну номенклатуру деталей (насосів, поршнів, систем важелів, поршневих кілець, клапанів та ін.) з метою підвищення зносостійкості.

Аналогічні сплави були розроблені в інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона і ВНІІТС в Україні, а також організовано виробництво ряду порошків за ліцензією фірми «Castolin» (Швейцарія) на

ВАТ «Торезтврдосплав». На Мінському автомобільному заводі впроваджено комплексний технологічний процес виготовлення кульових пальців рульового управління з зносостійким покриттям. Річний економічний ефект в результаті підвищення терміну служби пальців склав 700 тис. Рублів. Результати експлуатаційних випробувань двигунів з зміцненими гільзами показали наступне: знос гільз, зміцнення сплавів ПГ-СР2 і ПГ-СР4, в 4-5,5 рази менше в порівнянні з зносом серійних гільз. При цьому знос поршневих кілець і поршнів, що працюють в парі з зміцненими гільзами, в 1,6-2 рази менше в порівнянні з серійно випускаються заводом. Зносостійкість

клапанів, зміцнених Ni-Cr-B-Si твердими сплавами, в 3-5 разів вище серійно виготовляються з високолегірованих сталей. На Одеському заводі поршневих кілець впроваджено технологічний процес виготовлення компресійних поршневих кілець з плазмовим молібденовим покриттям. Економічний ефект від застосування верхніх компресійних поршневих кілець з молібденовим покриттям на двигунах Д-240 склав 1255 тис. Рублів. На ВАТ "Харківський тракторний завод" виконані роботи по газотермічного напилення ряду деталей тракторів типу Т-150, технологічної оснастки і обладнання. Для реалізації розробленої технології плазмового напилення деталей тракторів із застосуванням повітря в якості плазмообразуючого газу на ВАТ «ХТЗ» був організований спеціалізований ділянку плазмового напилення, оснащений обладнанням НВО «Комплекс» м. Черкаси. Також плазмового напилення успішно застосовується для підвищення жаростійкості, опору приварювання прес-форм лиття під тиском і форм відливання великих деталей, з метою теплоізоляції рознімних матриць для пресування, підвищення довговічності вимірювального, ріжучого і абразивного інструментів, для збільшення зносостійкості напрямних верстатів і вузлів тертя, ерозійної стійкості електродів іскрових розрядників і ін.

3. Електрохімічні покриття.

На третьому місці, після газотермічних способів напилення покриттів, знаходяться електрохімічні покриття (20,4%). Найбільш поширеним способом відновлення є хромування поверхні. Для відновлення ділянок вала під деталі, що встановлюються з натягом або зі шпонковими сполуками, використовується тверде хромування з твердістю HV 800-1000. Хромування дозволяє виключити процес захоплення металів, значно підвищити зносостійкість і стійкість до фреттинг-корозії, але майже в 3 рази знижує опір втоми сталей. Товщина хромового покриття повинна бути тільки в межах 0,5 мм на сторону, а при більшій товщині осад стає неміцним і менш зносостійким. Це обмежує можливість застосування хромування при

наявності зносів більше 0,5 мм. Гальванічне хромування зазвичай використовується для сталі з твердістю більше 52 HRC, що значно знижує область його застосування. Агресивність застосовуваних електролітів вимагає організації процесу нейтралізації відпрацьованих розчинів, наявності навченого персоналу і лабораторного контролю, що важко, що є складним для ремонтних підприємств.

Також набуло поширення відновлення зношених деталей методом осталивання. На відміну від хромування за допомогою осталивання виходять покриття практично будь-якої товщини з твердістю до 650 HB. Крім того, осталивання є більш продуктивним процесом відновлення. До недоліків методу слід віднести освіту напружень розтягу, що знижують втомну витривалість металу, а також необ-ходімості установки електролітичних ванн великого обсягу і агресив-ність застосовуваних електролітів, що вимагають подальшої нейтралізації.

Порівняльний аналіз переваг і недоліків наведених технологій відновлення деталей засобів транспорту, показав, що великий науковий інтерес представляє подальше вивчення і вдосконалення газотермічні методи нанесення покриттів.

Контрольні питання

1. Що враховує технологічний критерій?
2. Напишіть вираз для визначення критерію довговічності.
3. Напишіть вираз, за яким оцінюється вибір способу по техніко-економічним критерієм.
4. Яка частка деталей, відновлюваних на підприємствах агропромислового комплексу наплавленням, газотермічним, електрохімічними та іншими, найбільш часто вживаними методами, становить?
5. Назвіть найбільш поширений спосіб відновлення зношених деталей машин?
6. З якою метою застосовуються самофлюсуючі сплави системи Ni-Cr-B-Si при відновленні деталей машин?

Лекція 4. Класифікація відновлюваних деталей і характеристики способів газотермічного напilenня.

План лекції

1. Основні способи класифікації деталей.
2. Способи газотермічного напilenня.
3. Класифікація матеріалів для нанесення покриттів.

1. Основні способи класифікації деталей.

Для проектування технологічного процесу відновлення деталей по маршрутної технології необхідно мати відомості про поєднання дефектів і способи їх усунення, а при груповому методі ще й класифікацію деталей по конструктивно-технологічної однорідності і дефектів. Класифікація відновлюваних деталей має на меті скорочення обсягу робіт при організації відновного виробництва шляхом приведення його до типового або модульного видам як найбільш прогресивним в техніко-економічному відношенні.

Ідеї типізації технологічних процесів заклав

А.П. Соколовський. Під типізацією розуміють створення процесів обробки груп конструктивно подібних деталей. Для їх виготовлення вибирають оптимальні маршрути, засоби технологічного оснащення і форми організації виробництва. Метод ґрунтується на класифікації процесів, в основі якого лежить класифікація деталей. Клас об'єднує деталі, пов'язані спільністю технологічних задач.

Однотипні деталі обробляють за типовими технологічними процесами, які характеризуються одноманітністю змісту і послідовності виконання більшості технологічних операцій та переходів для груп деталей із загальними конструктивними ознаками. Технологічна типізація в відновному виробництві набула широкого поширення у вигляді типових технологічних процесів з нанесення покриттів.

Метод групової обробки металів, був розроблений

С.П. Мітрофановим на основі класифікації деталей. Метод встановлює однотипні способи обробки з використанням бистропереналаживаємих засобів технологічного оснащення для груп однорідних по конструктивно-технологічними ознаками деталей. Принципова відмінність типовою технологією від групової в тому, що перша характеризується спільністю послідовності і змісту операцій при обробці типовий групи деталей, а друга - спільністю обладнання і технологічної оснастки при виконанні окремих операцій або при повному виготовленні групи різнорідних деталей.

І.І. Луневскім розроблена укрупненняя класифікація деталей важких гусеничних тракторів. Стосовно до авторемонтному виробництва відома класифікація автомобільних деталей запропонована В.А. Шадрічевим. До гідності цієї класифікації слід віднести поділ деталей не тільки по класах, але і групам з метою систематизації та наукового обґрунтування застосовуваних способів відновлення.

Класифікація включає 11 класів з різним числом груп в кожному класі залежно від різноманітності структурних характеристик деталей і способів відновлення. Деталі розподілені на класи і групи з урахуванням спільності габаритів, геометричної форми, матеріалу і термообробки, дефектів різних робочих поверхонь, застосовуваних способів відновлення, механічної обробки і ін.

Результати досліджень за класифікацією деталей автомобілів, тракторів і сільгоспмашин представлені в роботах Е. Л. Воловика,

А.С. Зенкина, Н.В. Молодика, Г.А. Малишева та інших вчених.

Всі поверхні деталей, які підлягають відновленню, підрозділяються на виконавчі, основні, допоміжні, технологічні і вільні.

Виконавчі поверхні призначені для ви-полнення службового призначення, наприклад, поверхні лемешів, відвалів, дискових ножів та інших робочих органів сільськогосподарських, землерийних і меліоративних машин.

Основними поверхнями деталі спираються на поверхності інших деталей і займають в механізмах цілком певне положення, передбачене конструкцією.

Допоміжні поверхні служать опорою для інших деталей і визначають їх положення в механізмі.

Технологічні поверхні призначені для базування деталей при виготовленні і відновленні.

Вільні поверхні з'єднують всі поверхні в одне ціле і не стикаються з поверхнями інших деталей.

Деталі характеризуються формою, розмірами, матеріалами, масою, збалансованістю, а також допусками (форми і розташування поверхонь): прямолінійності, площинності, круглості, циліндричної, паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, позиційного відхилення, перетину осей, радіального і торцевого биття, нахилу, форми заданого профілю. В процесі експлуатації крім зміни форми, розмірів, маси і розташування поверхонь виникають тріщини, обломи, відколи, забоїни, порушується балансування.

З усіх відновлюваних поверхонь зовнішні і внутрішні циліндричні поверхні складають - 53,3%, різьбові - 12,7%, шліцьові - 10,4%, зубчасті - 10,2%, плоскі - 6,5%, всі інші - 6,9%.

Крім параметрів відновлюваних поверхонь (форма, розміри, фізико-механічні властивості, точність, шорсткість, цілість, вид термічної або хіміко-термічної обробки, наявність і матеріал покриття) для вибору способу відновлення дуже важливими факторами є: тип сполучення, види тертя і відносного переміщення поверхонь в процесі експлуатації машин. Ці чинники об'єднуються загальним поняттям - показники умов робіт

$$K_{n.o} = n_d / n_o \quad (4.1)$$

де n_d – число деталей з даним дефектом із загальної кількості продефектованих;

n_o – загальне число продефектованих ремонтпридатних деталей.

На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що відомі класифікації

враховують технологічну спільність деталей і механічної обробки, класифікації підрозділяються деталі на класи і групи з урахуванням спільності габаритів, геометричної форми, матеріалу і термообробки, дефектів різних робочих поверхонь, застосовуваних способів відновлення, механічної обробки. Однак відомі класифікації не розглядають сполучення, як взаємодія деталей з різних матеріалів і обробкою поверхонь, не враховують інтенсивністю зносу. Цим ускладнюється вибір найбільш ефективної технології відновлення конкретної деталі з техніко-економічних позицій.

Найбільше скорочення видів відновлюваних об'єктів дає перехід від деталей до їхніх елементів і розробки відповідної класифікації. Елементом деталей відповідають характерні види зносів, що сполучаються елементи деталей, види навантажень і ін.

Організація процесів відновлення деталей, заснована на використанні класифікації елементів сполучаються деталей, є найбільш економічно ефективною. Оскільки передбачає розробку технологічних модулів відновлення елементів різнотипних деталей, з яких формуються технології відновлення конкретних деталей. Основний методологічний принцип полягає в застосуванні обмеженого числа типових модульних технологічних операцій відновлення елементів деталей до відновлення деталей різних класів і груп.

Пропонується класифікація сполучень, що складається з 10 класів модулів і 8 підкласів, які враховують крім перерахованих вище факторів також вид навантаження, швидкість і величину зносу деталей, табл. 4.1. Запропонована класифікація дозволяє групувати модулі сполучених деталей по 10 класам і 8 підкласам і для них розробляти модульні технологічні процеси відновлення. Формування модульного технологічного процесу відновлення деталей є компоновку типових модульних технологічних процесів відновлення модулів поверхні. Кожен блок процесів забезпечений відповідним типовим устаткуванням, інструментом і контрольно-вимірювальними засобами. Модульний процес об'єднує в собі переваги одиничного процесу, тому що враховує особливості конкретної деталі; типового процесу, оскільки зберігає ідею типізації на рівні відновлення модуля поверхонь; групового процесу, тому що об'єднує різні деталі в групи навіть в одиничному виробництві, і надає процесу гнучкість. Модульна технологія дозволяє звести до

мінімуму різноманітність технологічних процесів і засобів технологічного оснащення, виключити дублювання робіт у області технологічної підготовки виробництва, впровадити потокову організацію відновлення деталей в дрібносерійному і одиничному виробництвах.

Таблиця 4.1 - Класифікація типових модульних сполучень деталей засобів транспорту

Клас		Характеристика сполучення і коди підкласів							
Код	Сопряженіє	Матеріал деталі	Обробка поверхні	матеріал сопрягає мой деталі	Обробка поверхні	Середо вище	Вид навантаження	Основний вид зношування	Швидкість (мкм / год) / величина зносу деталі (мм)
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Шийка вала - внутрішнє кільце підшипника кочення	Сталь 45, 30X, 40X, 38XC, 20XГНМ, 40XНМА, 35XГС	Хіміко-термічна обробка, закалка, низькотемпературний відпустк	Сталь ШХ15	HRC \geq 60	—	Циклічні нормальні сили до циліндричних поверхонь	Окислювальний	\leq 0,003 \leq 0,1
2	Вал - підшипник ковзання	Сталь 45, 30X, 40X, 38XC, 20XГНМ, 40XНМА, 35XГС	Хіміко-термічна обробка, закалка, низькотемпературний відпустк	Бабіт, АСМ, Бронза КСМц, ОЦС, Чавун, сталь	— — — — — Без ТО	Масло	Циклічні нормальні сили до циліндричних поверхонь	Окислювальний	\leq 0,04 \leq 0,15
3	Ось - втулка	Сталь 45, 40X	Загартування при T = 830-8400C і відпустк при T = 540-6000C	Сталь 45	Закалка ТВЧ HRC \geq 50	Масло	Поперечні сили, згинальні моменти	Абразивний, корозійно-механічний	\leq 0,032 \leq 0,13

Продовження таблиці 4.1

		1	2	3	4	5	6	7	8
4	Гніздо такана, корпусу - зовнішнє кільце підшипника кочення	КЧ35-10, КЧ37-12, сталь 45, 40Х	НВ 163–241 НВ 241–285	Сталь ШХ15	HRC ≥ 60	–	Циклічні нормальні сили до циліндричних поверхонь	Окислювальний	$\leq 0,01$ $\leq 0,07$
5	Стакан-корпус	КЧ35-10, КЧ37-12, сталь 45, 40Х	НВ 163–241 НВ 241–285	КЧ35-10, КЧ37-12, сталь 45, 40Х	НВ 163–241 НВ 241–285	–	Передача навантаження при переміщенні в межах зазору	М'яття поверхонь контакту	$\leq 0,005$ $\leq 0,06$
6	Шип хрестовини - голчастий підшипник	Сталь 20Х, 20ХГНТР, 12Х2Н4А	Цементация на глибину 0,8-1,9 мм, гарт і відпустк, HRC 56-65	Сталь ШХ15	HRC 58–65	Консистентна смазка	Контактні навантаження	Окислювальний	$\leq 0,011$ $\leq 0,26$
7	Шлицеве з'єднання	Сталь 45, 30Х, 40Х, 45Х, 45Г2	Загартування і відпустк, HRC 45-55	Сталь 45, 40Х, 18ХГТ, 30ХГТ, 20ХНМ	Цементация на глибину 1,0-1,8 мм, гарт і відпустк, HRC 56-65	Масло	Динамічне навантаження	Окислювальний	$\leq 0,2$ $\leq 0,6$
8	Поверхня валу - кромка манжети ущільнювальної	Сталь 45, 40Х, 40ХГТ, 40ХНМА, 35ХГС	Загартування і відпустк, HRC 42-55	Гума марки 7-ІРП, 1068-3с, 7-ІРП-1068-24, 51-1455, ІРП-1314-1	Твердість по Шор А 65-86 ум. од.	Масло	Моменти і поперечні сили, змінні за величиною	Окислювальний і абразивний	$\leq 0,02$ $\leq 0,75$

Продовження таблиці 4.1

		1	2	3	4	5	6	7	8
9	Зубчасті колеса	Сталь 40Х, 30ХГТ, 20ХНМ, 18ХГТ, 12ХН3А	Цементация на глибину 0,9-1,5 мм, гарт і відпустк, HRC 56-65	Сталь 40Х, 30ХГТ, 20ХНМ, 18ХГТ, 12ХН3А	Цементация на глибину 0,9-1,5 мм, гарт і відпустк, HRC 56-65	Масло	Контактні навантаження	Молекулярно-механічний	<u>0,015-0,061</u> ≤0,5
10	Деталь - робоче середовище	Сплав Л53, сталь ШХ15, 65Г, 60ХГ, 40Г2Р	Хіміко-термічна обробка, заалка, низькотемпературний відпустк	Грунт	—	Абразивна	Нормальні і дотичні сили	Абразивний	<u>≤0,16</u> <u>1,3 для ножів</u> <u>культиватора-</u> <u>плоско-</u> <u>різу</u>

Виробництво з відновлення деталей, організоване на модульному принципі має гнучкість, мобільністю, здатністю швидко і з мінімальними витратами переходити на випуск нових виробів. Застосування модульних технологій найефективніше при підготовці відновного виробництва для великої номенклатури деталей.

В процесі розробки модульного технологічного процесу описуються окремі оптимізовані технології відновлення окремих елементів деталей типових модульних сполучень у часовій послідовності, з яких формується модуль.

Всі розроблені технологічні модулі відновлення елементів деталі вписують у відповідні блоки операцій відновлення деталей.

2. Способи газотермічного напилення.

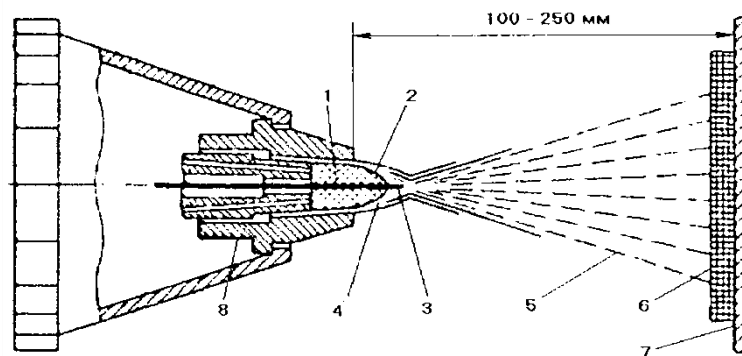
Сутність процесів газотермічного напилення покриттів полягає в освіті спрямованого потоку дисперсних частинок напилюваного матеріалу, що забезпечує перенесення їх на поверхню виробу при оптимальних для формування шару покриття значеннях температури і швидкості.

Газополум'яне напилення. Спосіб газопламенного напилення покриттів відрізняється компактністю, простотою використовуваного обладнання та його мобільністю, що дозволяє проводити роботи по відновленню деталей безпосередньо у замовника. Він рекомендується для напилення порошкових матеріалів: металів, сплавів, композицій і оксидів (рис. 4.2), а також покриттів з металевого дроту, гнучких шнурів, зволікання (рис. 4.3).



П - покриття; С - струмінь напилюваного матеріалу і продуктів згоряння
газової суміші

Рисунок 4.2 - Газополум'яне напилення порошкового матеріалу



1 - дріт, дротик або гнучкий шнур; 2 - полум'я;
3 - кінець дроту, який оплавляється; 4 - повітряний струмінь;
5 - частинки металу; 6 - покриття; 7 - основа; 8 – насадка

Рисунок 4.3 - Газополум'яне напилення дротом

При газополуменеве напилювання покриттів ацетилен і його замітники: пропан, водень, а також рідке пальне можуть використовуватися в якості пального газу. Окислювачем є кисень або повітря. Температура полум'я продуктів згоряння залежить від складу суміші. Основні властивості горючих газів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Основні властивості горючих газів, що застосовуються для газопламенного напилення покриттів

Газ	Щільність, кг/м ³	Температура, °С			Нижча теплота згоряння , МДж/м ³	Темпера- тура полум'я в суміші з киснем, °С
		Плав- лення	Кипін- ня	Крити- чна		
1	2	3	4	5	6	7
Ацетилен	1,09	-81	-83,6	35,7	100,8	3100– 3200
Н-бутан	2,54	-139	-0,6	152	111,2	2700– 2900
Водень	0,084	-259,2	-252,8	-239,9	19,2	2400– 2600
Метан	0,67	-182,5	-161,7	82,1	32,0	2400– 2700
Оксид вуглецю	1,16	-205	-191,5	-140,2	12,2	2600– 2800
Пропан	1,88	-189,9	-42,6	96,8	83,2	2700– 2850
МАПП (метил- ацетилен- пропаде)	1,78	–	–	120	83,2	2800– 2900

Швидкість частинок напилюваного матеріалу залежить від співвідношення кисню і пального газу в суміші, кількості газу, який обдуває полум'я,

віддалі від зрізу сопла, кількості порошку, який вдувається в полум'я, його щільності, гранулометричного складу і інших компонентів, і знаходиться в межах 20-80 м / с.

Детонаційне напилення. Метод детонаційного напилення покриттів використовує енергію вибуху газових сумішей. Цим способом можна наносити покриття будь-якого типу з низькою пористістю. Схе́ма процесу детонаційного напилення представлена на рис. 4.4.

В камеру 3 водоохолоджуваного стовбура 2 діаметром 25 мм подають

кисень і ацетилен в строго певних кількостях; стовбур направляють на оброблювану деталь 1 (рис. 4.4, а). Потім через спеціальний отвір в камері подають порошок напилюваного матеріала, наприклад карбіду вольфраму, з розміром частинок 44 мкм (рис. 4.4, б). Газову суміш, в якій в підвішеному стані знаходиться напилюваний порошок, підпалюють електричною іскрою від запалу 4 (рис. 4.4, в).

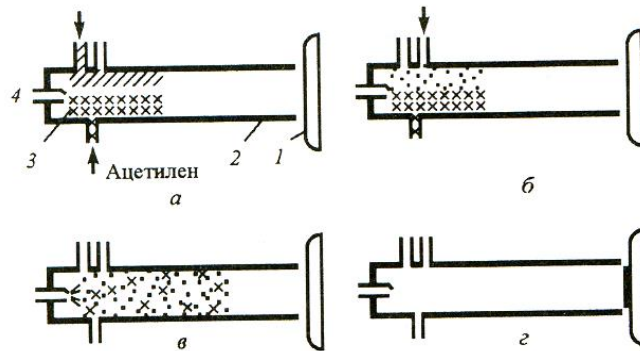


Рисунок 4.4 - Схема процесу детонаційного напилення

В результаті вибуху суміші відбувається виділення теплоти і утворюється ударна хвиля, яка розігріває і розганяє частки порошку.

Їх швидкість на відстані 75 мм від зрізу стовбура може досягати 820 м / с. Якщо на цій відстані помістити оброблювану деталь 1, то при попаданні на неї частинок буде виділятися велику кількість теплової енергії, і температура напилюваного порошку може збільшитися до 4000 ° С. В результаті цього на деталі 1 утворюється покриття (рис. 4.4, г).

Після вибуху суміші горючих газів для видалення продуктів горіння здійснюють продувку стовбура азотом. Процес відрегульований таким чином, що він повторюється з частотою 3 - 4 рази на секунду.

Детонаційне напилення використовують в основному для отримання твердих зносостійких покриттів з карбідів, що містять невеликі кількості металевих сполучних, а також різних оксидів і їх сумішей. За один цикл напилення товщина покриття приблизно становить 6 мкм. Установка

работає до досягнення необхідної товщини покриття, яка на практиці зазвичай дорівнює 0,25 - 0,3 мм. Покриття, отримані детонаційними напиленням, відрізняються великою щільністю і високою міцністю зчеплення з основою.

Оскільки на кордоні між покриттям і підкладкою спостерігається зварювальний ефект, вони мають міцне зчеплення. Однак робота детонаційних установок супроводжується сильним шумом, і вартість покриттів дуже висока.

Плазмове напилення. При виготовленні виробів спеціальної техніки широке застосування отримав метод плазмового напилення покриттів. Останнім часом цей метод, що відрізняється високими техніко-економічними показниками, використовується в машинобудуванні, енергетиці, хімічній, нафтогазовій, дорожньо-будівельній, сільськогосподарській техніці, а також на підприємствах міського та комунального господарства.

Плазмовий розпилювач був розроблений в 1956 р фірмами Gianini Corp. і UC на основі робіт Сміта (пат. 2157498, 1939 г.), який запропонував пристрій для нанесення покриттів, що містить катод у формі стержня і анод у формі сопла.

Плазмового напилення здійснюється за допомогою плазмового струменя. Потік плазми характеризується наступними показниками: температура в ядрі – 20 000-30 000 К, швидкість струменя – 300-2000 м / с.

Процес плазмового напилення здійснюють за схемою, представленої на рис. 4.5, де h_1 – відстань від зрізу сопла до напилюваної поверхні; $T_ч$ – температура частинки; $T_п$ – температура підкладки; q – тепловий потік, що надходить в підкладку.

Між водоохолоджуваними катодом і анодом від джерела електроживлення запалюється електрична Потужнострумові дуга. Залежно від конструкції плазмотрона величину струму можна регулювати від 80 до 600 А. У дугового проміжок подають плазмообразуючий газ (аргон, азот, суміш $Ar - N_2$, повітря і т. д.). При контакті з дугою газ нагрівається і,

прискорюючись, виходить з сопла у вигляді струменя низькотемпературної плазми. Температуру струменя можна регулювати від $2 \cdot 10^3$ до $15 \cdot 10^3$ К. Швидкість струменя в залежності від режиму проведення процесу може змінюватися від 200 до $2 - 3 \cdot 10^3$ м/с.

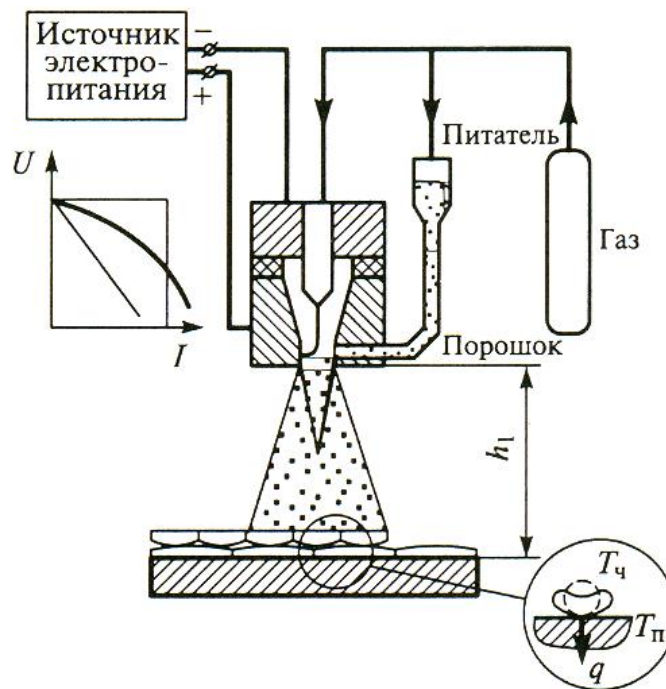
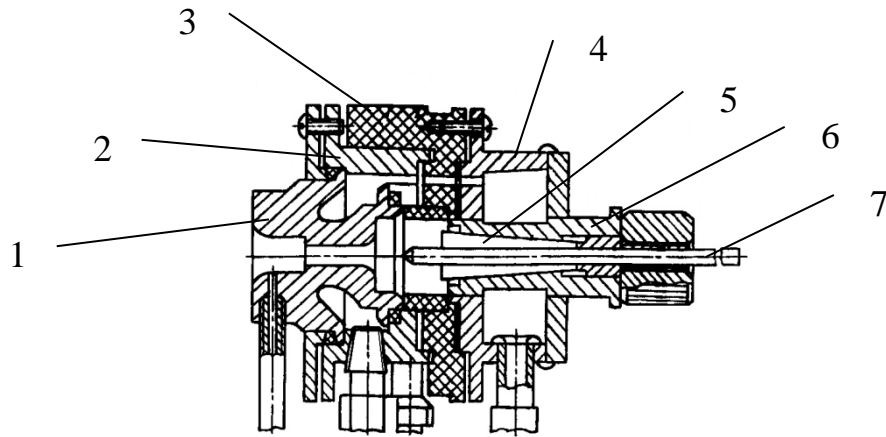


Рисунок 4.5 – Схема процесу плазмового напилення

В струмінь від спеціального живильника подають порошок, який прискорюється, розплавляється і осідає на підкладці, утворюючи покриття. Варіюючи параметрами напилювання (величина струму, витрата і склад плазмообразуючого газу, розмір часток і їх витрата, дистанція напилення і т. Д.), Можна в досить широких межах змінювати властивості покриттів. На рис. 4.6 приведена схема плазмового розпилювача.

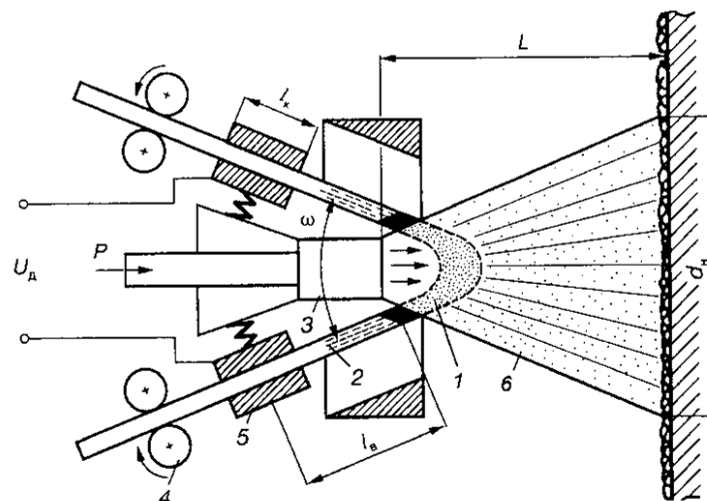
Процес плазмового напилення від газопламенного відрізняється вищими температурою в плазмовому струмені і швидкостями частинок, а також інертністю середовища.



1 - сопло; 2 - стакан; 3 - корпус; 4 - кришка; 5 - цанга; 6 - втулка; 7 – катод

Рисунок 4.6 – Схема плазмового розпилювача

Електродугове наплення. При електродуговій металізації утворення потоку напилюваних частинок відбувається за рахунок плавлення матеріалу, що розпилюється багатоамперні дугою, і диспергування його швидкісний струменем газу (рис. 4.7).



1 - електрична дуга; 2 - дрiт; 3 - сопло; 4 - механiзм подачi дроту; 5 - контактнi пристрої; 6 - струмiнь напилюваногo матерiалу;

l_s – довжина вильоту дроту; U_d – електрична напруга

Рисунок 4.7 – Схема електродугового наплення

Цей процес в основному використовується для напилення корозійностійких і зносостійких покриттів з металів. Можливе отримання біметалевих покриттів псевдосплавів, а також покриттів зі спеціальними властивостями при використанні дроту з різних матеріалів або порошкового дроту, яка складається з металевої оболонки і порошкової серцевини.

При електродугової металізації площа активних плям на електродах обмежена невеликим діаметром дроту, яка використовується для напилення. Горіння відбувається в умовах дії потужної швидкісної струменя газів. Це призводить до стискання стовпа дуги. Особливістю горіння дуги є мінливість її довжини.

Основними характеристиками електродугового напилення є висока продуктивність процесу, яка може досягати 50 кг/год і високий енергетичний ККД розпилення, який може бути 0,7-0,9.

До недоліків можна віднести необхідність використання для напилення тільки дрові матеріали.

У табл. 4.3 наведені характеристики і основні параметри методів газотермічного напилення.

Аналіз літератури показав, що найбільш доступним і широко використовуваним способом в практиці машинобудівних і сільськогосподарських підприємств різного масштабу є газополуменеве напилювання (ДПН). Фахівці фірми «Metco» вважають газополуменеве напилювання дуже перспективним методом зміцнення і відновлення деталей, який дозволяє продовжити термін їх служби в 2 - 20 разів (в залежності від призначення деталі).

Газополуменеві покриття задовольняють запити багатьох ремонтних виробництв. Перевага його полягає в простоті технології та доступності обладнання, технологічної гнучкості застосування до різних типорозмірів деталей, забезпеченні необхідної продуктивності нанесення покриттів при відносно невеликій трудомісткості,

Таблиця 4.3 – Характеристика і основні параметри методів газотермічного напилення

Параметр	Спосіб напилення			
	Газополум'яний	Плазмовий	Детонаційний	Електро-дугова металізація
Продуктивність процесу, кг / год	8 ... 10 (самофлюсуючихся сплавів)	3...50	0,1...6,0	12..14
Стоимость 1 ч работы установки, у.е.	2,60	9,06	8,71	4,24
Коефіцієнт використання напилюваного матеріалу	0,8–0,95	0,7–0,9	0,3–0,8	0,8–0,95
Площа покриття зразка, напилюного за 1 год роботи, м ²	0,45–1,00	0,20–0,50	0,10–0,30	6,00–8,00
Температура частинок матеріалу, К	До 2000	До 3000	До 3000	До 2000
Швидкість частинок матеріалу, м / с	20–80	50–200	600–1000	50–240
Товщина покриття, мм	0,1–2,5	0,1–50	0,05–0,5	0,5–2,5
Міцність зчеплення $\sigma_{сц}$, МПа	10–25	10–50	75–150	5–15
Пористість, %	16,0–35,0	2,0–15,0	0,5–1,0	10,0–30,0
Вид покриття*	1, 2	2, 3, 4	3, 4, 5	1, 2, 3
Недоліки	1. Низька міцність зчеплення покриття та основи. 2. Висока пористість покриття.	1. Шум. 2. Інтенсивне ультрафіолетове випромінювання. 3. Висока вартість обладнання 4. Великі експлуатаційні витрати.	1. Може виникнути залишкова деформація від дії імпульсної хвилі. 2. Великий до (140 ДБ) шум. 3. Висока вартість обладнання.	1. Небезпека перегріву і окислення напилюваного матеріалу при малих швидкостях подачі дроту. 2. Значне вигорання легуючих елементів, що входять в напилюваний сплав.

* 1 - антифрикційні для роботи в умовах змащення; 2 - ущільнювальні; 3 - зносостійкі при високотемпературному сухому терті; 4 - теплоізоляційні; 5 - зносостійкі при особливо жорстких умовах експлуатації покриттів

можливості регулювання середовища полум'я (окисне, відновне, нейтральне), відносно низький рівень шуму і світлових випромінювань, що дозволяють працювати оператору без додаткових засобів захисту.

Також з порівняльного аналізу газотермічних методів напилення покриттів можна зробити висновки, Газополум'яний спосіб напилення має такі переваги:

- температура нагріву напилюються частинок матеріалу не перевищує 2000 К (при детонаційному напиленні – 3000 К, плазмовому напиленні – 3000 К, електродугової металізації – 2000 К), що дозволяє напилюють матеріали з низькою температурою плавлення, в тому числі і полімери;

- швидкість частинок менше, ніж при детонаційному і плазмовому методах, що призводить до зниження втрат напилюваного матеріалу за рахунок диспергування при ударі об напилювану поверхню;

- ежекція повітря в струмінь мінімальна в порівнянні з іншими способами, що позитивно позначається на сплаві напилюються частинок;

- серед методів газотермічного напилення покриттів газополуменеве є найбільш низьковартісні;

- обладнання, що застосовується компактно, мобільно, не складно в експлуатації.

Крім того, з огляду на високу питому відсоток деталей, відновлюваних ДПН, стає актуальним проведення робіт по його вдосконаленню шляхом інтегрування з іншими технологіями з мета підвищення якості напилених покриттів. Найважливішим критерієм якості газополуменевих покриття є його міцність зчеплення з основою. На сьогоднішній день застосовується ряд методів підвищують міцність зчеплення і щільність напилюваного покриття, проте, вони не завжди прийнятні для відновлення зношених деталей і можуть забезпечити задану якість відновленої поверхні за такими критеріями, як зносостійкість, пористість, рівень залишкових напружень, рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Способи підвищення міцності зчеплення покриття з основою.

Тому напрямок вдосконалення методу газополум'яного напилення шляхом інтегрування з іншими технологіями є актуальним і вимагає подальшого вивчення.

Техніко-економічні показники способів нанесення покриттів і їх застосовність при відновленні деталей машин.

Орієнтовні техніко-економічні показники способів нанесення покриттів і їх застосовність при відновленні з'єднань деталей машин представлені в таблицях 4.4, 4.5.

Коефіцієнт продуктивності ($K_{\text{п}}$) розрахований як відношення основного часу, витраченого ручним способом ($t_{\text{рн}}$), до основного часу відновлення умовної деталі порівнюваним способом (t_i):

$$K_{\text{п}} = t_{\text{рн}} / t_i \dots \dots \dots (4/1)$$

За основний час відновлення умовної деталі прийняті витрати часу, що включають попередню підготовку, нанесення покриття і наступну механічну обробку.

При розрахунку основного часу відновлення умовної деталі електролітичними способом деталей брали за існуючими нормами завантаження катодного штанги для ванни середнього розміру. ня прийнято одночасне нарощування чотирьох деталей.

Коефіцієнт техніко-економічної ефективності (K_e) оцінювали з урахуванням продуктивності відновлення умовної деталі за такою формулою:

$$K_e = K_{\text{п}} e_a / 100, \dots \dots \dots (4.2)$$

де E_a - економія при відновленні умовної деталі, %.

На відміну від способів нанесення гальванічних покриттів при

напиленні і для способів наплавлення необхідно передбачати допуски на механічну обробку (0,4-1,5 мм на сторону) і, як наслідок, враховувати неминучість суттєвих втрат металу наплавлення.

Таблиця 4.4 - Техніко-економічні показники методів нанесення покриттів на деталі машин

Методи нанесення покриттів	Продуктивність методу *, кг / год	Товщина покриття, що наноситься, мм	Припуск на механічну обробку, мм	Частка основного металу в наплавленому, %	Міцність зчеплення, МПа	Деформація деталі після нарощування	Мінімальний діаметр деталі, мм	Зниження опору втоми, %	Коефіцієнт продуктивності Кп *	Коефіцієнт техніко-економічної ефективності Ке
Наплавка:										
під шаром флюсу	2-15	0,8-10	0,8-1,5	27-60	27-60	значна	45	15	1,45-1,62	0,436
вибродугова	0,5-4	0,3-3	0,7-1,3	8-20	500	незначна	10	35	0,85-0,72	0,25
у середовищі CO ₂	1,5-4,5	0,5-3,5	0,7-1,3	12-45	550	значна	15	15	1,85-1,77	0,403
електроконтакт на порошковими дротами	1-2,8	0,2-1,5	0,2-0,5	Відсутнє	300	незначна	15	25	2,3-2,1	0,66
ручна газова плазмова	2-9	1-8	0,6-1,2	12-35	600	значна	20	15	1,75-1,54	0,4
ручна дугова	0,15-2	0,4-3,5	0,4-0,8	5-30	480	---		25	0,73-0,58	0,138
аргонодугова	1-12	0,2-5	0,4-0,9	5-30	490	незначна	12	12	2,2-1,9	0,56
	0,4-4	0,5-4	1,1-1,7	20-40	500	значна		30	1	0,314
	0,3-3,6	0,2-2,5	0,4-0,9	6-25	450	незначна	12	25	2,1-1,7	0,171
Напилення:										
газополуменеве плазмове	0,4-4	30-80	0,3-0,7	Відсутнє	25	Відсутнє		30	1,68-1,47	0,39
	0,8-12	40-90	0,03-0,06	То же	45	те ж	10	25	1,76-1,68	0,4
Гальванічні покриття										
хромовання	0,007-0,085	0,3-0,06	---	450		---	5	20	0,32-0,22	0,087
залізнення	0,011-0,9	0,15-0,2	---	400		---	12	25	1,93-1,77	0,637

* Показники наведені для покриттів товщиною до 1 мм

Таблиця 4.5 - Вживання різноманітних методів відновлення для типових з'єднань деталей машин

Метод відновлення	Типи з'єднань деталей						
	Вал- підшипник ковзання	Вал- підшипник кочення	Вал- уцільнення	Шліцьове з'єднання	Цапфа- втулка	Шків - гальмівна колодка (стрічка)	Каток - ланка гусені
Наплавка:							
під флюсом	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+
в захисних газах	+	+	+	+	+	+	(+)
порошковими	+	+	+	(+)	+	+	+
дротами							
вібруючим	-	+	+	-	(+)	-	-
електродом							
в рідині							
плазмова	(+)	+	+	-	+	-	-
електроконтактна	(+)	(+)	(+)	-	(+)	-	-
електродними	-	-	-	-	-	(+)	+
стрічками							
електрошлакове	-	-	-	-	-	(+)	+
хромування	(+)	(+)	(+)	-	(+)	-	-
Залізнення	(+)	(+)	(+)	-	(+)	-	-
Металізація	(+)	+	+	(+)	-	-	-
напиленням							
Електроіскрове	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-
нарощування							
Електромеханічна	-	+	-	-	-	-	-

обробка								
Заливка рідким металом	-	-	-	-	-	(+)	-	-
Застосування додаткових ремонтних деталей	-	(+)	-	-	-	-	-	-
Застосування полімерів	-	(+)	-	-	-	-	-	-

3. Класифікація матеріалів для нанесення покриттів.

Матеріал напилюваного покриття визначається виходячи з умов експлуатації виробів. В даний час розроблено і випускається промисловістю велику кількість різних матеріалів для нанесення покриттів.

Класифікація матеріалів для нанесення газотермічних покриттів представлена на рис. 4.9.

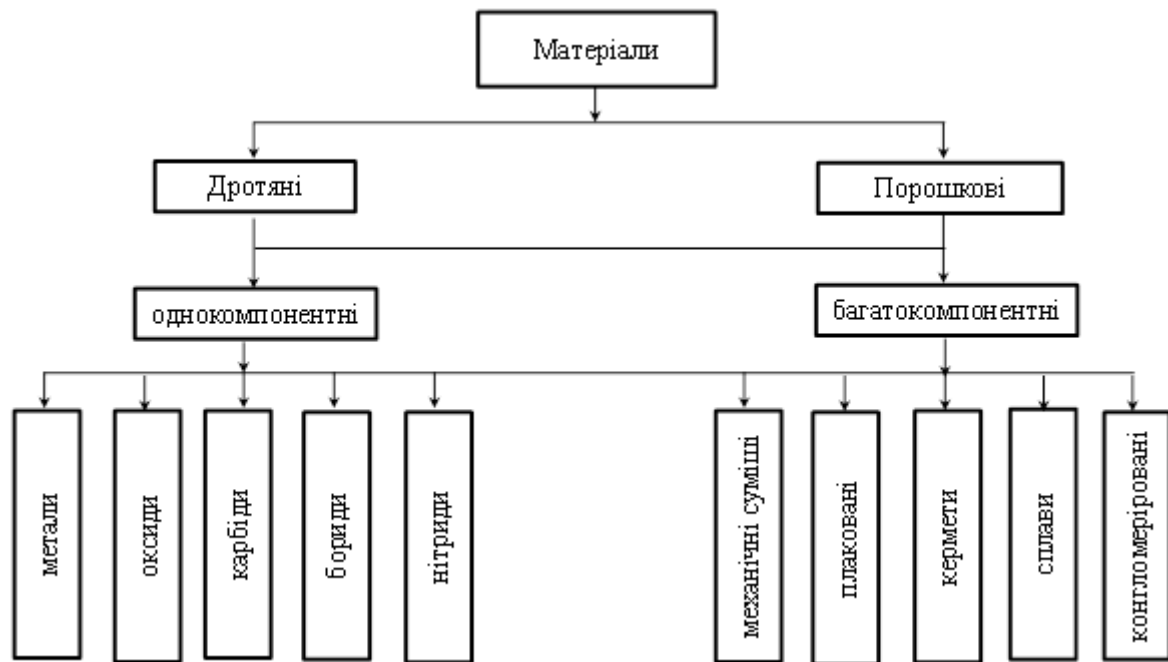


Рисунок 4.9 - Класифікація матеріалів для нанесення газотермічних покриттів

Для напилення покриттів використовують порошки як загальнопромислового призначення, так і спеціалізовані з розміром частинок від 5 до 200 мкм.

Спеціалізовані порошки часто випускають трьох класів: ОМ - особливо дрібні; М - дрібні і С - середні. Фракційний склад частинок в межах одного класу для різних матеріалів неоднаковий. Як правило, клас ОМ включає в себе частинки діаметром 40-100 мкм, клас М - 100 - 280 мкм, клас С - 280-630 мкм.

Для підвищення зносостійкості деталей найбільш часто застосовують порошки на основі нікелю і кобальту. Є кілька меднофосфористих сплавів, що володіють самофлюсуючі властивостями, які проявляються лише на чистій міді і бронзах. З огляду на меншу схильність до утворення холодних і гарячих тріщин, нижчу температуру плавлення і сприятливе поєднання ряду фізико-механічних і експлуатаційних характеристик самофлюсуючі сплави системи Ni-Cr-B-Si при більш низькій вартості можна вважати їх застосування для зміцнення і відновлення в багатьох випадках більш раціональним, ніж сплавів на основі кобальту.

Перші самофлюсуючі матеріали були розроблені фірмою «Well colmonoy corporation» (США) в результаті додаткового легування ніхрому бором і кремнієм. Температура плавлення отриманих при цьому сплавів складала 1250-1370 К, що значно розширило області їх використання в якості покриттів на різних матеріалах. Істотний вплив змісту легуючих елементів на структуру та властивості сплаву дає можливість досить в широкому інтервалі регулювати твердість, зносо- і корозійну стійкість, а також деякі інші характеристики. В даний час в промислово розвинених країнах розроблено близько 50 самофлюсуючі сплави системи Ni-Cr-B-Si.

В Україні аналогічні сплави були розроблені в інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона і ВНІІТС, а також організовано виробництво ряду порошків за ліцензією фірми «Castolin» (Швейцарія) на ВАТ «Торезтвердосплав», табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Хімічний склад порошкових матеріалів виробництва ВАТ «Торезтвєрдосплав»

Марка порошку	Склад компонентів % за масою									
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni	Co	Cu	W	Al
ПГ-10Н-01	14,0–20,0	2,8–4,2	4,0–4,5	3,0–7,0	0,6–1,0	Ост.	–	–	–	–
ПГ-10Н-04	–	1,2–1,8	2,3–2,8	До 2,0	До 0,2	Ост.	–	–	–	–
ПГ-10К-01	21,0–25,0	1,2–1,8	0,8–1,3	До 2,0	1,3–1,7	28,0-32,0	Ост.	–	3,5–4,5	–
ПГ-12Н-01	8,0–14,0	1,7–2,8	1,2–3,2	2,0–5,0	0,3–0,6	Ост.	–	–	–	–
ПГ-10Н-02	10,0–16,0	2,0–4,0	3,0–5,0	3,0–6,0	0,4–0,8	Ост.	–	–	–	–
ПГ-19М-01	–	–	–	До 4,0	–	–	–	Ост.	–	8,5–10,5
ПТ-НА-01	–	–	–	–	–	Ост.	–	–	–	4,0–5,5
ПТ-19Н-01	8,0–14,0	1,7–2,8	1,2–3,2	2,0–5,0	0,3–0,6	Ост.	–	–	–	0,8–1,3

Контрольні питання

1. Що слід розуміти під типизацією технологічних процесів?
2. У чому суть методу групової обробки?
3. У чому принципова відмінність типовий від групової технології?
4. Що називається дефектом?
5. У чому перевага модульної технології?
6. Сутність процесу газопламенного напилення, його переваги і недоліки?
7. Сутність процесу детонаційного напилення, його переваги і недоліки?
8. Сутність процесу плазмового напилення, його переваги і недоліки?
9. Сутність процесу електродугового напилення, його переваги і недоліки?
10. Назвіть основні способи підвищення міцності зчеплення покриття з основою?
11. Класифікація матеріалів для нанесення газотермічних покриттів.

Лекція 5. Удосконалення методів газотермічного напилення.

План лекції

1. Газополум'яне напилення, інтегроване з щіткової обробкою.
2. Високошвидкісне напилення.

1. Газополум'яне напилення, інтегроване з щіткової обробкою.

Зменшити або усунути недоліки газотермічних методів напилення (недостатня міцність зчеплення покриття з основою, пористість покриття, зниження втомної міцності виробів та ін.) Можна як технологічними заходами - застосуванням дискретних покриттів, створенням нових композиційних матеріалів і ін. Так і інтеграцією газотермічного напилення з іншими методами обробки поверхні: металевими щітками, електроерозійної обробкою, накладенням коливань на заготовку, СВС процесом, лазерною обробкою, епі амірованієм і ін. (рис. 5.1).

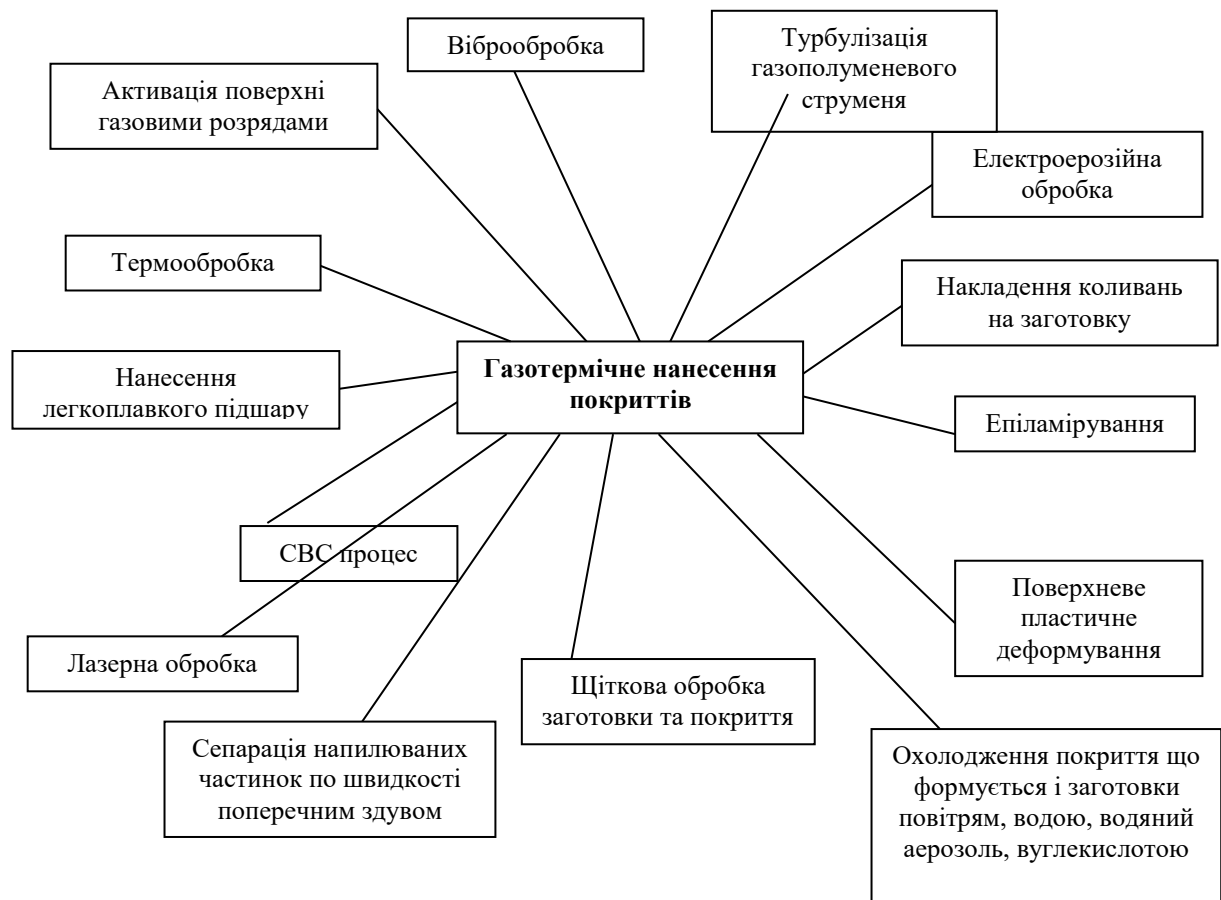


Рисунок 5.1 - Схема інтегрування газотермічного напилення покриттів з іншими методами обробки поверхні

Одним з перспективних методів, є процес обробки поверхні металевими щітками, який пропонується застосовувати замість струменево-абразивної обробки напиляемой поверхні і в процесі напилення для активування напилюються шарів відновного покриття. Щеточну обробку можна розглядати як суму елементарних процесів дряпання. У свою чергу процес дряпання можна вважати подібним процесу різання з негативним переднім кутом.

Металева щітка являє собою дротяний інструментом з високою щільністю (70-80%) набивання ворсу. Ворсинки виготовляються з кордної дроту по ГОСТ 3875-83 або сталевого пружинного дроту з вмістом вуглецю не більше 0,7% і міцністю близько 2 ГПа. Діаметр ворсинок вибирається залежно від необхідної шорсткості поверхні.

Шорсткість оцінювалася параметрами R_a , R_{max} , S_m , S , t_p (ГОСТ 2789-73), а також R_p , $R_{вист}$, $R_{вп}$, θ , V , y_1 . Параметри R_a , R_{max} , t_p визначаються за допомогою профілографа-профілометра, параметри S_m , S оцінюються по профілограми поверхні, параметри R_p , $R_{вист}$, $R_{вп}$, θ , V , y_1 обчислюються за методиками, викладеним в [199-201].

Висота згладжування R_p визначається як відстань від лінії виступів до середньої лінії. Середні радіуси виступів $R_{вист}$ і впадин $R_{вп}$ визначаються за формулами:

$$R_{вист} = \frac{9R_a^2 S_m^2}{128(R_p - 0,5R_a)^3}, \quad (5.1)$$

$$R_{вп} = \frac{9R_a^2 S_m^2}{128(5,5R_a - R_p)^3}, \quad (5.2)$$

де R_a – середнє арифметичне відхилення від профілю;

S_m – середній крок нерівностей профілю.

Середній кут нахилу бічної стінки профілю можна вирахувати за формулою:

$$\theta = \arct \frac{2R_{\max}}{S}, \quad (5.3)$$

де R_{\max} – найбільша висота профілю;

S – середній крок виступів профілю щодо опорної довжини.

Параметри опорної кривої V , b_1 обчислюються за формулами:

$$V = 2t_{cp} \frac{R_p}{R_a} - 1; \quad b_1 = t_{cp} \left(\frac{R_{\max}}{R_p} \right)^V, \quad (5.4)$$

де t_{cp} – відносна опорна довжина профілю на рівні середньої лінії.

Експериментальні дослідження можливості застосування щеточної обробки в якості підготовки поверхні під напилення покриттів здійснювалися на зразках зі сталі 10, на поверхні яких була окалина після прокатки. Як інструмент застосовували циліндричну металеву щітку зовнішнім діаметром 160 мм, шириною робочої частини 60 мм, з діаметром ворсинок 0,45 мм і вільної їх довжиною 30 мм. Шорсткість поверхні R_z становила 5-22 мкм в залежності від режимів щеточної обробки. Результати визначення міцності зчеплення випробуванням на відрив алюмінієвого покриття, нанесеного за допомогою металізатора ЕМ-12М, показали збільшення міцності зчеплення на 20-32% при щеточній обробці по порівнянні з дрібоструминного.

На основі вищевикладеного можна припустити, що інтегрування щеточної обробки з газополуменевим напиленням забезпечить отримання необхідної шорсткості оброблюваної поверхні в широких межах і дозволить підвищити міцність зчеплення покриття з основою, знизити його пористість і рівень залишкових напружень.

Застосування технології щеточної обробки напиляемой поверхні і наносяться шарів дозволяє істотно скоротити час надходження обробленої ділянки в зону напилення шляхом поєднання процесів щеточної обробки і

напилення. При діаметральном розташуванні щітки і газополум'яної пальника зазначений час можна розрахувати за виразом

$$t = \frac{30}{n_a}, \quad (5.5)$$

де t – час, через який оброблений щіткою ділянку надійде в зону напилення, с;

n_0 – кількість обертів напилюваної деталі в хв.

При напиленні, наприклад, деталей діаметром від 20 до 200 мм n_0 повинні складати 287-29 об / хв, для забезпечення швидкості поверхні в зоні напилення 300 мм / с. Тоді час, через який оброблена поверхня надійде в зону напилення, розраховане за формулою (5.5), становитиме лише 0,1 - 1,0 с. Відомо, що товщина оксидної плівки на залозі і його сплавах становить 50-100Å, час утворення оксидної плівки становить $2,4 \cdot 10^{-9}$ секунди при тиску 760 мм. рт. ст.

Застосування щеточної обробки замість традиційної струменевої обробки абразивом дозволяє висунути гіпотезу про зменшення товщини окисної плівки на поверхні основи через короткого проміжку часу між обробкою і надходженням її в зону напилення, що в свою чергу полегшує процес очищення поверхні за рахунок ударного тиску p_u напилюваних частинок і покращує фізичний контакт матеріалів частинки і основи. В результаті цього міцність зчеплення напилюваного покриття з основою повинна підвищитися.

Різання металів є складним процесом, що включає ряд фізико-хімічних явищ: механічних, теплових, адгезійних, дифузійних і ін., Які супроводжують взаємодію інструменту з матеріалом оброблюваної деталі в умовах великих контактних тисків і температур.

В енергетичному балансі процесу різання 90% і більше доводиться на роботу пластичної деформації матеріалу оброблюваної деталі. Тому прийнято вважати процес різання це процес превалює пластичного деформування. Від характеру протікання пластичної деформації і механізму

деформаційного зміцнення залежать точність, шорсткість і якість поверхневого шару оброблюваної деталі.

Тому основним теоретичним напрямком, що визначає рішення задачі вибору оптимальних умов взаємодії ріжучого інструменту і матеріалу оброблюваної деталі, є механіка процесу різання матеріалів.

Відомо, що додаток до металу зовнішніх сил викликає рух дислокацій. Причому, першими починають рухатися дислокації тієї системи ковзання, в якій дотичні напруження максимальні. Пластичне протягом відбувається, коли дотичні напруження досягають критичного сдвигового напруги близької до межі плинності.

Теоретично напруга, необхідне для руху дислокацій в ідеальній решітці, яке називають напругою Пайерлса, в залежності від ширини дислокації W обчислюється за формулою

$$\tau_0 = G \frac{2b}{W} e^{-2\pi \frac{W}{b}}, \quad (5.6)$$

де G – модуль зсуву;

b – вектор Бюргерса.

Розрахунки і експерименти показали, що для чистих металів з гранецентрированою кубічною (ГЦК) ґратами напруга Пайерлса дуже мало. Отже, рух дислокацій не обмежуватимуть тертям об ґрати, а взаємодією з полями пружних напружень інших дислокацій і дефектів кристалічної будови.

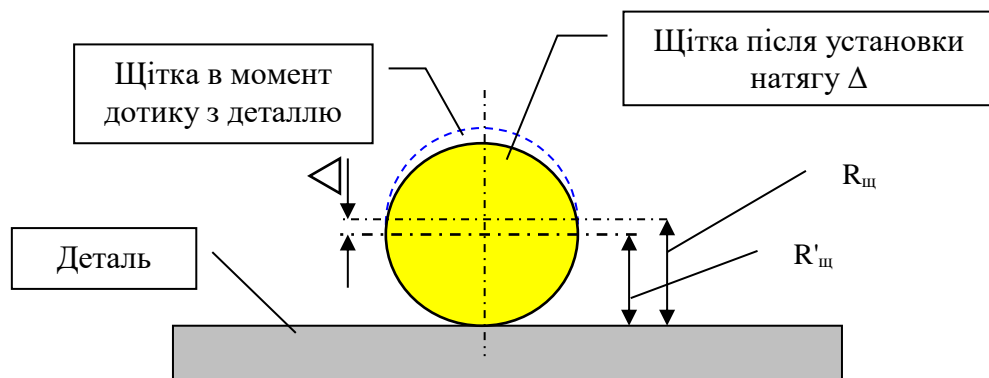
Різання являє собою пластичну деформацію з високою швидкістю (10^3 – 10^6 с⁻¹) і великими тисками на поверхню оброблюваного металу (до 200 кгс/мм²), високою температурою, градієнтом напружень і деформацій в зоні обробки.

Механізм гальмування дислокацій залежить від швидкості їх руху і чинного напруги. При низьких швидкостях (до 10^2 – 10^3 см/с) рух дислокацій має термічно активований характер. Напруга пластичної течії визначається

взаємодією дислокацій зі стопорами - перешкодами їх руху, наприклад, за механізмом Орована. При більш високих швидкостях руху дислокацій їх гальмування, а отже, і зміцнення деформованого матеріалу визначається взаємодією рухомих дислокацій з кристалічною решіткою.

Процес обробки поверхні металевими щітками можна розглядати як суму елементарних процесів дряпання. У свою чергу процес дряпання можна вважати подібним процесу різання з негативним переднім кутом.

До початку обертання щітки ворсинка знаходиться під дією натягу Δ , рівень якого залежить від величини переміщення щітки до оброблюваної поверхні, рис. 5.2.



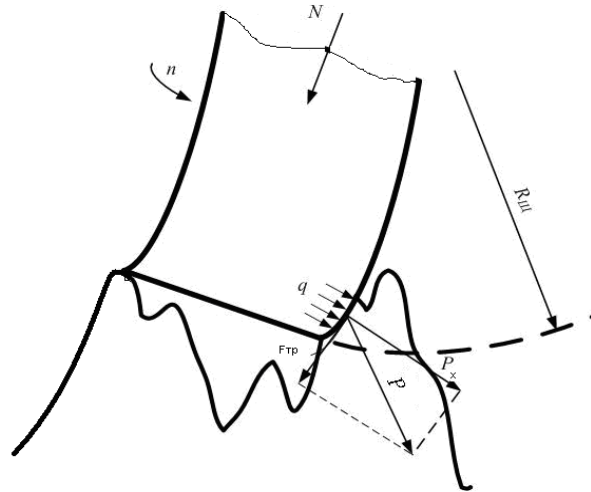
$R_{щ}$ - радіус щітки; $R'_{щ}$ - радіус щітки в місці контакту з деталлю після установки натягу Δ .

Рисунок 5.2 - Схема установки щітки з натягом Δ

При обертання з'являється сила P , яка є рівнодіюча сил, що виникають в результаті контакту бічної (утворює) поверхні ворсинки з мікровиступів. Далі ця сила зростає до величини сили тертя $F_{тр}$ ворсинки о мікровиступ, після чого починає ковзати по напрямку до вершини, рис. 5.3.

Просування кінця ворсинки уздовж оброблюваної поверхні деталі стане можливим, коли сколювальні напруги P_x досягнуть межі міцності металу, і тоді ворсинка почне своє царапающее дію. Одночасно з підняттям вгору ворсинка переміщається вперед, пластично деформуючи метал і витісняючи його вгору, вперед і в сторони. Її підняття вгору обумовлено зростанням

опору деформованого об'єму внаслідок зміцнення. Ворсинка перестане підніматися і почне наносити подряпину, коли в деформується обсязі буде досягнута максимальна ступінь деформації. В процесі дряпання може виникнути на кінці ворсинки нарост. Від наросту режим дряпання змінюється, глибина подряпини різко зменшується. Потім в подряпину потрапляє наступна ворсинка металевої щітки і процес повторюється.



N – навантаження, яке діє на голку; $R_{щ}$ – радіус щітки; n - обороти щітки;
 q - питоме навантаження, що діє в зоні контакту голки і мікрорівнеступа;
 $F_{тр}$ – сила тертя ворсинки о мікрорівнеступ; P_x – сколююча напруга.

Рисунок 5.3 - Схема утворення подряпини

Теоретичне обґрунтування обробки (активізації) поверхні металу металевими щітками підтверджується дислокаційними уявленнями про різанні металів. Навантаження, що діє на деталь, досягає найбільшої величини на поверхнях в місцях контакту з ріжучим інструментом. Отже, можна припустити, що перші дислокації почнуть зароджуватися з поверхневих джерел типу Франка-Ріда або Фішера, оскільки на поверхневих джерелах дислокації зароджуються набагато легше, ніж на джерелах, розташованих в об'ємі деформованого матеріалу. Наприклад, при дряпанні кременистого заліза смуги ковзання починаються від поверхні подряпини і мають велику протяжність вглиб металу. Іншим експериментальним

підтвердженням переважаючого впливу поверхневих джерел може служити картина розподілу смуг ковзання в жароміцних сплавах ХН55ВМТФКЮ, ХН56ВМКЮ, ЖС6КП і електротехнічної сталі 3414 після їх обробки різанням. У цих матеріалах розміри зерен рівні 0,32-0,45 мм і більше глибини зміцнення, тобто глибини проникнення дислокацій в поверхневий шар. Отже, межі зерен, які також є потенційними джерелами дислокацій в об'ємі деформованого металу, що не беруть активної участі в генеруванні нових дислокацій.

Утворилися нові дислокації зміцнюють матеріал і змінюють його фізико-механічні характеристики. Збільшення щільності дислокацій в металі приводить до збільшення його твердості, а твердість деформованого тіла пропорційна середньому напрузі, що діяв в процесі деформації. У свою чергу, з теорії дислокацій слід, що напруга деформування при різних механізмах зміцнення пропорційно квадратному кореню з щільності дислокацій:

$$\sigma = \frac{Gb}{k} \sqrt{\rho}, \quad (5.7)$$

где G – модуль зсуву;

b – вектор Бюргерса;

$k=3-5$ – чисельний множник;

ρ – щільність дислокацій.

Відповідно твердість зміцненого металу HV і ступінь наклепу N можуть бути безпосередньо пов'язані з щільністю дислокацій

$$HV = \frac{Gb}{K} \sqrt{\rho}, \quad (5.8)$$

$$N = \frac{HV - HV_{ucx}}{HV_{ucx}} = \frac{K_{ucx}}{K} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{ucx}}} - 1, \quad (5.9)$$

де K - коефіцієнт, що залежить від модулів пружності і зсуву, характеристика розподілу зсувів форми ліній і величини кристалів.

Експериментальні вимірювання підтвердили існування параболічної зв'язку між щільністю дислокацій і мікротвердістю, близькою до вираження (5.8), для міді та алюмінію, оброблених різанням. Від щільності та характеру розподілу дислокацій залежить рівень залишкових напружень, величина прихованої енергії в обробленому матеріалі і інші характеристики якості поверхневого шару.

На рис. 5.4 представлена залежність міцності зчеплення газопламенного покриття ПГ-10Н-01, напиляного на основу зі сталі 45, від швидкості обертання металевої щітки.

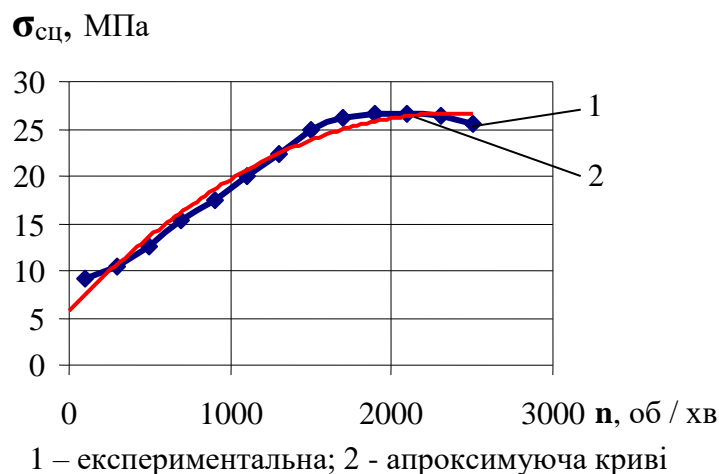


Рисунок 5.4 - Залежність міцності зчеплення газополум'яного покриття ПГ-10Н-01 з основою зі сталі 45 від швидкості обертання щітки

Зі збільшенням швидкості обертання щітки міцність зчеплення збільшується, причому в інтервалі швидкостей обертання від 200 до 1500 об / хв інтенсивніше і при оборотах 1900-2000 об / хв досягає максимуму, після чого починає незначно знижуватися. В результаті апроксимації експериментальної залежності отримуємо поліномінальної функцію

$$\sigma_{cu} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,018n + 5,73 \quad (5.10)$$

і коефіцієнт кореляції $R = 0,9793$. Отриману залежність (5.10) назвемо рівнянням прогнозування міцності зчеплення напиляного покриття з основою в залежності від оборотів металевої щітки.

У свою чергу шорсткість напилюваної поверхні також залежить від швидкості обертання щітки. Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 5.5.

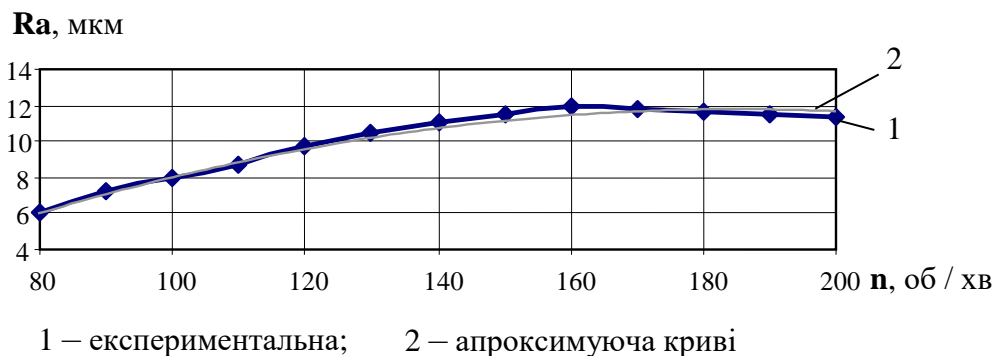


Рисунок 5.5 - Залежність шорсткості напилюваної поверхні сталі 45 від швидкості обертання металевої щітки

З аналізу експериментальної кривої видно, що зі збільшенням швидкості обертання щітки шорсткість оброблюваної поверхні підвищується до $R_a = 10-12$ мкм (при струменево-абразивній обробці $R_a = 6-8$ мкм) при оборотах 150-160 об / хв і встановленому натяг $N = 3$ мм. Потім кілька знижується, що можна пояснити зменшенням глибини проникнення голок. Апроксимуємо експериментальну криву отримуємо рівняння 2-го ступеня:

$$R_a = -7 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 + 0,2287n - 8,2308. \quad (5.11)$$

Коефіцієнт кореляції дорівнює $R = 0,9934$.

На рис. 5.6 представлена залежність міцності зчеплення напиляного

покриття від шорсткості поверхні основи.

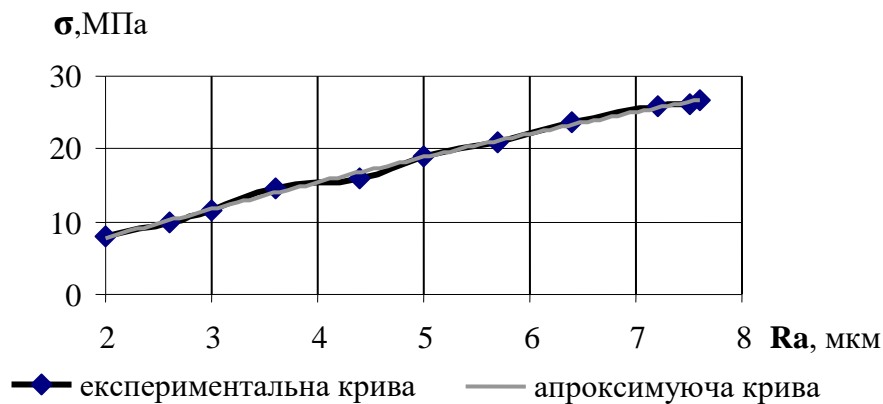


Рисунок 5.6 - Залежність міцності зчеплення напиляного покриття з основою від шорсткості поверхні

Рівняння апроксимуючої кривої

$$\sigma_{\text{ци}} = -0,1447 R_a^2 + 4,8219 R_a - 1,5813. \quad (5.12)$$

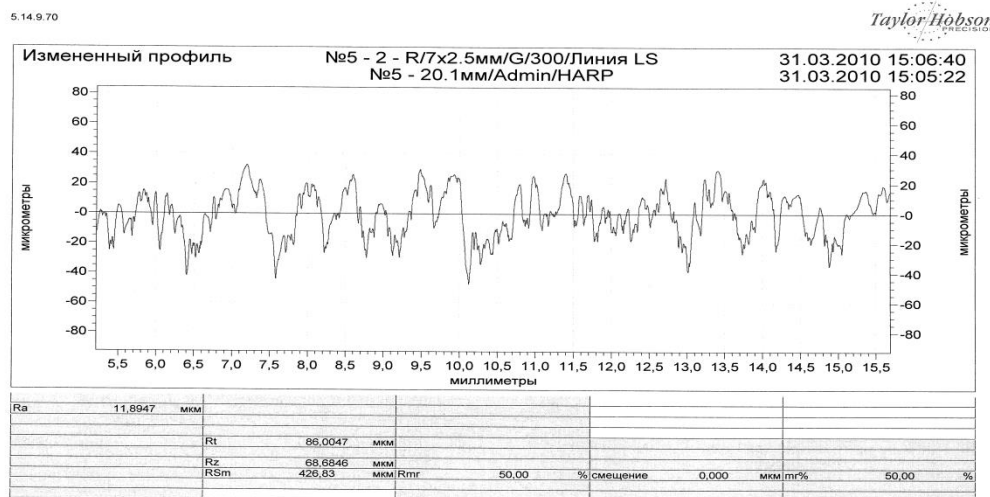
Величина коефіцієнта кореляції $R = 0,9953$. З рис. 5.6 видно, що зі збільшенням шорсткості напилюваної поверхні міцність зчеплення покриття з основою збільшується. Можна припустити, що максимальна міцність зчеплення буде обмежуватися міцністю газополум'яного покриття.

Оцінка мікротопографії поверхні проводилася за двома граничними режимами щеточної обробки, що охоплюють весь можливий діапазон зміни вихідних параметрів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Режими щеточної обробки поверхні

Вид обробки	d_n , мм	N, мм	D, мм	l_n , мм	n, об / хв	P, шт/см ²	$V_{\text{под}}$, м/с
«М'який» режим	0,35	0,5	150	60	60	20	0,1
«Жорсткий» режим	0,8	3,00	150	30	150	40	0,1

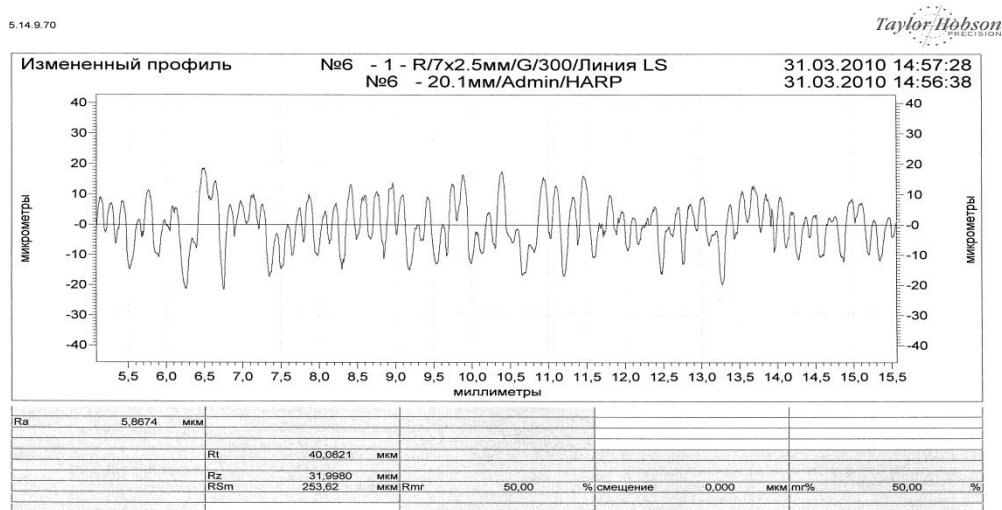
Обробка по «м'якому» режиму забезпечила отримання мінімального рівня шорсткості, по «жорсткому» - максимального. Шорсткість оцінювалася параметрами R_a , R_t , R_{Sm} , R_z , R_{mr} (ГОСТ 2789-73 і стандарт ISO 4287-1997), які визначалися на профілографі - профілометрі «Taylor / Hobson» (рис. 5.7 - 5.8), де R_a – середнє арифметичне відхилення профілю, R_t – середнє квадратичне відхилення профілю, R_z - висота нерівностей по десяти точках, R_{Sm} – середній крок нерівностей, R_{mr} - крок профілю по вершинах. Профілі поверхні вимірювалися уздовж осі зразка. Відносна опорна довжина (L) - 20 мм, базова довжина - 8 мм.



Параметри висотні, мкм: $R_a = 11,89$; $R_z = 68,7$; $R_t = 86,0$;
 крокові, мкм: $S_m = 426,83$; змішані: $R_{mr}=50$

Рисунок 5.7 - Профілограми обробленої поверхні при «жорсткій»
 обробці щітковим інструментом

З рис. 5.7-5.8 слід, що при «жорсткій» обробці відбувається відповідне збільшення параметрів R_a , R_t , R_z , а параметри Q_a – середнє арифметичне значення кута нахилу профілю та Q_q - середнє квадратичне значення кута нахилу профілю залишаються незмінними. Значення S_m вказують на те, що при незмінних Q_a , Q_q нерівності стають більшими і більш протяжними.



Параметри висотні, мкм: $R_a = 5,9$; $R_z = 31,0$; $R_t = 40,1$;
крокові, мкм: $S_m = 253,6$; змішані: $R_{mr}=50$

Рисунок 5.8 - профілограми обробленої поверхні при «м'якій»
обробці щітковим інструментом

Особливо цікавим є фіксація ефекту відтискування матеріалу при жорсткій обробці. Цей ефект характеризується зростанням параметрів R_a , R_t , R_z в зоні контакту у напрямку руху щітки.

Дані дослідження дозволяють сформулювати наступну методику дослідження мікротопографії поверхні, залежність її параметрів від обробки поверхні щітками зі змінними параметрами $d_{и}$, N , $I_{и}$, n , P :

- мікротопографії поверхні характеризується параметрами R_a , R_z , R_t , Q_a , Q_q ;
- для характеристики висотних параметрів профілю необхідно використовувати параметри R_a , R_z , R_t ;
- для характеристики мікрорельєфу профілю та опосередкованої характеристики крокових параметрів профілю слід використовувати параметри Q_a , Q_q .

Результати даного дослідження можна використовувати при розробці технології отримання регламентованої мікротопографії поверхні деталей.

Параметри R_p , $R_{\text{выст}}$, $R_{\text{вп}}$, θ , V розраховувалися за методиками. Висота згладжування R_p визначалася як відстань від лінії виступів до середньої лінії. Середні радіуси виступів $R_{\text{выст}}$ і впадин $R_{\text{вп}}$ визначалися за формулами 5.13:

$$R_{\text{выст}} = \frac{9R_a^2 S_m^2}{128(R_p - 0,5R_a)^3}, \quad R_{\text{вп}} = \frac{9R_a^2 S_m^2}{128(5,5R_a - R_p)^3}. \quad (5.13)$$

Середній кут нахилу бічної стінки профілю розраховували за формулою 5.14:

$$\theta = \arctan \frac{2R_{\text{max}}}{S}, \quad (5.14)$$

де R_{max} – найбільша висота профілю;

S – середній крок виступів профілю щодо опорної довжини.

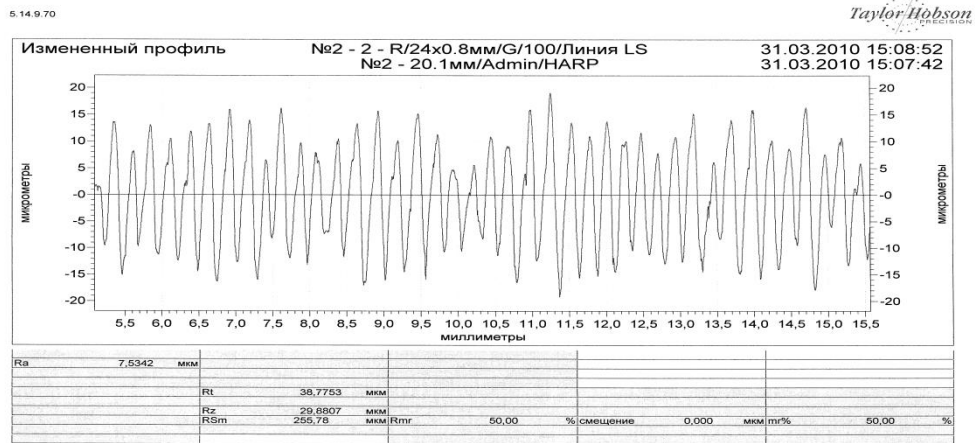
Параметри опорної кривої v , b_1 вираховували за формулами 5.15:

$$v = 2t_{\text{cp}} \frac{R_p}{R_a} - 1; \quad b_1 = t_{\text{cp}} \left(\frac{R_{\text{max}}}{R_p} \right)^v, \quad (5.15)$$

де t_{cp} – відносна опорна довжина профілю на рівні середньої лінії.

Для порівняння якості підготовки поверхні під напилення представлена мікротопографія поверхні (рис.5.9) після струменево-абразивної обробки (розмір часток електрокорунду 0,5-0,8 мм, тиск стисненого повітря 0,5 МПа).

Встановлено, що збільшення d_n (при $l_n = \text{const}$) призводить до зростання шорсткості оброблюваної поверхні, однак зі збільшенням натягу шорсткість поверхонь, оброблених інструментами з різним діаметром голок, зменшується (рис. 5.10). Це пояснюється зростанням пластичних деформацій. Вибір вільної довжини голок впливає на вибір натягу.

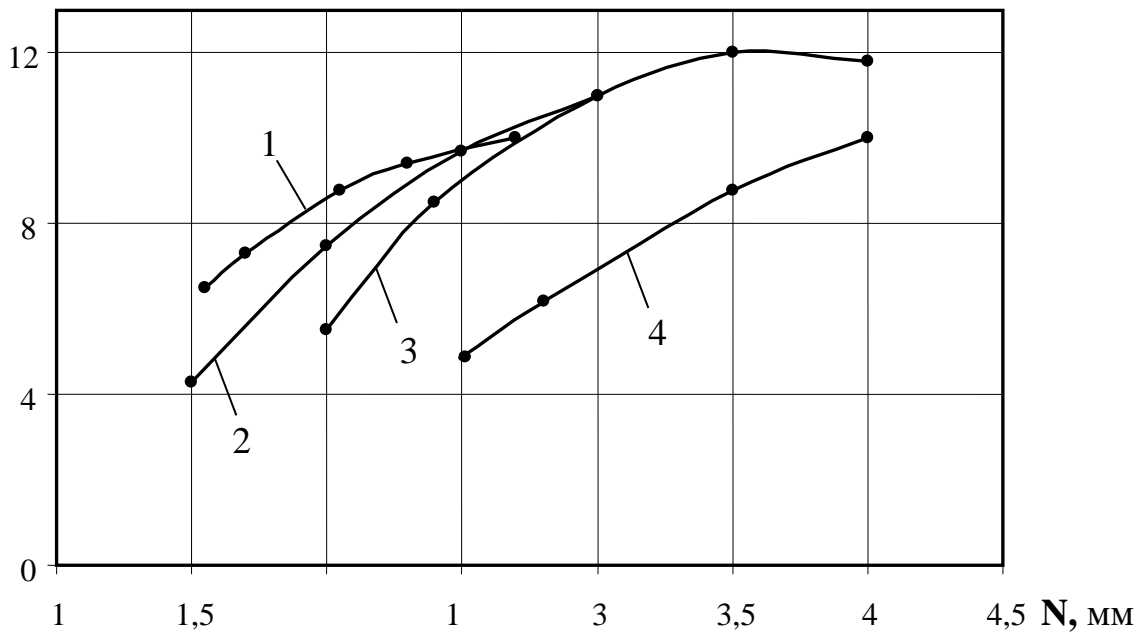


Параметри висотні, мкм: $R_a = 7,53$; $R_z = 29,88$; $R_t = 38,77$;

крокові, мкм: $S_m = 255,78$; змішані: $R_{mr} = 50$

Рисунок 5.9 – профілограми поверхні після абразивоструйної обробки

R_a , мкм



1 – $d_{и} = 0,5$ мм; $l_{и} = 20$ мм; $P = 20$ шт/см²; 2 – $d_{и} = 0,5$ мм; $l_{и} = 40$ мм;

$P = 20$ шт/см²; 3 – $d_{и} = 0,8$ мм; $l_{и} = 40$ мм; $P = 30$ шт/см²;

4 – $d_{и} = 0,8$ мм; $l_{и} = 60$ мм; $P = 30$ шт/см²

Рисунок 5.10 – Вплив натягу на висоту мікронерівностей R_a

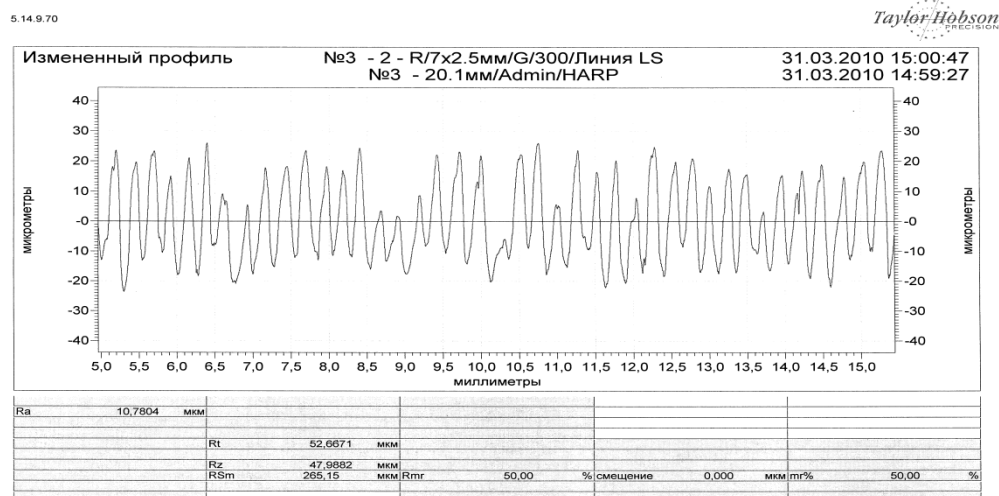
при різних $d_{и}$ и $l_{и}$ голок ($n = 150$ об / хв)

Встановлено, що збільшення натягу при збільшенні довжини голок знижує ефективність обробки поверхні і призводить до зростання напруги вигину в голках. Поряд з цим, при рівних натягах (рис. 5.10, криві 1 і 2) щітка з більшою довжиною голок забезпечує отримання меншої шорсткості поверхні, що пояснюється зменшенням глибини проникнення в результаті збільшення довжини голок.

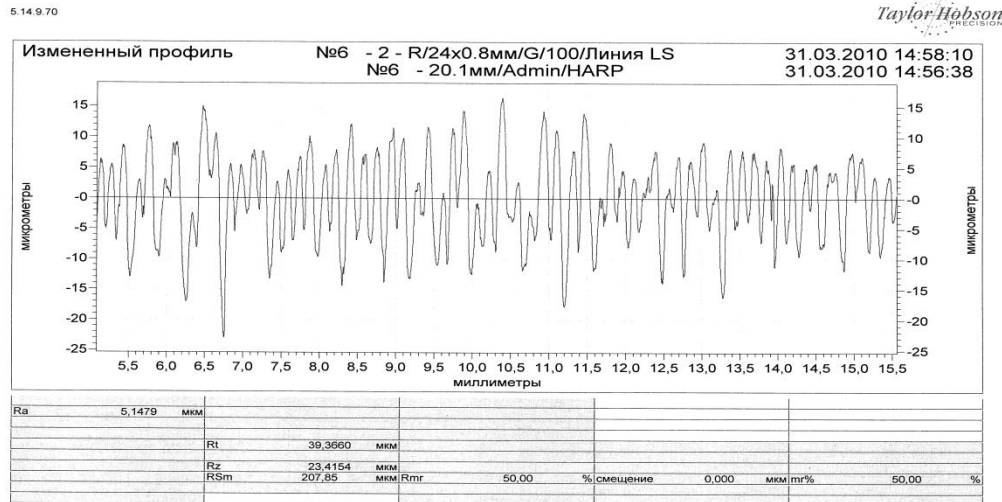
Зменшення шорсткості спостерігається при досягненні швидкості щітки $n > 150-160$ об / хв. Це пояснюється тим, що з ростом швидкості обробки збільшується отжатиє голок, що призводить до зменшення їх впровадження в оброблювану поверхню і зниження шорсткості.

Збільшення щільності розташування голок (P) істотного впливу на шорсткість оброблюваної поверхні не робить.

Зі збільшенням натягу шорсткість поверхні зростає в результаті збільшення глибини впровадження голок. Збільшення натягу понад оптимальних значень призводить до зменшення глибини впровадження голок. Аналіз отриманих профілограм (рис. 5.11) показав, що максимальна величина $R_z=48$ мкм отримана при швидкості обертання щітки 150 об / хв, а мінімальна величина $R_z=23,4$ мкм отримана при швидкості обертання щітки 200 об / хв.



а



б

Швидкість обертання: а – $n = 150$ об / хв; б – $n = 200$ об / хв.

Рисунок 5.11 – Профілограми поверхні основи після щеточної обробки
 ($d_{и}=0,8$ мм; $S_{щ}=1,2$ м / хв; $N_{щ}=3$ мм)

З огляду на те, що характер мікрорельєфу, отриманий щеточною обробки, залишається одним і тим же при зміні параметрів процесу, можна вважати, що якісно картина формування шорсткості поверхні відображена правильно.

Порівняння значень міцності зчеплення покриттів, нанесених газополуменевим напиленням на поверхні, підготовлені струменево-абразивним методом (17-20 МПа) і щіткової обробкою (26-28 МПа), виконані випробуванням на зрушення, показали можливість використання останньої в технології відновлення циліндричних поверхонь деталей. Оскільки для щіткової обробки можна використовувати ручний електричний або пневматичний інструмент цей метод може знайти широке застосування в ремонтному виробництві.

2. Високошвидкісне напилення.

На рис. 5.12 представлена схема розташування різних способів

газотермічного напилення залежно від швидкості напилюваних частинок на основу.



Рисунок 5.12 - Хронологічна залежність швидкості частинок порошку для деяких способів газотермічного напилення

Аналізуючи представлені дані видно, що в останні роки з'явилися і отримують свій розвиток нові способи газотермічного напилення: надзвукове газополуменеве напилювання, надзвукове плазмового напилення, надзвукове газодинамічне напилення.

При використанні спеціальних плазмотронів із профільованими каналами сопел або при плазмовому напиленні в динамічному вакуумі (способи VPS (Vacuum Plasma Spray) та LP PS (Low Pressure Plasma Spray)) можна отримати надзвукові швидкості плазмового струменя.

При контакті прискорених частинок матеріалу, що напилюється, з поверхнею вони зчеплюються з нею внаслідок металургійної, механічної та інших видів взаємодії.

Найбільш характерні показники якості покриття для плазмового напилення наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Характерні показники якості покриття, отриманого при плазмовому напиленні (за даними фірми «Sulzer Metco»)

Параметр	Матеріал покриття	Дозвокове плазмове напилення	Напилення в динамічному вакуумі (способи VPS/LPPS)
Температура плазмового струменя, °С		12 000— 16 000	10 000—80 000
Міцність зчеплення, МПа	Чорні метали	21—34	400—750
	Кольорові метали	14—48	
	Керамічні матеріали	21—41	25—55
	Карбіди	55—69	60—100
Пористість, %	Чорні метали	5—10	1—3
	Кольорові метали	5—10	1—3
	Керамічні матеріали	5—10	2—5
	Карбіди	5—10	2—5
Рекомендовані товщини шару покриття, мм	Чорні метали	0,4—2,5	0,05—10
	Кольорові метали	0,4—5,0	0,05—10
	Керамічні матеріали	0,4—5,0	0,05—5
	Карбіди	0,4—5,0	0,05—10

Одним із засобів, що дозволяє підвищити якість покриття, особливо з матеріалів, які можуть розкладатися, окиснюватися, азотуватися, є плазмове нанесення покриття в камері з контрольованою за складом і тиском атмосферою.

З цією метою використовують також захисні соплові насадки, що утворюють закритий простір між розпилувачем та виробом, заповнений плазмоутворювальним або захисним газом. Найдосконалішим є плазмове нанесення покриття в динамічному вакуумі – методи VPS та LPPS. Витікання плазмового струменя відбувається у вакуумну камеру, з якої безперервно відкачуються робочі гази. Швидкість витікання плазмового струменя перевищує швидкість звуку в два-три рази, збільшується швидкість частинок, що напилюються, до 800 м/с. Отримане покриття має міцне зчеплення з основним матеріалом деталі.

Новим у розвитку газополуменевого напилення є створення установок

для високошвидкісного напилення.

Спосіб отримання газополуменевого покриття з використанням струменя надзвукової швидкості в світовій практиці отримав назву "High Velocity Oxygen Fuel" (HVOF) або "Високошвидкісне киснево-паливне напилення".

Для напилення використовують надзвуковий газовий струмінь, який генерується спеціальним пальником з камерою прискорення ракетного типу при спаленні ацетилену, пропану, водню, пропілену або метил-ацетиленпропану при тиску 0,6- 0,8 МПа у суміші з киснем під тиском до 1,2 МПа.

Швидкість струменя продуктів згоряння при використанні способу HVOF сягає від 1350 до 2880 м/с, швидкість частинок матеріалу, що напилюється – від 300 до 1000 м/с, а температура горіння – 3100 °С.

Для надзвукового напилення, в якому замість кисню як окисник використовується стиснуте повітря, застосовується спосіб за аналогією до HVOF, що має назву "Високошвидкісне повітряно-паливне напилення" або HVAF (High Velocity Air Fuel).

Показники якості покриття, які можна отримати при газополуменовому напиленні, наведені в табл. 5.3.

Палива при високошвидкісному газополуменеве напилювання спалюються в пальниках при підвищеному тиску, що забезпечують критичний перепад тисків на надзвукових соплах (рис. 5.13 а). Цей метод відрізняється від традиційного газополум'яного напилення, при якому паливо спалюється в зовнішньому факелі при атмосферному тиску (рис. 5.13 б).

Таблиця 5.3 - Характерні показники якості покриття, отриманого при газополуменевому напиленні (за даними фірми «Sulzer Metco»)

Параметр	Матеріал покриття	Дозвукове напилення		Надзвукове напилення (HVOF)
		дротяного матеріалу	порошкового матеріалу	
Температура полум'я, °C		3000	3000	2000—3000
Міцність зчеплення, МПа	Чорні метали	14—28	14—21	48—62
	Кольорові метали	7—34	7—34	48—62
	Самофлюсівні сплави	—	До 83	До 62
	Керамічні матеріали	—	14—34	—
	Карбіди	—	34—48	До 83
Пористість, %	Чорні метали	10—15	10—15	2—5
	Кольорові метали	10—15	10—15	2—5
	Самофлюсівні сплави	—	—	До 2*
	Керамічні матеріали	—	5—10	—
	Карбіди	—	10—15	2—5
Рекомендована товщина шару покриття, мм	Чорні метали	0,5—5,0	0,5—2,0	0,6—2,5
	Кольорові метали	0,5—5,0	0,5—5,0	0,6—2,5
	Самофлюсівні сплави	—	0,4—2,5	0,4—3,8
	Керамічні матеріали	—	0,4—0,8	—
	Карбіди	—	0,4—0,8	0,4—5,0

* — неоплавлене покриття.

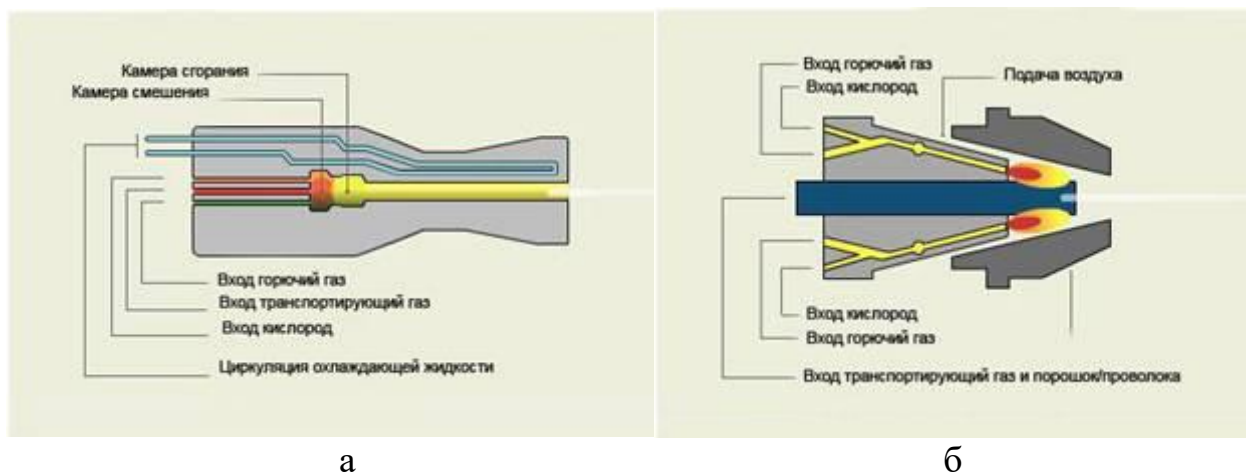


Рисунок 5.13 - Конструктивні особливості пальників при різних способах газотермічного напилення: а) при надзвуковому газополуменевому напилювання; б) при традиційному газополуменевому напилювання

У табл. 5.4 представлена коротка характеристика деяких зарубіжних установок для високошвидкісного газополум'яного напилення.

Таблиця 5.4 - Характеристика установок для високошвидкісного напилення

Матеріали		Intelli-Jet	JP -5000	DJ2700	Top Gun
Кислород, м ³		-	60	18	21
Сжатый воздух, м ³		300	-	23	-
Паливо	Вид	Пропілен	Гас	Пропілен	Пропілен
	Витрата, кг	30	21	17	16
Азот, м ³		0,96	1,2	1,08	1,02
Вода на охолодження, м ³		-	1	0,72	0,72

Високошвидкісне газополум'яне напилення по праву вважається найбільш сучасної з технологій напилення. У країнах Європи і Північної Америки високошвидкісне напилення практично витіснило гальваніки і методи вакуумного напилення в багатьох галузях. Твердосплавні покриття, нанесені методами високошвидкісного напилення, за всіма статтями перевершують гальванічні покриття, процес створення яких визнаний надзвичайно канцерогенним.

Надзвукове плазмове напилення підрозділяється на струминне і каналове. При струменевому надзвуковому напиленні частки порошку подаються в струмінь надзвукового потоку на виході з каналу і при підльоті до основи мають розкид за швидкостями від нуля до максимальної швидкості на осі струменя. У покритті, при багаторазових проходах, досягається шарувата структура - від щільної (пористість менше 1%) до звичайної (пористість від 1% до 6%).

Значно кращі результати по щільності і міцності зчеплення з основою досягаються при «каналовому» надзвуковому плазмовому напиленні. В цьому випадку частинки порошку вводяться в потік до зрізу сопла і рухаючись по каналу нагріваються, а потім виходять в струмінь. Низька швидкість частинок порошку при такому покритті практично не реалізується, і швидкості польоту частинок порошку приймають тільки близькі до максимальних значення.

Відомо також багатодугового плазмового напилення, що володіє певними перевагами перед наведеними вище способами, з точки зору вигідності електроживлення плазматронов.

Газодинамічне напилення покриття. Формування металевого покриття газодинамічним способом засновано на закріпленні твердих металевих частинок, які мають велику кінетичну енергію, на поверхні, що напилюється, в процесі високошвидкісного удару. Для нанесення покриття цим способом використовується обладнання, конструкція якого забезпечує створення надзвукового газового струменя і введення в нього частинок порошкового матеріалу і їх прискорення до швидкості, необхідної для формування покриття.

Відсутність високих температур, характерних для наведених вище газотермічних методів нанесення покриття, дала підставу авторам цього методу назвати метод "холодне газодинамічне напилення" (ХГН). Термін "холодне" введено для того, щоб підкреслити, що температура частинок значно менша за їх температуру плавлення, а термін "газодинамічне" вказує на першорядну роль високої швидкості частинок при формуванні покриттів.

На рис. 5.14 наведено схему установки для ХГН, розробленої Інститутом теоретичної та прикладної механіки (м. Новосибірськ) та фірмою "Ktech Corp".

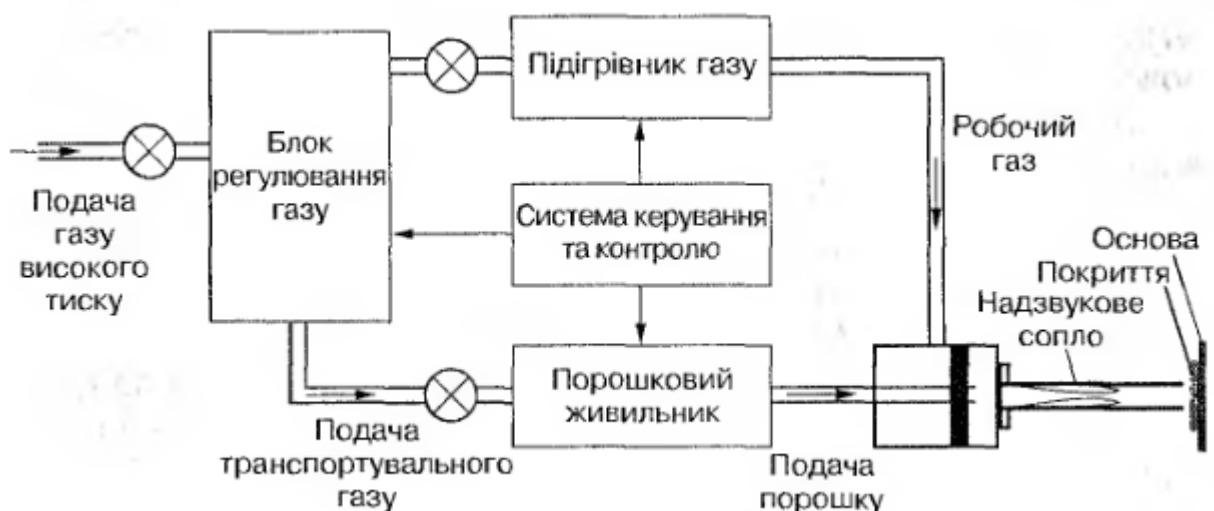


Рисунок 5.14 - Схема установки для холодного газодинамічного напилення

Метод ХГН реалізують за допомогою надзвукового сопла (сопла Лавалю), яке дозволяє отримати швидкість струменя з числом Маха $M \approx 2-4$. Як прискорювальний газ використовується суміш повітря з гелієм при загальному тиску у форкамері $P_0 = 2,0$ МПа. Змінюючи склад суміші від чистого повітря до чистого гелію, можна збільшувати швидкість частинок від 200 до 1200 м/с. Температура підігрівання газу становить 100–600 °С.

Практика використання газодинамічного способу нанесення покриття показала, що, використовуючи надзвуковий струмінь газу, який має температуру 100–600 °С, можна отримати покриття з більшості металів.

Частинки порошкового матеріалу в процесі їх прискорення не нагріваються вище, ніж 200–300 °С і перебувають в твердому стані та практично не окиснюються при нанесенні покриття.

Формування покриття з твердих частинок не викликає високотемпературного нагрівання основи, що забезпечує низький рівень залишкових напружень у покриттях, високу адгезію покриття і можливість нарощувати досить великі товщини, причому матеріал основи, як і матеріал частинок, практично не окислюється.

Продуктивність способу досягає рівня 3–15 кг/год, товщина покриття – 250 мкм за один прохід.

Розглянуті вище нові високошвидкісні способи дозволяють значно розширити можливості традиційного газотермічного напилення покриттів, використовуваного при відновленні деталей. Отримані покриття характеризуються більш високою адгезією, низькою пористістю, можуть наноситися на вироби складної форми, виготовлені практично з будь-яких металів, а також на кераміку і скло.

Контрольні питання

1. Яка мета інтегрування газотермічних методів напилення з іншими методами обробки поверхні?
2. Що являє собою металева щітка, застосовувана при газополуменеве

напилювання?

3. Що дає застосування щеточної обробки замість традиційної струменевої обробки абразивом?

4. Який характер має залежність міцності зчеплення газопламенного покриття з основою від швидкості обертання щітки?

5. Який характер має залежність шорсткості напиляемой поверхні від швидкості обертання щітки?

6. Яку висоту нерівностей Rz забезпечує щеточная і абразивоструйна обробки?

7. Який вплив робить величина натягу на висоту мікронерівностей?

8. Суть надзвукового плазмового напилення?

9. Суть способу отримання покриття з використанням струменя надзвукової швидкості?

10. У чому відмінність способів "High Velocity Oxygen Fuel" (HVOF) і «High Velocity Air Fuel» (HVOF)?

11. Суть процесу холодного газодінамічного напилення?

Лекція 6. СВС-процеси в технологіях зміцнення і відновлення деталей машин наплавленням і газотермічними способами напилення покриттів.

План лекції

1. Історія відкриття і розвитку СВС-процесів.
2. Технології і матеріали, що застосовуються для СВС-процесів.

1. Історія відкриття і розвитку СВС-процесів.

У 1967 році група вчених (Мержанов А.Г., Боровинська І.П. і Шкіря В.М.) Наукового Центру Академії наук СРСР в м. Черноголовка, Московської області, досліджуючи експериментальні моделі горіння конденсованих систем, відкрила нове явище, що отримало назву «твердого полум'я» (офіційна назва «Явище хвильової локалізації автотормозящих твердофазних реакцій»). Тверде полум'я, яке було для того часу досить незвичайним явищем, являє собою процес, в якому вихідні реагенти, проміжні і кінцеві продукти залишаються в твердому стані протягом всього процесу перетворення. Тверде полум'я дозволило отримувати цінні тугоплавкі матеріали. Ця обставина привела до створення нового високоефективного методу їх виробництва - високотемпературного синтезу (СВС). Дослідження СВС-процесів відкрили нові горизонти пізнання і практичних застосувань.

Можна виділити наступні основні етапи розвитку СВС-технологій: 1967-1972 р.р. первинні дослідження, які вивчають механізми процесів, проводилися невеликою групою вчених, що працюють у відділі макроскопічних кінетики Відділення Інституту хімічної фізики АН СРСР;

1972-1980 р.р. ініціативні дослідницькі роботи. Виникнення творчих груп в Томську, Єревані, Києві та інших містах СРСР. Проведення в Відділенні ІХФ АН СРСР перших технологічних робіт з отримання порошків, компактних матеріалів і виробів, нанесення покриттів, з'єднання

деталей. Перша промислова реалізація СВС-технології на Кіроваканском заводі високотемпературних нагрівачів;

1980-1992 р.р. відповідно до Постанови Ради Міністрів СРСР про прискорення впровадження СВС-технологій в народне господарство країни, був створений Міжгалузевий науково-технічний комплекс «Термосінтез» та Інститут макрокінетики РАН як головна організація. На 15 підприємствах країни створені дослідно-промислові ділянки. Організовано проведення досліджень з технічної та економічної ефективності.

З 1980 р починаються роботи по СВС за кордоном: США, Японії, Польщі, Китаю і ряду інших країн, так за даними Ісмаїл-ІНФОРМ, в даний час роботи по СВС ведуться в 47 країнах, в тому числі і Україна. У США - це створення енергетично стимульованих СВС процесів з використанням джоулева і СВЧ-нагрівання, постановка і вирішення низки завдань математичного моделювання процесів зі складним фізико-хімічним механізмом; в Японії - створення функціонально-градієнтних СВС-матеріалів, вирощування монокристалів з тугоплавких безкисневих СВС-продуктів, відцентрова технологія виробництва труб великого діаметру, газостатичному ущільненню СВС-продуктів; в Польщі - розробка пластичної СВС-кераміки. У Китаї на 10 підприємствах із застосуванням СВС-технологій виробляють труби зі зносостійкими покриттями для транспортування абразивних середовищ в гірничодобувній і цементній промисловості, а в Іспанії запущено перше в світі автоматизоване виробництво керамічних СВС-порошків.

З 1992 р в зв'язку з розпадом системи МНТК "Термосінтез" централізованого керівництва роботами не стало. Організації стали працювати в умовах ринкових відносин за спеціальними замовленнями, контрактами, грантам, з ініціативи Ісмаїл регулярно проводяться Міжнародні симпозіуми «високотемпературний синтез», видається Міжнародний журнал з такою ж назвою (Allerton Press, N-Y, USA). В даний час на території колишнього СРСР найбільш активно діють: Інститут структурної

макрокінетики і проблем матеріалознавства (Ісмаїл), РАН, м Черноголовка, Росія, Відділ Структурної Макрокінетика, Томський науковий центр, Сибірське Відділення РАН, Томськ, Росія, Інженерний центр СВС , м Самара, Росія, Інститут проблем матеріалознавства, м Київ, Україна, Інститут порошкової металургії, м.Мінськ, Білорусь, Інститут проблем горіння, м Алма-Ата, Казахстан, Інститут хімічної фізики в Вірменії та Інститут металургії в Грузії.

2. Технології і матеріали, що застосовуються для СВС-процесів.

Метод СВС дозволяє синтезувати матеріали необхідного хімічного, фазового складів і їх властивостей. Крім цього метод дозволяє здійснювати прямий синтез виробів із заданими розмірами і формою. Для вирішення цих завдань розроблено понад 30 технологічних різновидів СВС, які об'єднані в шість основних технологічних типів - ТТ [9].

ТТ-1 (хімічний синтез). Процес проводиться в герметичних СВС-реакторах, в атмосфері повітря або інертного або реакційного (азоту, водню, кисню) газу. Продукти мають вигляд спеков, які можуть використовуватися в якості напівфабрикатів або перероблятися в порошки для порошкової металургії і газотермічних способів нанесення покриттів.

ТТ-2 (СВС-спікання). При цьому типі технології з реакційної шихти попередньо виготовляють виріб заданої форми і СВС-процес проводять так, щоб зберегти цю форму і розміри. Два різновиди процесу отримали застосування: синтез нитридної кераміки при високих газових тисках і синтез карбідних, боридних, силіцидних і інтерметалевих матеріалів у вакуумі з попередньою термічною обробкою шихти.

ТТ-3 (силове СВС-компактування). Процес СВС проводять в спеціальній прес-формі, і гарячий продукт горіння ущільнюють до безпористого стану. Варіанти різняться способами механічного впливу. Створена серія нових марок твердих сплавів групи синтетичних твердих інструментальних матеріалів з різним поєднанням твердості і міцності.

ТТ-4 (СВС-лиття). У цьому технологічному типі використовують висококалорійну шихту (алюмотерміческого суміші), в результаті горіння якої досягаються температури вище температури плавлення продуктів. Продукт утворюється у вигляді розплаву, до якого застосовують відомі металургійні операції: лиття в форму, відцентрове лиття, кристалізацію злитків, наплавку і ін. Литі однорідні і неоднорідні СВС-матеріали знаходять широке застосування в вигляді литих порошків, деталей з твердоспланими наплавленнями, а також метало - і мінералокераміческие труб. Найбільш поширені керметні фази - карбіди, бориди і силіциди Cr, W, Mo і Nb; керамічні - оксид алюмінію. Технологія дозволяє здійснювати лиття тугоплавких матеріалів при температурах 3300-3800 К.

ТТ-5 (СВС-зварювання). Сварка СВС застосовується для з'єднання деталей з тугоплавких матеріалів: ніобій, вольфрам, молібден, тантал, графіт і композитів на їх основі між собою і з іншими (більш легкоплавкими) сплавами. Реакційна суміш розташовується в проміжку між сполучаються деталями, ініціювання реакції відбувається за рахунок пропускання електричного струму через зварюються деталі.

ТТ-6 (газотранспортна СВС-технологія). Використовується: при отриманні тонких (5-100 мкм) обложених покриттів. Оброблювані деталі і газотранспортний агент (йод) вводяться в шихту, що отримується за способами ТТ-1. В результаті газотранспортного процесу, після проходження хвилі горіння, деталь покривається тонким шаром кінцевого продукту. Відпрацьовано деякі процеси нанесення покриттів з хрому або боридів хрому на сталеві деталі, з нітриду титану - на тверді сплави.

Всі шість технологічних типів СВС-технологій побудовані за єдиним принципом. Узагальнена система СВС-технологій представлена на рис. 6.1.

На основі аналізу узагальненої схеми можна зробити висновок: головна особливість полягає в тім, що основна стадія проводиться в режимі СВС. Технологією СВС розрізняються видами вихідної сировини, структури шихти, типами хімічних реакцій і процесів, зовнішніми впливами,

морфологією продуктів і способами їх обробки або переробки, призначенням кінцевої продукції.

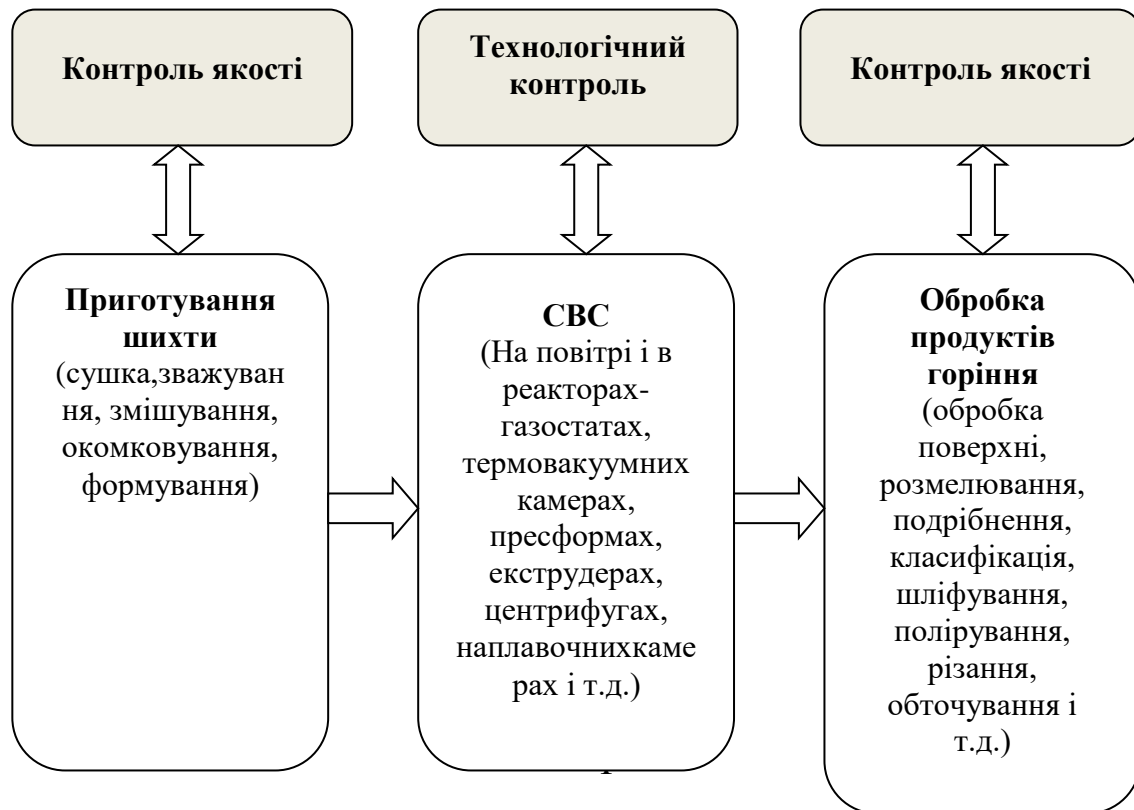


Рисунок 6.1 - Узагальнена схема СВС-технологій

Необхідно відзначити, що СВС не тільки нова технологія застосування відомих матеріалів, але і можливість створення нових типів матеріалів. Як приклад можна відзначити позитивні результати експериментів з отримання складних оксидних нанопорошків, ниткоподібних кристалів безкисневого кераміки, анізотропної оксидної кераміки, функціонально-градієнтних матеріалів, безкисневих монокристалів та ін.

Технологія СВС є ефективним енерго- і ресурсозберігаючим методом отримання композиційних порошків. Метод заснований на використанні екзотермічної ефекту реакцій взаємодії металів з вуглецем, кремнієм, бором, азотом та ін. Сутність процесу полягає в тому, що після локального ініціювання реакція протікає у вузькій зоні - хвилі горіння, яка переміщається по виробу за рахунок теплопередачі. В якості реагентів

застосовуються суміші наступних елементів: металів з неметалами, металів з металами, неметалів з неметалами або їх з'єднань, що виділяють при взаємодії велика кількість тепла.

Загальну схему процесу можна представити в наступному виді:



де $X(i)$ - реагент в твердому стані;

$Y(i)$ - реагент в твердому, рідкому або газоподібному стані;

$Z(k)$ - продукт синтезу (карбіди, бориди, силіциди, нітриди, інтерметалліди і ін.) В конденсованій фазі.

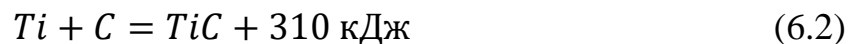
СВС-процес дозволяє синтезувати композиції, отримання яких іншими відомими способами вимагає великих витрат, складного і дорогого обладнання або взагалі неможливо. Крім того СВС дозволяє отримати багатокомпонентні продукти в одну стадію навіть в системах матеріалів, що значно відрізняються за властивостями.

В Інституті порошкової металургії, м.Мінськ більше 25 років ведуться інтенсивні дослідження і розробка технологічних процесів високотемпературного синтезу композиційних порошоків. Результати досліджень і створені термодинамічні і фізичні моделі дозволили розробити технології отримання широкого спектру композиційних СВС-порошків типу «металева зв'язка - тугоплавкое з'єднання», в тому числі не мають аналогів в світі. Як зв'язок використовуються метали, металеві сплави на основі заліза, нікелю, алюмінію і інтерметалліди - Ni_xAl_y , Fe_xAl_y , Ti_xNi_y , Ti_xAl_y . Як тугоплавкі сполук використовують карбіди титану, хрому, кремнію та їх комбінації, а також оксиди алюмінію, титану і хрому.

Основні етапи типовий технологічної схеми процесу отримання СВС-порошків: підготовка порошкової шихти, синтез, розмелювання і розсівання по фракціям. При необхідності застосовують механічну активацію реакційної суміші в Аттритори. Дана операція дозволяє зробити взаємоізмелювання вихідних порошоків і сформувати композиційні частинки з рівномірним

розподілом вихідних реагентів за обсягом, а також знижує тепловтрати при синтезі, підвищує активність системи і гомогенність продукту горіння. Синтез в системах з низьким теплосодержанием здійснюють із застосуванням попереднього підігріву в печі.

Найбільш популярними є композиції на основі карбіду титану. Це пов'язано з високим екзотермічним ефектом реакції освіти карбіду титану з елементів (3.2), що забезпечує широкий вибір матеріалу зв'язки:



В результаті виділяється тепла температура твердих і розплавлених продуктів реакції досягає 2500-3500 К, тому реакція не залежить від зовнішніх джерел нагріву і може поширюватися як хвиля горіння, сама виробляє енергію для свого поширення. Незважаючи на високу температуру, перехід будь-якого з компонентів суміші в газову фазу незначний, і їм можна знехтувати.

Синтез композиційних порошків на основі карбідів хрому з елементів через низький екзотермічний ефекту проводиться із застосуванням попереднього підігріву шихти до температури 723-873 К.

СВС-технологія дозволяє синтезувати композиції на основі складних карбідів в одну стадію для металів IV і VI груп періодичної системи хімічних елементів Д.І. Менделєєва, що володіють більш високими фізико-механічними характеристиками в порівнянні з утворюють їх карбидами. Типовим представником таких матеріалів є композиційні порошки системи Cr_3C_2 -TiC/NiCr. Інший підхід до підвищення властивостей композиційних металокерамічних композиційних порошків на основі карбідів - розробка матеріалу зв'язки. Позитивні результати були отримані при створенні композиційних порошків на основі карбіду титану зі складними легованими зв'язками, які вводяться в шихту у вигляді готових порошків-сплавів, або формуються в процесі СВС в результаті плавлення і хімічної взаємодії

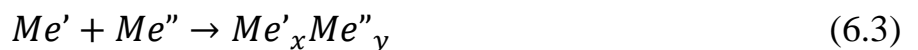
простих реагентів.

Перспективним напрямком є розробка антифрикційних композиційних порошкових матеріалів, що містять в своєму складі тверді мастила, такі як графіт, дисилицида молібдену і фторид кальцію. Порошок отримують методом СВС шляхом введення в реакційну щільну порошоків твердих мастил, наприклад: TiC/NiCr/MoS_2 , TiC/NiCr/CaF_2 , TiC/FeCr/графіт , TiC/FeCrMo/графіт та $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{CaF}_2$, які забезпечують високу працездатність покриттів в умовах сухого тертя або тертя з граничною мастилом, а також в при високих температурах.

Ще одним класом перспективних матеріалів є композиційні порошки типу «інтерметаліди-оксид» на основі алюмінідов нікелю, заліза і титану, що забезпечують значне зменшення маси за рахунок невисокої щільності алюмінідов в порівнянні з традиційно використовуваними сплавами при збереженні високих механічних та корозійних властивостей композицій. Ці композиції можуть бути отримані двома способами: 1 - синтезом інтерметалічних сполук з елементів в присутності дисперсних частинок оксидів і 2 - формуванням необхідних композицій з використанням алюмініотермічне реакцій. Обидва способи мають обмеження, обумовлені невисоким по 1-му способу або навпаки, занадто високим по 2-му способу теплосодержанием реакційних систем. Використання попереднього механічного активації дозволяє активувати процес синтезу в низькоекзотермічних системах і формувати однорідну тонкозернисту структуру композицій з рівномірним розподілом оксидних частинок в обсязі матеріалу. Перебіг механохімічної реакцій в обмежених обсягах на етапі механоактивації дозволяє знизити теплосодержание реакційних сумішей і отримувати ультрадисперсні композити та навіть наноконпозиційні порошки в системах з алюмініотермічне реакціями. Такий підхід був реалізований в системах $\text{Fe-Al-Fe}_2\text{O}_3$ і $\text{Fe-Al-Cr}_2\text{O}_3$. Були отримані наноконпозиційні порошки на основі моноалюмініда заліза $\text{FeAl/Al}_2\text{O}_3$ і $\text{FeAl(Cr)/Al}_2\text{O}_3$, повністю успадковують структурну морфологію прекурсорів.

Розроблені композиційні порошки застосовуються для напилення зносо- і корозійностійких покриттів плазмовим, детонаційними і високошвидкісним газополуменевим способами. У порівнянні з традиційно застосовуваними для газотермічного напилення механічними сумішами і конгломерированими порошками синтезовані порошки забезпечують збереження фазового складу композиції в процесі напилення, рівномірний розподіл твердої фази в об'ємі покриття, збільшення коефіцієнта використання матеріалу на 10-30%, а також більш високу зносостійкість покриттів. Особливо перспективними представляються композити $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{Me}$, TiC/Me та $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{TiC}/\text{Me}$, з яких отримують високоякісні зносостійкі покриття, які не поступаються зносостійким покриттям з композитів на основі карбіду вольфраму.

Завдяки своїм особливостям, метод СВС дозволяє отримувати порошки на основі інтерметалевих сплавів з унікальною структурою і властивостями. Загальна хімічне рівняння синтезу інтерметаллідів методів СВС можна записати в такий спосіб:



Оскільки екзотермічний ефект освіти інтерметаллідів з елементів недостатньо високий для забезпечення формування порошків інтерметаллідів застосовується попередній підігрів. Завдяки малій щільності і високою питомою механічними властивостями найбільш перспективні порошки на основі алюмінідів нікелю, заліза і титану.

Високі властивості газотермічних покриттів з розроблених СВС-порошків поставили завдання промислового освоєння розроблених технологій. Так, наприклад, в Інституті порошкової металургії вперше була розроблена безреакторная технологія процесу синтезу композиційних порошків в режимі горіння в середовищі повітря, що забезпечує можливість синтезу композицій типу «карбід-метал», «інтерметаліди-оксид» і ін. В

умовах будь-якого термічного ділянки підприємства. В даний час на базі Інституту порошкової металургії створено дослідно-промислове виробництво композиційних порошоків потужністю 10 т / рік з можливістю випуску порошоків для напилювання вузького гранулометричного складу. Основні споживачі СВС-порошків є такі фірми: Metalspray (США), Union Technology (США), РАФАКО (Польща).

Контрольні питання

1. У чому суть явища, що отримало назву «твердого полум'я»?
2. Суть СВС-процесів і основні етапи розвитку СВС-технологій.
3. Які застосовуються основні технологічні типи СВС-процесів?
4. Опишіть узагальнену схему СВС-технологій?
5. Які матеріали застосовуються для синтезу композиційних порошоків?
6. У чому перевага синтезованих порошоків в порівнянні з традиційно застосовуваними для газотермічного напилення механічними сумішами і конгломерірованими порошками?

Лекція 7. СВС-процеси в газотермічних способах напилення і наплавлення покриттів.

План лекції

1. Застосування СВС-процесу для синтезу композиційних матеріалів, що застосовуються в газотермічних покриттях і процесах дугового наплавлення.

2. Властивості покриттів з композиційних механоактивованих СВС-матеріалів, наплавлених електродуговим способом.

3. Наноструктурні покриття.

1. Застосування СВС-процесу для синтезу композиційних матеріалів, що застосовуються в газотермічних покриттях і процесах дугового наплавлення.

Одним з нових напрямків в отриманні захисних покриттів є застосування попередньо механоактивованого композиційних матеріалів в процесах високотемпературного синтезу, а також застосування композитів, що містять в обсязі матриці нанорозмірні синтезовані включення, в процесах детонаційного напилення. Об'єднання СВС, детонаційного напилення та механохімії в єдину інтегральну технологію має певні перспективи в плані розвитку нанотехнологій. Результати досліджень В.І. Яковлева дозволили встановити, що для більшості технологічних параметрів (гранулометричний склад порошку 40-63 мкм., Товщина покриття за один постріл 10-20 мкм., Витрати газів горючої суміші - стехіометіческое співвідношення, дистанція напилення 50-100 мм., І т.п .) є вузький діапазон, при яких формуються покриття з досить високими властивостями міцності.

Розроблено двоступенева технологія, що поєднує процеси механічної активації порошкових сумішей і СВС, призначених для виготовлення та відновлення деталей сільськогосподарської техніки, схильних до інтенсивного зношування. Створено многокарбідні СВС-механокомпозіти,

що представляють собою нові композиційні матеріали зі структурою типу «упрочняюча фаза - матриця». Застосування складів типу «TiC + (Ni-Cr)», «TiC + SiC + (Ni-Cr)», «TiC + WC + (Ni-Cr)», «TiC + SiC + WC + (Ni-Cr)» дозволяє за допомогою порошкового електрода сформувати зносостійке покриття на деталях сільськогосподарського машинобудування.

Розроблено композиційні СВС-матеріали системи Р6М5 + TiC і NiCr-сталь + TiC, призначені для зміцнення деталей методами електродугової наплавки і детонаційного напилення, застосовуються для підвищення ресурсу стрілчастих лап культиваторів і сівалок. Можна зробити висновок про перспективність інтегрування СВС-процесів з газотермічним способами напилення покриттів.

Підприємства Міжгалузевий науково-виробничий центр «Елісон ЛТД», м Івано-Франківськ інформує про розробку електродів СВС-класу, що дозволяють наплавляти захисне покриття з твердістю 63-70 НRC, зносостійкість якого в 1,2 - 1,5 рази вище зносостійкості твердих сплавів типу ВК в абразивному середовищі.

Необхідно відзначити основний недолік СВС-технології, який полягає в тому, що вона не універсальна. Чи не кожен реакцію можна провести в режимі СВС, оскільки для цього вона повинна виділяти достатню кількість тепла. Це накладає обмеження на вибір матеріалів для синтезу.

В даний час в області СВС ведуться перспективні роботи по синтезу нанопорошків і наноматеріалів, створення композиційних матеріалів типу полімер-кераміка, синтезу надтвердих матеріалів. У частині методів наплавлення - завдання створення електродів на основі СВС-продукту неповного перетворення. Дореагування електрода в процесі наплавлення з виділенням тепла підвищує температуру наплавлення і забезпечує зниження енергоємності процесу.

2. Властивості покриттів з композиційних механоактивованих СВС-матеріалів, наплавлених електродуговим способом.

У сільськогосподарському машинобудуванні робочі органи

грунтооброблювальних машин і знарядь: лемеші плугів, стрілчасті лапи культиваторів, диски луцильників і інші для забезпечення достатнього рівня міцності і в'язкості виготовляють з вуглецевої або низьколегованою конструкційної сталі із змістом вуглецю від 0,45 до 0,75% з подальшою зміцнюючою термообробкою. Така термообробка не забезпечує достатнього рівня абразивної зносостійкості в роботі при контакті леза з ґрунтом, тому на нього наноситься, найчастіше за допомогою наплавлення, певний шар більш зносостійкого, але дорогого матеріалу.

Відомі порошки на основі нікелю (ГОСТ 21448-75, ТУУ 322-19-004-96, ТУ ІЕЗ 374-83), що самофлюсуються, покриття з яких після напилення і оплавлення володіють високою міцністю і твердістю. Проте їх зносостійкість в умовах сухого тертя також недостатньо висока.

В даний час досить активно розвивається метод отримання порошкових матеріалів шляхом високотемпературного синтезу, що саморозповсюджується (СВС), з попередньою механоактивуючою обробкою їх складових компонентів.

Попередня механічна активація порошкових реагуючих сумішей є ефективним способом управління реакцією твердофазного горіння для синтезу неорганічних матеріалів.

Тому в даний час інтенсивно розширяється область застосування композиційних матеріалів, синтезованих за технологією СВС-процесу, що механічно активується.

Одним з ефективних напрямів використання порошкових СВС-механокompозитів є їх застосування в процесі електродугового наплавлення зносостійких покриттів на деталі сільськогосподарського машинобудування.

Поверхневі шари робочих органів сільськогосподарської техніки в процесі експлуатації піддаються інтенсивному абразивному зношуванню в результаті взаємодії з ґрунтом.

Відома французька компанія «AGRICARB» для збільшення терміну служби робочих органів пропонує застосовувати спеціальні захисні пластини

із спеченого карбїду вольфраму, які припоюються в місцях найбільш схильних до зносу. Спосіб дорогий і вимагає забезпечення оптимального поєднання жорсткості пластини і її міцності на удар, а також приблизно однакову швидкість зносу сталевї основи і ділянки, захищеної карбїдною пластиною.

У різних галузях народного господарства, в тому числі і при ремонті сільськогосподарських машин, застосовується велика кількість методів і способів відновлення деталей. Аналіз даних дозволяє зробити висновок, що частка деталей, відновлюваних на підприємствах агропромислового комплексу методами наплавлення, найбільша і становить 34,4%.

Тому найбільш раціональне, на наш погляд, рішення, зазначеної проблеми, полягає в створенні нових матеріалів для наплавлення покриттів, що забезпечують встановлений ресурс деталей машин.

Процесом, що володіє значним потенціалом у отриманні нових матеріалів, в тому числі карбїдоміських, є високотемпературний синтез (СВС), відкритий в 1967 році групою вчених: Мержанов А.Г., Боровинська І.П. і Шкіря В.М.

Нове явище, що отримало назву «твердого полум'я» (офіційна назва «Явище хвильової локалізації твердофазних реакцій, які автогальмуються»). Тверде полум'я, яке було для того часу досить незвичайним явищем, являє собою процес, в якому вихідні реагенти, проміжні та кінцеві продукти залишаються в твердому стані протягом всього процесу перетворення. Тверде полум'я дозволило отримувати цінні тугоплавкі матеріали. Ця обставина привела до створення нового вискоєфективного методу їх виробництва - високотемпературного синтезу (СВС).

Одним з нових напрямків в отриманні захисних покриттів є застосування попередньо механоактивованих композиційних матеріалів в процесах високотемпературного синтезу, а також застосування композитів, що містять в обсязі матриці нанорозмірні синтезовані включення, в процесах детонаційного напилення. Об'єднання СВС, детонаційного напилення та

механохімії в єдину інтегральну технологію має певні перспективи в плані розвитку нанотехнологій. Результати досліджень В.І. Яковлева дозволили встановити, що для більшості технологічних параметрів (гранулометричний склад порошку 40-63 мкм., товщина покриття за один постріл 10-20 мкм., витрати газів горючої суміші - стехіометичне співвідношення, дистанція наплення 50-100 мм., і т.п.) є вузький діапазон, при яких формуються покриття з досить високими властивостями міцності.

Розроблена двоступенева технологія, що поєднує процеси механічної активації порошкових сумішей і СВС, призначених для виготовлення та відновлення деталей сільськогосподарської техніки, схильних до інтенсивного зношування. Створено багатокарбідні СВС-механокомпозити, що представляють собою нові композиційні матеріали зі структурою типу «зміцнююча фаза - матриця». Застосування складів типу «TiC + (Ni-Cr)», «TiC + SiC + (Ni-Cr)», «TiC + WC + (Ni-Cr)», «TiC + SiC + WC + (Ni-Cr)» дозволяє за допомогою порошкового електрода сформувати зносостійке покриття на деталях сільськогосподарського машинобудування.

Розроблено композиційні СВС-матеріали системи Р6М5 + TiC і NiCr-сталь + TiC, призначені для зміцнення деталей методами електродугової наплавки і детонаційного наплення, застосовуються для підвищення ресурсу стрільчастих лап культиваторів і сівалок. Зроблено висновок про перспективність інтегрування СВС-процесів з газотермічними способами наплення покриттів.

Підприємство Міжгалузевий науково-виробничий центр «Елісон ЛТД», м Івано-Франківськ інформує про розробку електродів СВС-класу, що дозволяють наплавляти захисне покриття з твердістю 63-70 НРС, зносостійкість якого в 1,2 - 1,5 рази вище зносостійкості твердих сплавів типу ВК в абразивному середовищі.

Необхідно відзначити основний недолік СВС-технології, який полягає в тому, що вона не універсальна. Не кожен реакцію можна провести в режимі СВС, оскільки для цього вона повинна виділяти достатню кількість тепла. Це

накладає обмеження на вибір матеріалів для синтезу.

В даний час в області СВС ведуться перспективні роботи з синтезу нанопорошків і наноматеріалів, створення композиційних матеріалів типу полімер-кераміка, синтезу надтвердих матеріалів. У частині методів наплавлення - завдання створення електродів на основі СВС-продукту неповного перетворення. Дореагування електроду в процесі наплавлення з виділенням тепла підвищує температуру наплавлення і забезпечує зниження енергоємності процесу.

Огляд науково-технічної літератури свідчить про перспективність робіт в області СВС-процесів стосовно до методів газополуменевого напилення і наплавлення.

Одне з принципово нових напрямків в отриманні захисних зносостійких покриттів - використання попередньої механоактивації порошкових компонентів для забезпечення високотемпературного синтезу нових композиційних порошкових матеріалів, а також їх застосування для дугового наплавлення і газотермічного напилення деталей машин.

Найбільшою зносостійкістю володіють тверді сплави на основі карбідів, одним з яких є карбід титану (TiC).

Для досліджень обираємо карбід титану, який характеризується високими значеннями твердості, теплостійкості, малими значеннями коефіцієнту тертя по більшості металів і сплавів і порівняно низькою вартістю, що дозволяє його розглядати як один з найперспективніших матеріалів для створення зносостійких покриттів. Крім того, відомо, що металокерамічні сплави на основі карбиду титану з металевою нікель-хромовою зв'язкою мають зносостійкість в 2-3 рази вище зносостійкості твердих сплавів на основі карбиду вольфраму з кобальтової зв'язкою.

В якості вихідних матеріалів для отримання порошкових наплавочних сумішей використовували порошки титану марки ВТ1-0, вуглецю марки ПМ-15. Функцію металевої зв'язки (матричного матеріалу) виконував самофлюсуючий наплавочний порошок марки ПГ-10Н-01 ТУУ 322-19-004-

96. Крім того, для збільшення теплового ефекту в процесі синтезу карбіду титану в механічну суміш вводиться термореагуючий порошок алюмініда нікелю ПТ-НА-01. Теплота утворення алюмініда нікелю становить 142 Дж/моль. Фракційний склад всіх вихідних порошкових компонентів знаходився в межах (63...100) мкм. Обрані компоненти змішувалися, і отримана порошкова суміш піддавалася механічній активації. Вибір даного 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 планетарних кульових млинах АГО-2.

У проведених експериментах обсяг барабанів - 160 см³, діаметр куль - 4-5 мм, маса куль 200 г. Час процесу механоактивації варіювалося в діапазоні від 2 до 6 хвилин.

Нові матеріали отримували за технологією СВС з використанням екзотермічних сумішей порошків титану марки ВТ1-0, (дисперсний склад 80 - 100 мкм), вуглецю марки ПМ-15 (дисперсний склад 10-50 мкм). Як металеву матрицю використовували порошкову суміш 20% ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01 (дисперсний склад 63-100 мкм).

СВС проводили на циліндричних зразках в умовах фронтального здійснення синтезу. Підпалювання реагуючого складу здійснювалося електричною дугою.

Дугова наплавка здійснювалась на заготовці із сталі 20. Наплавлення виконували з використанням інверторного джерела живлення Патон ВДІ-200Р DC TIG.

Наплавочну суміш отримували за такою технологією:

- змішування і механоактивація порошків Ti, C і матричного матеріалу 20% ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01;
- самопоширюючийся високотемпературний синтез карбідів;
- дроблення і механоактивація композиту, отриманого на першому

етапі, і додаткової кількості матричного матеріалу.

Без введення додаткової кількості матричного матеріалу композит, отриманий на першому етапі, не володіє достатніми зварювально-технологічними властивості для виконання якісної електродугової наплавки валиків.

Наплавлення СВС-механокомпозитів проводилося графітовим електродом діаметром 10 мм.

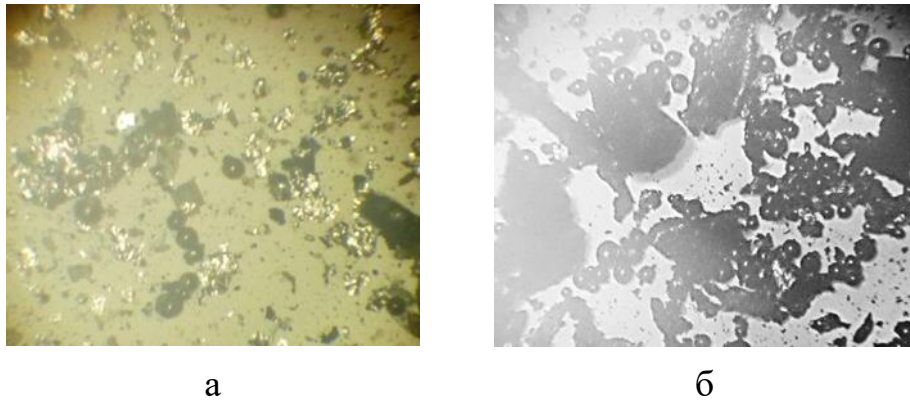
Дослідження структури проводилося за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8.

Мікротвердість покриттів вимірювалася на твердомірі марки ПМТ - 3 згідно ГОСТ 9450-76.

Порівняльні випробування на зношування наплавлених зразків проводили на машині тертя типу МІ за схемою «диск-колодка» в середовищі індустриального мастила марки І-20 при наступних режимах: середня окружна швидкість ковзання 0,42 м/с, питомий тиск на колодку при нормальному механохімічному процесі зношування становив 8,0 МПа, площа поверхні тертя 1,8 см².

Випробування наплавлених матеріалів на ударний вигин проводили згідно ГОСТ 6996-66 з використанням зразків типу ІХ, що мають V-подібні надрізи.

Морфологія вихідних компонентів порошкової термореагуючої суміші «Ті + С + ПГ-10Н-01 + ПТ-НА-01» представлена на рис. 7.1, а. Співвідношення компонентів Ті і С в суміші є еквімолярною, щоб в результаті подальшої СВС-реакції відбувався синтез карбіду титану стехіометричного складу. При цьому для забезпечення гарантованого розвитку СВС-реакції масова частка інертної матриці становила 20% ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01. Після механоактивації порошкової суміші протягом 180с утворюються конгломерати майбутніх механокомпозитів (рис. 7.1, б).

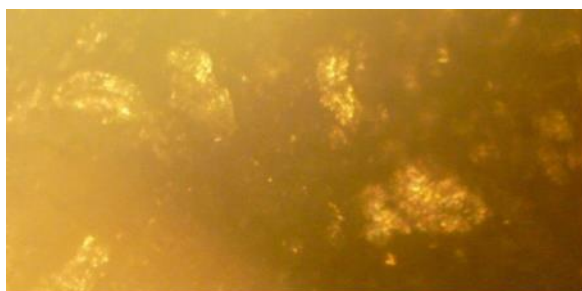


а) суміш вихідних компонентів, б) після 180с механоактиваційної обробки

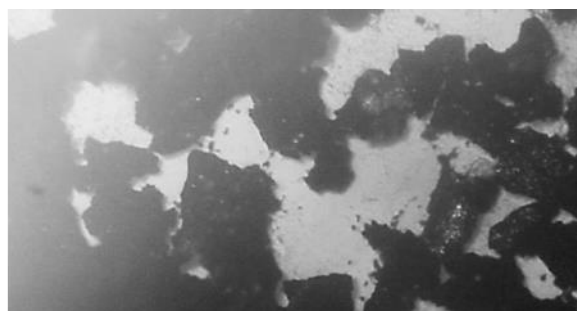
Рисунок 7.1 – Морфологія порошкових сумішей

В отриманій суміші 70% мас. (Ti + C) + 20% ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01 реалізується процес СВС, що забезпечує синтез карбіду титану в інертній (20% ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01) матриці. Процес синтезу карбіду титану відбувається в присутності рідкої фази - розплаву титану. Практичний інтерес представляє можливість низькотемпературного (по відношенню до температури займання) твердофазного синтезу в системі «Ti + C» в присутності інертної матриці. Синтез здійснювався шляхом фронтального пошарового горіння суміші. В результаті СВС процесу синтезується композит типу «TiC + (ПГ-10Н-01 + ПТ-НА-01)» з часткою матричного матеріалу, що дорівнює 30% (рис. 7.2).

Результати досліджень покриттів, отриманих з механоактивованих порошків СВС-композиту 20% (TiC + (20%ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01)) і 80% ПГ-10Н-01, свідчать про те, що в наплавленому шарі присутні частки карбідів. Так мікротвердість покриття, отриманого шляхом наплавлення механічної суміші складу 20% (TiC + (20%ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01)) + 80% ПГ-10Н-01 на сталеву основу, в 2...2,5 рази перевищує мікротвердість основного металу і досягає 760 НV. Товщина перехідної зони між наплавленим шаром і металом основи становить ~ 200 мкм.



а) x125



б) x140

а) - отриманий в результаті СВС процесу; б) - після помелу

Рисунок 7.2 – Композит «TiC + (20%ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01)»

Порівняння результатів триботехнічних випробувань наплавлених матеріалів показали явні переваги покриттів, наплавлених порошковою механічною сумішшю складу «20% (TiC + (20%ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01)) + 80% ПГ-10Н-01» (рис. 7.3).

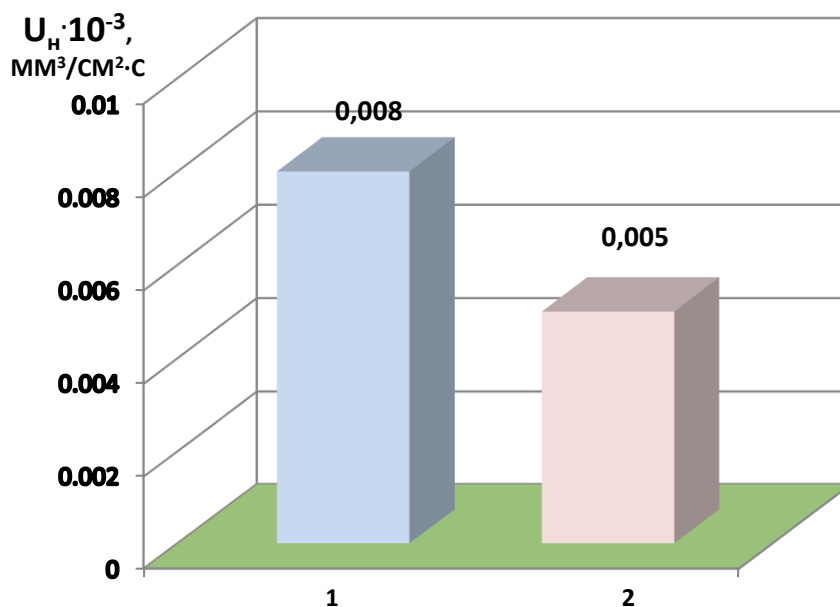


Рисунок 7.3 – Інтенсивність зношування в процесі нормального тертя в середовищі індустриального мастила пар: покриття ПГ-10Н-01 – сталь 45 HRC 50 (1); покриття механічної суміші складу 20% (TiC + (20%ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01)) + 80% ПГ-10Н-01 – сталь 45 HRC 50 (2)

З рис. 7.4 видно, що інтенсивність зношування покриття, наплавленого з механічної суміші порошку карбіду титана, отриманого по СВС технології, і ПГ-10Н-01 в 1,6 раз менше, ніж покриття ПГ-10Н-01.

Встановлено, що інтенсивність зношування покриттів залежить від об'ємної частки карбідної складової (рис. 7.4).

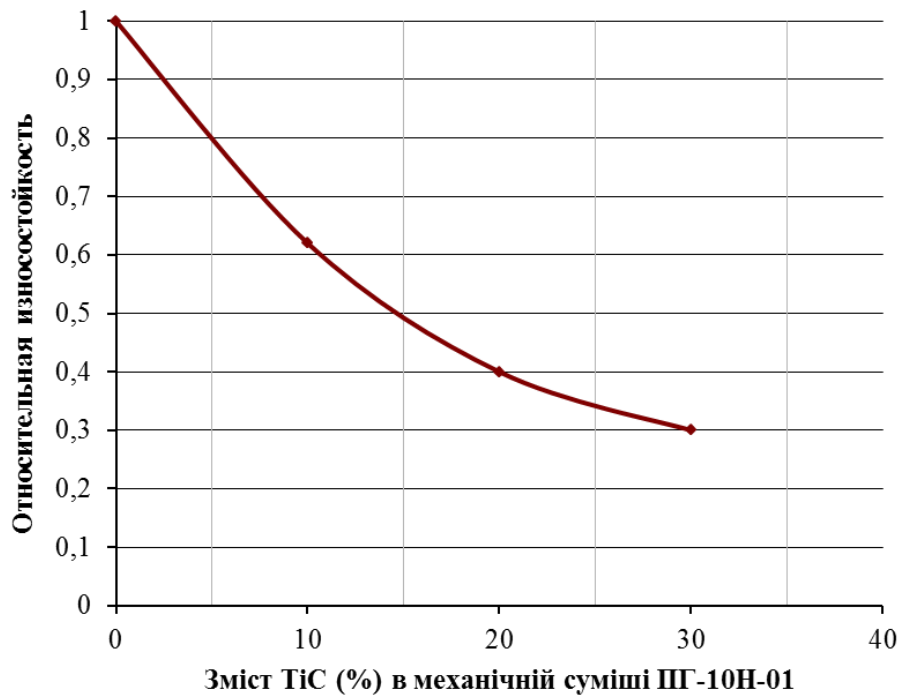


Рисунок 7.4 – Відносна зносостійкість покриттів отриманих при наплавленні СВС-механокомпозитів

З рис. 4 видно, що зі збільшенням вмісту карбіду титану зносостійкість наплавленого шару збільшується.

Результати випробувань матеріалів наплавлених шарів за визначенням ударної в'язкості, проведені відповідно до ГОСТ 6996-66 «Зварні з'єднання. Методи визначення механічних властивостей », представлені в таблиці 7.1.

З табл. 7.1 видно, що зі збільшенням вмісту карбіду титану ударна в'язкість наплавленого шару зменшується.

Таблиця 7.1 – Ударна в'язкість наплавлених механокомпозитів

№ п/п	Модифікуючий склад	Середнє значення KCV, Дж/см ²
1	10 % TiC + ПГ-10Н-01	4,7
2	20 % TiC + ПГ-10Н-01	3,4
3	30 % TiC + ПГ-10Н-01	2,3

Для встановлення взаємозв'язку режимів наплавлення з властивостями наплавлених матеріалів була визначена величина ефективної погонної енергії. Розрахунки виконувалися за формулою (ГОСТ Р ІСО 857-1-2009):

$$q_n = \frac{IU}{V_n} \dots \dots \dots (7.1)$$

де I – сила струму, А; U – напруга дуги, В; V_n – швидкість наплавлення, см/с.

Результати розрахунків зведені в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок ефективної погонної енергії при наплавленні механокомпозитів

Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість наплавлення, см/с	Погонна енергія, кДж/см
150	40	0,15	40,00
200	31	0,20	31,00
250	20	0,25	20,00

При збільшенні погонної енергії температура ванни розплаву підвищується, що сприяє розчиненню карбідних частинок. Про це свідчить збільшення інтенсивності зношування наплавлених зразків (рис. 7.5).

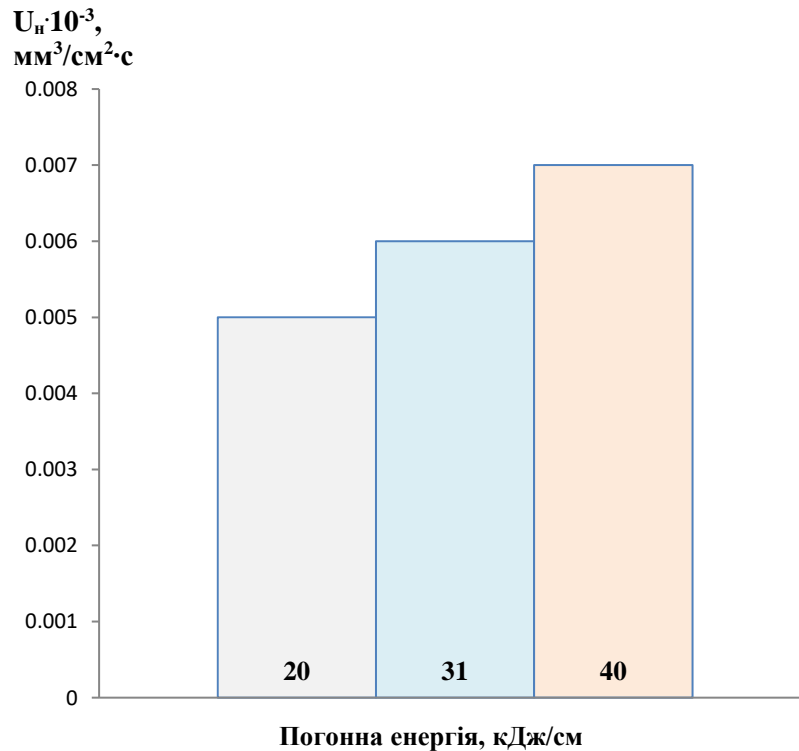


Рисунок 7.5 – Зміна інтенсивності зношування в залежності від величини погонної енергії при наплавленні механічної суміші складу «20% (TiC + (20%ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01)) + 80% ПГ-10Н-01»

Таким чином, виходячи з отриманих результатів проведених досліджень, можна рекомендувати наплавку виконувати при силі зварювального струму 250 А і швидкості наплавлення 2,5 мм / с.

3. Наноструктурні покриття.

Наноматеріали - це матеріали, що містять структурні елементи (кристалітів, волокна, шари, пори), геометричні розміри яких хоча б в одному напрямку не перевищують нанотехнологічної кордону - 100 нм (від 1 до 100 нм), що володіють якісно іншими в порівнянні з традиційними матеріалами фізичними, хімічними, механічними і біологічними властивостями, функціональними та експлуатаційними характеристиками.

Верхня межа діапазону обумовлена тим, що істотні зміни властивостей матеріалів починаються при розмірах структурних елементів менше 100 нм. Нижня межа діапазону обумовлена критичним розміром нанокристалічного

матеріалу як структурного елементу, що має упорядкований будова, тобто кристалічну решітку (наприклад, для заліза цю межу становить 0,5 нм).

Термін «наноматеріали» є об'єднуючим і включає в себе велику групу різних матеріалів - нанокристаллических, нанофазних, нанокомпозитних, нанопористих, а також нанокластери, наночас-тіці, нанопорошки, нанопокриття, фулерени, нанотрубки і т.д.

Перспективним напрямком генеративного формоутворення є створення наноструктурних функціональних покриттів.

Завдяки застосуванню високотвердих нанокристаллических зносостійких покриттів на основі нітридів, карбідів, боридів тугоплавких металів, багат шарових наноструктурних покриттів складного складу може бути істотно збільшена стійкість різних видів ріжучих інструментів і забезпечений значний прогрес в напрямку створення високоефективних інструментальних матеріалів, підвищена стійкість деталей, що працюють на тертя і знос .

Розроблено склади і технології нанесення надтвердих наноструктурних покриттів (мають мікротвердість 40 ... 80 ГПа), а також ультратвердих (з твердістю більше 80 ГПа), поступаються за твердістю тільки алмазу.

Нанорозмірні покриття, крім високої твердості, мають також більш високою міцністю в порівнянні з покриттями зі звичайною структурою, високою термічною стабільністю, надвисокої ударної в'язкостю. Ще одним їх важливою перевагою є зменшення рівня залишкових напруг і, як наслідок, потенційна можливість збільшення їх товщини в кілька разів.

Багатофункціональні наноструктурні покриття знаходять успішне застосування для захисту поверхні виробів та інструменту, подвергаючих одночасно різних видів зносу, впливу високих температур, агресивних середовищ. Це, перш за все, ріжучий і штамповий інструмент, прокатні валки, деталі авіаційних двигунів, навігаційно-приладових комплексів, газових турбін і компресорів; підшипники ковзання, сопла для екструзії скла

і мінерального волокна і т.д.

Іншими прикладами реального застосування наноструктурних покриття-тий можуть бути наступні:

- використання багатофазних складів (наприклад, TiB_2 / MoS_2) в качестве самозмащувальних покриттів для космічної техніки;

- застосування нанопокриттів (наприклад, на основі TiO_2 і полімерного сполучного) для забезпечення водо- і маслоотталкивающая властивостей поверхонь ряду виробів - автомобільного скла, скління літаків, корпусів резервуарів для зберігання рідин, будівельних конструкцій і т.д .;

- застосування керамічних багатофункціональних (зносостійких, корозійностійких) нанопокриттів для підвищення зносостійкості валів гвинтів і перископів підводних човнів, в інших вузлах механізмів, що працюють в умовах корозійних середовищ. Планується нанесення керамічних нанопокриттів на деталі реактивних і дизельних двигунів для підвищення їх робочих характеристик. Передбачається використання даних покриттів також в медицині - в стоматології і для імплантатів в ортопедії.

Нанопорошки є тонкодисперсними наддрібнозернистими кристалічними або аморфними утвореннями, розмір яких не перевищує 100 нм. Кількість атомів у поверхневому шарі і в об'ємі НП стає сумірною, і через це вони набувають унікальних фізико-хімічних та механічних властивостей, які суттєво відрізняють їх від властивостей матеріалів того ж хімічного складу у звичайному масивному стані. Внаслідок того, що атоми на поверхні наночастинок мають сусідів лише з одного боку, їх рівновага порушується, і проходить структурна релаксація, яка призводить до зміщення міжатомної відстані в шарі товщиною 2–3 нм. Таким чином, поверхневі шари частинок стають розтягнутими, а внутрішні – стиснутими. У наночастинках реалізуються умови, при яких міжатомна відстань закономірно змінюється при переході від центра частинки до її поверхні. Ультрадисперсні частинки мають істотно спотворену кристалічну ґратку, що впливає на енергію активації більшості процесів, в яких вони беруть участь, змінюючи їх

послідовність і звичний хід.

Малі кристалічні або аморфні частинки, з яких складаються нанопорошки, займають проміжну позицію між кластерами і однорідними матеріалами. Для частинок такого розмірного діапазону характерне різке (до 300 К) зниження температури плавлення, зменшення в 1,4 раза коефіцієнта лінійного розширення, зниження концентрації вакансій відносно макроскопічних розмірів.

Поява нанорозмірних компонентів у складі композиційних покриттів стабілізує структуру матриці, перешкоджає руху дислокацій, а сама наявність фази з високими фізико-механічними властивостями призводить до покращення інтегральних функціональних характеристик у цілому.

Контрольні питання

1. У чому суть механоактивації композиційних матеріалів?
2. Як залежить інтенсивність зношування покриттів від об'ємної частки карбідної складової?
3. Дайте визначення, що представляють собою наноматеріали?
4. Властивості нанопорошків.

Лекція 8. Економічна ефективність технологічного процесу відновлення деталей.

План лекції

1. Критерій вибору способу відновлення деталей з урахуванням їх ресурсу.
2. Оцінка витрат по нанесенню покриття.

1. Критерій вибору способу відновлення деталей з урахуванням їх ресурсу.

Вибір оптимального способу відновлення деталей з урахуванням їх ресурсу та економічної доцільності пропонується проводити з комплексного техніко-економічним критерієм (K_k), який представляє собою твір швидкості зношування (V) відновного покриття на питомі витрати з його напилювання (Зоб.уд):

$$K_k = V \cdot Z_{об.уд} \quad (8.1)$$

Критерій економічної ефективності технологічного процесу нанесення відновного покриття зручно представити як питомі витрати на напилення одиниці об'єму покриття. Це дозволяє порівнювати різні способи нанесення покриттів з економічної точки зору.

2. Оцінка витрат по нанесенню покриття.

Річні витрати по нанесенню покриття складають

$$Z_i = E_n K_i + C_i, \quad (8.2)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт окупності капітальних вкладень;

K_i - капітальні витрати (вартість технологічного обладнання, оснащення);

C_i - витрати на матеріал покриття, технологічні матеріали та електроенергію;

i - номер варіанта способу нанесення покриття.

Тоді витрати при нанесенні покриття на одну деталь складають

$$Z_{yoi} = \frac{Z_i}{N_i} = \frac{E_n K_i + C_i}{N_i}, \quad (8.3)$$

де N_i – кількість деталей, відновлюваних протягом року.

$$N_i = \frac{\Phi_i}{T_{ni}}, \quad (8.4)$$

де Φ_i - дійсний річний фонд часу роботи обладнання з урахуванням втрат часу з організаційних причин, на простої, огляди та ремонти;

T_{ni} - час нанесення покриття.

Підставляючи вираз (8.4) в (8.3) отримуємо наступну формулу

$$Z_{yoi} = \frac{T_{ni}(E_n K_i + C_i)}{\Phi_i} = T_{ni} \left(\frac{E_n K_i}{\Phi_i} + \frac{C_i}{\Phi_i} \right). \quad (8.5)$$

Аналізуючи вираз (8.5) робимо висновок, що перший доданок в дужках являє собою капітальні витрати, віднесені до однієї години дійсного фонду роботи обладнання, іншими словами - питомі капітальні вкладення. Другий доданок є технологічною собівартістю години роботи обладнання, тобто питомі витрати на нанесення покриття.

Якщо уявити час нанесення покриття T_{ni} в наступному вигляді

$$T_{ni} = \frac{F_i h_i}{Q_i}, \quad (8.6)$$

де F_i – сумарна площа відновлюваної поверхні, см^2 ;

h_i – товщина покриття, см ;

Q_i – продуктивність нанесення покриття, $\text{см}^3/\text{хв}$.

Тоді вираз для визначення витрат при нанесенні покриття на одну деталь (8.5) набуде вигляду

$$Z_{yoi} = \frac{F_i h_i}{60 Q_i} \left(\frac{E_n K_i}{\Phi_i} + C_{mi} \right), \quad (8.7)$$

де $C_{mi} = \frac{c_i}{\Phi_i}$ – технологічна собівартість години роботи обладнання.

Отриманий вираз (8.7) дозволяє визначити витрати на нанесення покриття необхідної товщини на задану площу відновлюваної поверхні або, іншими словами, технологічну собівартість нанесення покриття.

Для зручності порівняльної оцінки різних способів нанесення відновного покриття отримаємо вираз без урахування геометричних характеристик покриття (площі і товщини), тобто розділимо витрати з нанесення покриття на його обсяг, тобто. $V_i = F_i h_i$

$$Z_{об. yoi} = \frac{1}{60 Q_i} \left(\frac{E_n K_i}{\Phi_i} + C_{mi} \right). \quad (8.8)$$

Формула (8.8) являє собою багатопараметричну техніко-економічну модель, що дозволяє визначити витрати з напилювання одиниці об'єму відновного покриття, що i є критерієм економічної ефективності технологічного процесу.

Мінімум $Z_{об. yoi}$ буде свідчити про високу економічну ефективність

технологічного процесу відновлення деталей. У той же час мінімальний рівень витрат не завжди може відповідати необхідній зносостійкості деталі. Тому вибір оптимального технологічного процесу відновлення деталей слід проводити з комплексного техніко-економічним критерієм K_e (8.1), враховує швидкість зношування нанесеного покриття:

$$V = \frac{I}{\Delta T}, \quad (8.9)$$

де I – лінійний знос деталі (зразка);

ΔT – інтервал часу, протягом якого виник знос.

Контрольні питання

1. Критерій вибору способу відновлення деталей.
2. Що є критерієм економічної ефективності технологічного процесу нанесення відновного покриття?
3. Чому в якості критерію економічної ефективності технологічного процесу беруть витрати з напилювання одиниці об'єму відновного покриття?

Список літератури

1. Лузан С.О. Комплексна оцінка номенклатури деталей, які визначають ресурс мобільної техніки та її безпеку / С.О. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2014. – Вип. 148. – С. 478-485.
2. Лузан С.О. Класифікація типових модульних сполучень деталей засобів транспорту / С.О. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2014. – Вип. 151. – С. 101-107.
3. Лузан С.А. Математическое моделирование интегрированного газопламенного напыления / Науковий вісник будівництва – Харків: ХНУБА, 2014. – № 2(76). – С. 160-163.
4. Лузан С.А. Оценка микротопографии при щеточной подготовке напыляемых поверхностей деталей / С.А. Лузан // Вестник ХНАДУ : сб. научн. трудов. – 2014. – Вып. 67. – С. 32-36.
5. Лузан С.А. Исследование влияния щеточной обработки, улучшающей условия труда, на свойства напыляемого износостойкого покрытия С.А. Лузан, Н.М. Кириенко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 156. – С. 536-543.
6. Лузан С.А. Повышение ресурса деталей шасси колесных тракторов во время их восстановительного ремонта / С.А. Лузан // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. - № 9(1118). – С. 17-22.
7. Лузан С.А. Анализ методов и способов восстановления деталей сельскохозяйственных машин / С.А. Лузан, Н.М. Кириенко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 156. – С. 544-552.
8. Лузан С.А. Прочность сцепления газопламенных покрытий и шероховатость напыляемой поверхности при использовании щеточной обработки / С.А. Лузан // Науковий вісник будівництва – Харків: ХНУБА, 2015. – № 1(79). – С. 226-230.
9. Лузан С.А. Исследование влияния параметров вибрационной обработки на износостойкость газопламенных покрытий системы Ni-Cr-B-Si / С.А. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 158. – С. 9-14.
10. Лузан С.А. Определение способов восстановления деталей сельскохозяйственных машин, обеспечивающих их ресурс на уровне и превышающем уровень новых / С.А. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 158. – С. 93-98.
11. Лузан С.А. Исследование зависимости скорости изнашивания газопламенных покрытий от мощности разряда при электроискровом легировании / С.А. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 159. – С. 60-65.
12. Лузан С.А. Пути решения проблемы повышения ресурса деталей тракторов плазменным напылением с учетом обеспечения

взрывопожаробезопасности технологии / С.А. Лузан, Н.М. Кириенко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 156. – С. 581-587.

13. Лузан С. Влияние параметров вибрационной обработки на износостойкость газопламенных антифрикционных покрытий / С. Лузан, Н. Кириенко // MOTROL. Commission of Motonization and Energetics in Agriculture. – Poland: 2015. – Vol. 17. – No. 7. P. 35-38.

14. Luzan S. The study of possible application of plasma alumina coating on machine parts / S. Luzan, A. Sidashenko // MOTROL. Commission of Motonization and Energetics in Agriculture. – Poland: 2016. – Vol. 18. – No. 7. P. 15-18.

15. 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.

16. Сідашенко О.І. Властивості покриттів з композиційних механоактивованих СВС-матеріалів, наплавлених електродуговим способом / О.І. Сідашенко, А.С. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2017. – Вип. 183. – С. 134-144.

17. Лузан С.А. Критерии выбора способа восстановления деталей машин и определение рационального маршрута технологии / С.А. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2017. – Вип. 183. – С. 45-56.

18. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.

19. Лузан С.А. Газотермическое напыление покрытий [Текст]: Монография. - Харьков: Издательство "НТМТ", 2009. - 134 с.