

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

РОСКОВИНСЬКИЙ ДЕНИС ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.791.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розробка поєднаної плазмової наплавлювально-
механічної обробки деталей машин для підвищення
їх надійності**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Д.О. Росковинський

Керівник роботи

Дерев'янку Д.А.

д.т.н., професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Росковинський Денис Олександрович. Розробка поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки деталей машин для підвищення їх надійності. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

За результатами досліджень розроблено технологію чорнової поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки для відновлення робочих поверхонь деталей, спроектовано та виготовлено обладнання для здійснення процесу, а також виконано монтаж та пуск двох установок для поєднаної обробки циліндричних деталей у відділенні з ремонту тракторів К-700. У цих установках застосований гідромеханічний привід до ріжучого інструменту, що забезпечує безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя.

Для поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки корінних та шатунних шийок колінчастого валу впроваджено установку з електромеханічним механізмом до ріжучого інструменту, що зумовлено складною конфігурацією деталі.

Викладені дані підтверджують доцільність застосування поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки для відновлення циліндричних деталей автотракторної техніки в ремонтному виробництві сільського господарства.

Ключові слова: плазмово наплавлювально-механічна обробка, технологія, зміцнення, зношування..

ANNOTATION

Roskovinsky Denis Alexandrovich. Development of Combined Plasma Surfacing and Mechanical Processing of Automobile Details for Increase of their Reliability. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

According to the research results, the technology of rough combined plasma surfacing and machining for restoration of working surfaces of parts was developed, equipment for process implementation was designed and manufactured, as well as installation and commissioning of two units for combined processing of cylindrical parts in K-700 tractor repair department. These units use a hydromechanical drive for the cutting tool, which provides stepless adjustment of the spindle speed.

For the combined plasma surfacing-mechanical processing of the crankshaft and connecting rod necks of the crankshaft, an installation with an electromechanical mechanism was introduced to the cutting tool, which is due to the complex configuration of the part.

The presented data confirm expediency of application of the combined plasma surfacing-mechanical processing for restoration of cylindrical details of autotractor equipment in repair production of agriculture.

Key words: plasma surfacing, technology, hardening, wear.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНА ПЛАЗМОВА НАПЛАВЛЮВАЛЬНО-МЕХАНІЧНА ОБРОБКА.....	8
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ ППНМО.....	22
РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Експлуатаційні характеристики деталей, що визначають надійність машин, значною мірою залежать від стану поверхні та властивостей, що купуються в результаті обробки. Отже, одним із основних шляхів підвищення надійності є застосування технологічних методів обробки, що забезпечують високі експлуатаційні характеристики деталей машин. Для цього необхідно вивчити умови експлуатації поверхонь та природу їх руйнування. Відомо, що передчасна відмова 90% деталей машин обумовлена зношуванням, механізмами якого є втомне руйнування в пружній або пластичній областях і мікрорізання при абразивному зношуванні.

Для запобігання поверхневому руйнуванню необхідно підібрати індивідуальний метод. Наприклад, підвищення надійності криогенної арматури слід застосовувати методи поверхневого пластичного деформування. Для збільшення зносостійкості деталей, що зазнають абразивного зношування, рекомендується використовувати високотверді та міцні покриття, які наносять хіміко-термічними способами; сильно зношені поверхні (зі зношуванням до 10 мм) доцільно відновлювати за допомогою плазмового наплавлення і т.п.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – розробити технологію чорнової поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки для відновлення робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин.

Завдання досліджень:

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати особливості процесу поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки.
2. Обґрунтувати параметри та режими поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки.

Об'єкт дослідження: технологічний процес поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки.

Предмет дослідження: закономірності технологічного процесу поєднаної плазмової наплавлювально-механічної обробки деталей сільськогосподарських машин від конструктивних та технологічних параметрів запропонованого обладнання.

Методи дослідження. Лабораторні дослідження проводилися в лабораторіях кафедри процеси, машини і обладнання Поліського національного університету з урахуванням загальноприйнятих і приватних методик, розроблених автором. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Сукманюк О. М., Шуляр І. В., **Росковинський Д. О.** Технологічні прийоми підвищення довговічності деталей машин, зміцнених мікродуговим окисленням. Збірник тез доповідей XXII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвячену 121-річчю з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 16–18 жовтня 2021 року, м Ніжин. Ніжин. 2021. С. 206-208.

2. Куликівський В., Скринська М., Матус О., **Росковинський Д.** Методи створення зміцнювальних зносостійких покриттів. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 58-60.

3. Ярош Я.Д., Яковчук Ю.В. **Росковинський Д.О.** Механічна обробка наплавлених твердих покриттів. «Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України», присвячену 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. м. Київ. 2021. С. 229-232.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє розроблена технологія зміцнення деталей сільськогосподарських машин.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 45 сторінок комп'ютерного тексту, містить 24 рисунки та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНА ПЛАЗМОВА НАПЛАВЛЮВАЛЬНО-МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

Поєднання наплавлення з механічною обробкою при відновленні деталей сільськогосподарських машин дозволяє підвищити продуктивність операції та збільшити стійкість ріжучого інструменту. Однак здійснювати суміщену обробку складно, оскільки для цього необхідно встановити оптимальну температуру наплавленого шару на початку різання та визначити залежність між швидкостями наплавлення та механічної обробки.

Розглянемо два варіанти механічної обробки наплавленого шару.

Перший варіант - здійснення механічної обробки твердосплавного шару різця відразу після завершення наплавлення та встановлення режимів різання, що відповідають механічній обробці. Ріжучий інструмент на певній відстані приводом переміщається за плазмовою дугою і зрізає верхній шар наплавленого металу за швидкості, встановленої для плазмового наплавлення.

Переваги цього варіанта: використання як ріжучого інструменту звичайних токарних різців; простота налаштування на режим різання; можливість механічної обробки товстих шарів, наплавлених у два-три проходи.

Недоліки: додаткові трудовитрати, низька ефективність механічної обробки тонких наплавлених шарів, внаслідок їх швидкого охолодження, складність встановлення оптимальних швидкостей різання через зміну температури наплавленого шару з часом.

При використанні другого варіанта – суміщеної обробки – зазначені недоліки виключаються, проте ускладнюється кінематика різання. У зв'язку з цим для розробки технологічного процесу сполученої обробки необхідний комплексний підхід, що зв'язує кінематичні та технологічні параметри обох операцій.

Для механічної обробки деталей типу тіл обертання з наплавленими шарами при малих швидкостях найбільш перспективні способи, що базуються на

принципі постійного переміщення леза. Їхня відмінна риса - повідомлення ріжучому інструменту примусового обертання з оптимальною окружною швидкістю.

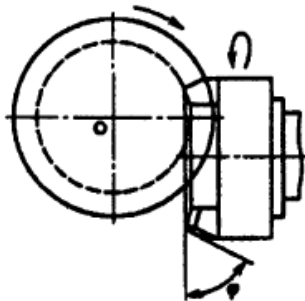


Рис. 1.1. Схема фрезоточіння циліндричної деталі

Аналіз робіт показав, що для суміщення з наплавленням циліндричних деталей найбільш прийнятні ротаційне точіння з примусовим обертанням ріжучої чашки та фрезоточіння (Рис. 1.1).

Ротаційне точіння з примусовим обертанням ріжучого елемента можна здійснювати за різними схемами різання, відповідно до яких передньою поверхнею можуть служити торець ріжучої чашки, зовнішня конічна або торцева гвинтова поверхня.

Відомо, що цей вид різання в даний час має обмежене застосування з таких основних причин:

- наявність в більшості робіт з ротаційного точіння рекомендацій, що застосовуються тільки до напівчистої та чистої обробки циліндричних поверхонь;
- неможливість обробки деталей ступінчастої форми;
- складність конструкції інструменту, необхідність його виготовлення спеціального обладнання та оснащення;
- необхідність забезпечення досить жорсткої системи верстат - пристрій-інструмент - деталь;
- порівняно велика витрата електроенергії для здійснення примусового обертання ріжучого елемента.

На підставі зазначених причин та результатів експериментально-виробничих випробувань можна зробити висновок про те, що застосування ротаційного точіння для обробки наплавлених поверхонь при відновленні зношених деталей сільськогосподарських машин недоцільно.

Інший високопродуктивний вид механічної обробки тіл обертання на токарних верстатах – фрезоточіння (Рис. 1.1), при якому як ріжучий інструмент використовують торцеві фрезерні головки.

На цей час є результати лише теоретичних досліджень у галузі холодної обробки металів, які розкривають можливість зазначеного методу повною мірою. З аналізу робіт, виконаних на цю тему, випливає, що фрезерування тіл обертання на токарних верстатах фрезами торцевими засноване на схемі різання, зображеної на рис. 1.2.

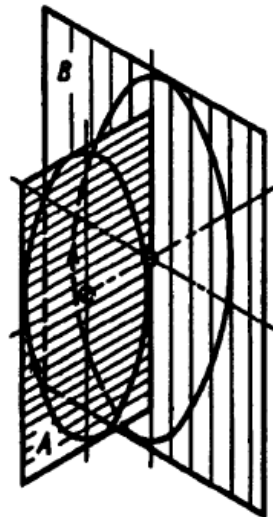


Рис. 1.2. Схема фрезерування тіл обертання торцевими фрезами

При фрезоточінні процес різання здійснюється в результаті одночасного обертання з різними кутовими швидкостями оброблюваної деталі А і ріжучого інструменту (їх осі обертання взаємно перпендикулярні) при рівномірному прямолінійному русі ріжучого інструменту. Він може переміщатися вздовж осі обертання деталі по дотичній до оброблюваної деталі, рідше - вздовж осі фрези.

Перевага фрезоточіння тіл обертання на токарних верстатах у порівнянні з точінням - чергування процесу різання з відпочинком зуба фрези, під час якого

температура його робочих поверхонь знижується. Під впливом теплового фактора механічні характеристики матеріалу зуби фрези при механічній обробці нагрітої деталі погіршуються менше в порівнянні з характеристиками різця, що знаходиться в безперервному контакті з поверхнею.

Головним рухом при фрезеруванні тіл обертання є фрези. Подача на зуб на етапі врізування:

$$S_z = \pi D_3 n_3 / (z n_\phi \cos \alpha), \quad (1.1)$$

де D_3 - діаметр заготовки, мм; n_3 і n_ϕ - частота обертання відповідно заготовки та фрези, хв^{-1} ; z - кількість зубів фрези; α - кут підйому гвинтової лінії.

Максимальна товщина шару, що зрізається, при фрезеруванні тіл обертання:

$$\delta_{max} = \sqrt{\pi^2 (D_3 - f)^2 + S_0 \sin \varphi} / (n_\phi z), \quad (1.2)$$

де S_0 - подача на оберт; φ - кут у плані головної ріжучої кромки.

З аналізу формули (1.2) випливає, що δ_{max} за інших рівних умов залежить від S_0 і n_3 / n_ϕ .

Фрезоточінням можна з високою продуктивністю обробляти деталі типу вал на токарному верстаті. При цьому стійкість інструменту підвищується внаслідок рівномірного зношування по довжині ріжучої кромки зубів. Цей вид різання доцільно поєднувати з наплавленням, якщо швидкість заготовки, що обертається, обумовлена режимом наплавлення, а залишкова теплота покращує умови різання.

При виборі обладнання для ППНМО деталей сільськогосподарських машин у процесі відновлення робочих поверхонь враховують такі фактори:

- конструктивні особливості деталей, що відновлюються (циліндричні, конічні, плоскі, фасонні та ін.);
- технологію наплавлення (по гвинтовій лінії з коливаннями або без них);
- вид присадного матеріалу (порошок, дріт, прутки); технологію механічної обробки у процесі суміщення (точіння, фрезерування, стругання, шліфування тощо);

- технічний рівень обладнання (ступінь універсальності, продуктивність, якість обробки);

- надійність у роботі (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереження);

- органолептичні, ергономічні, естетичні та інші властивості.

Установка для ППНМО зовнішніх поверхонь циліндричних деталей складається з модернізованого токарного верстата, фрезерного агрегату з приводом до ріжучого інструменту (електро- або гідромеханічним), джерела живлення стисненої дуги, блоку управління збудженням чергової та основної стислих дуг, механізму подачі присадного матеріалу коливачів - вібратора, пристрою для стабілізації довжини плазмової дуги при суміщеній обробці, газота водоживильного обладнання, плазмотрона.

Як металообробне обладнання для ППНМО в залежності від розмірів відновлюваних деталей можна використовувати модернізовані токарні верстати моделей 16K20, 1Д63, 164, 165, забезпечені засобами захисту очей оператора від світлової дії стисненої дуги; пристроями для видалення газів, пари, аерозолів та інших виділень, що утворюються в робочій зоні; пристроями для підведення до заготовки струму силою до 300 А; механізмом для зменшення частоти обертання заготовки відповідно до режиму процесу наплавлення.

Джерелом живлення стиснутої дуги можуть бути зварювальні перетворювачі, випрямлячі з напругою холостого ходу не менше 50 В (необхідна умова для надійного збудження стиснутої дуги). Таким чином, як джерело живлення можна використовувати обладнання наступних моделей: ВДУ-504, ПСО-500, ПСУ-500, ТІР-700Д та ін.

Процесом наплавлення управляють за допомогою виносного пульта, що входить до складу установки. Для цього можна використовувати блоки керування від установок УМП-6, УПС-301 після їх невеликої модернізації.

Подача зварювального дроту здійснюється за допомогою автоматів АДСП-2, АДСВ-2.

Для подачі порошкового присадного матеріалу в установках УМП-6 УПС-301 передбачені живильники, що служать для дозування гранульованих матеріалів. Але вони, як показала практика, складні за конструкцією, вимагають точної грануляції матеріалів та не забезпечують точність дозування в процесі ППНМО, що значно погіршує якісні показники та веде до додаткової витрати присадкового матеріалу.

До плазмотрона газ подається з балона з редукованим тиском. Витрата газу контролюється за допомогою витратомірів (ротаметрів РС-3, РС-5, РМ-5).

Для плазмового наплавлення використовують переважно стандартне зварювальне обладнання після деякої модернізації його окремих вузлів.

Промисловістю освоєно виробництво спеціалізованих установок для плазмового наплавлення (А-1299, У-151М, У-764, У-516), розроблених в Інституті електрозварювання ім. О.О. Патона. Однак ці установки неможливо використовувати для ППНМО, тому що вони не забезпечують жорсткість системи верстат - пристрій - деталь. Крім того, їх не можна застосовувати при різанні через відсутність механізму переміщення ріжучого інструменту в процесі механічної обробки, а також пристрої, що забезпечує синхронне переміщення ріжучого інструменту (фрези, різці, протяжки) та плазмового пальника.

Для здійснення процесу різання при ППНМО найчастіше використовують стандартний різальний інструмент (фрези збірні та різці токарні) з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин.

Розробка схеми встановлення та елементів обладнання для ППНМО. Схема установки для ППНМО (Рис. 1.3) включає принципові схеми плазмового наплавлення і механічної обробки.

Основні елементи обладнання для ППНМО:

- для наплавлення – плазмотрон, дозатор, вібратор, джерело постійного струму, блок управління збудженням чергової та основної плазмових дуг, система газо- та водопостачання;

- для механічної обробки – пристрій, що забезпечує синхронне переміщення ріжучого інструменту та плазмового пальника, фрезерна головка з гідро- або електроприводом, модернізований токарний верстат, система управління процесом механічної обробки.

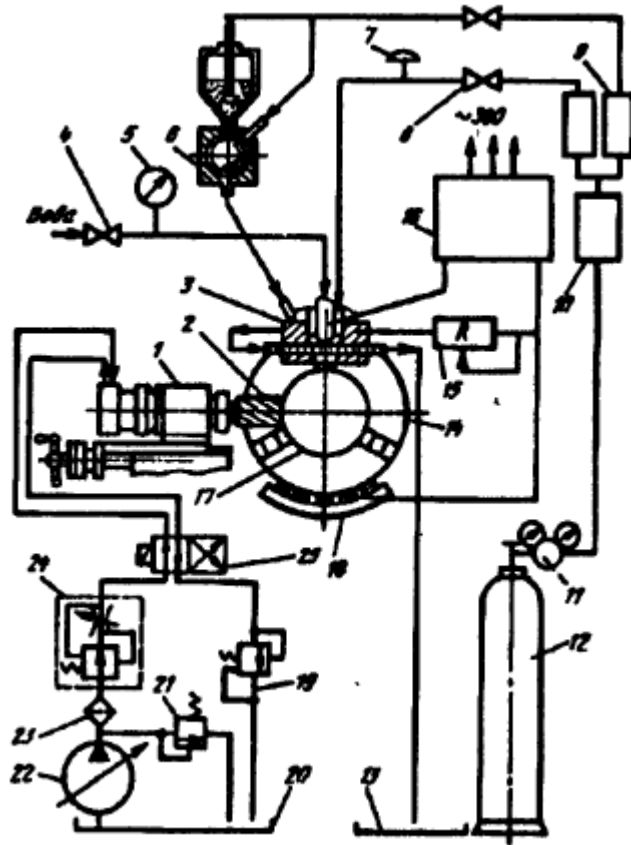


Рис. 1.3. Схема установки для ППМО: 1 – фрезерна головка; 2 – фреза; 3 – плазмотрон; 4, 8 – вентилі; 5 – манометр; 6 – дозатор; 7 – реле; 9 – ротаметр; 10 – ресивер; 11 – редуктор; 12 – балон з газом; 13 – гідробак; 14 – патрон; 15 – резистор; 16 – джерело живлення; 17 – заготовка; 18 – струмознімач; 19 – пропорційний клапан; 20 – мастильний бак; 21 – запобіжний клапан; 22 – гідронасос; 23 – фільтр; 24 – регулятор гідронасосу; 25 – регулятор потоку.

Плазмотрон - це спеціальний пристрій, в якому дуговий розряд стискається потоком робочого газу. В результаті цього вдається отримати стабілізовану плазмову дугу, здатну зберігати потужність при достатньому видаленні від матеріалу, що обробляється і забезпечувати вільну подачу в зону стисненої дуги присадочного матеріалу у вигляді порошку і дроту.

Аналіз конструкцій плазмових пальників показав, що плазмотрони розрізняються за способом отримання стисненої дуги (плазмотрони, що працюють при прямій та зворотній полярності); за конструкцією захисних сопел (плазмотрони з відкритою та закритою стиснутими дугами), за формою плазмового пальника (циліндричні, конічні, призматичні) та ін.

Незалежно від типу плазмотрона при ППНМО до них висувають низку загальних та додаткових вимог.

Загальні вимоги до плазмотронів: технологічність виготовлення та ремонту, можливість швидкої заміни найбільш теплонавантажених елементів, довговічність та надійність у роботі при багаторазовому збудженні плазмової дуги, стабільність її горіння у діапазоні допустимих робочих значень сили струму, надійність захисту зварювальної ванни від впливу навколишнього середовища.

Додаткові вимоги: зменшена ширина плазмотрона (при ППНМО ступінчастих поверхонь), можливість захисту очей оператора від впливу прямого світлового потоку плазмової дуги при налаштуванні режимів різання, виключення попадання стружки в зону наплавлення та ін.

Оскільки існуючі конструкції плазмотронів не відповідають додатковим вимогам, в НВО "Кріогенмаш" розроблена конструкція плазмотрону, що забезпечує стабільність роботи в процесі ППНМО. На рис. 1.4. зображено плазмотрон ГСП-1282 для наплавлення в процесі ППНМО. Він складається з охолоджуваного корпусу 7 призматичної форми з отвором b в нижній частині і каналом a для підведення плазмоутворюючого газу і розміщення електрода 1 з корпусом 9 в ізоляторі 8, соплового охолоджуваного блоку 2, виконаного у вигляді пластини з отворами і встановленого в нижній частині корпусу.

При подачі плазмоутворюючого газу в канал між електродом і сопловим блоком 2 виникає чергова дуга. Іонізований газ через сопловий отвір b надходить до оброблюваної поверхні, в результаті чого виникає основна дуга між

електродом 1 і поверхнею оброблюваної деталі. У міру подачі газопорошкового середовища з дозатора в зону дугоутворення відбувається процес наплавлення.

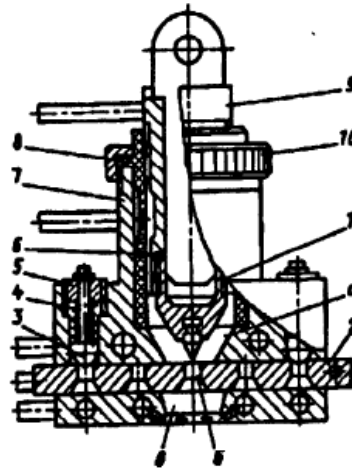


Рис. 1.4. Плазматрон ГСП-1282 ППНМО: 1 – електрод; 2 – сопловий блок; 3 – стопор; 4 – пружина; 5 – втулка; 6 – прокладка; 7 – корпус; 8 – ізолятор; 9 – корпус; 10 – гайка; а – канал; б, в – соплові отвори.

Конструкція плазматрона забезпечує можливість наплавлення деталей ступінчастої форми, надійно захищає очі оператора від прямого впливу світлового потоку стисненої дуги. Крім того, його передня частина забезпечена відбивачем, що оберігає від випадкового попадання стружки в зону наплавлення.

Іншим важливим елементом установки для ППНМО є пристрій для стабілізації довжини стисненої дуги та повідомлення плазмовому пальнику рівномірних коливань (ГСП-1283), яке також розроблено в процесі освоєння ППНМО. Існуючі конструкції маніпуляторів для коригування положення плазмових пальників, розроблені у ВНПЕСО, ВПТенергомаш, ВО "Іжорський завод" та інших організаціях мають в основному автономне ручне управління. Їх недоліками є складна кінематична схема, можливість вібрацій у процесі обробки внаслідок відносно малої жорсткості універсальності та, найголовніше, неможливість синхронного переміщення плазматрона та ріжучого інструменту при забезпеченні стабільності довжини стисненої дуги.

Пристосування (рис. 1.5) для стабілізації довжини стиснутої дуги працює в такий спосіб. Плазматрон встановлений у вібраторі, закріпленому на

кронштейнах 1, 13 та шарнірно з'єднаному з тягами 9,10. У поперечному напрямку плазмотрон рівномірно переміщається щодо заготовки 5, встановленої в токарному патроні. Переміщення плазмотрона у вертикальній площині здійснюється за допомогою троса 14. По мірі руху поперечних салазок 3 з різальним інструментом 4 плазмотрон за допомогою троса 14 переміщається до центру заготовки. 5. Зворотний рух відбувається під дією пружин 11,12 кручення.

Пристосування просте у виготовленні, забезпечує стабільну довжину стисненої дуги та синхронне переміщення плазмотрона та ріжучого інструменту.

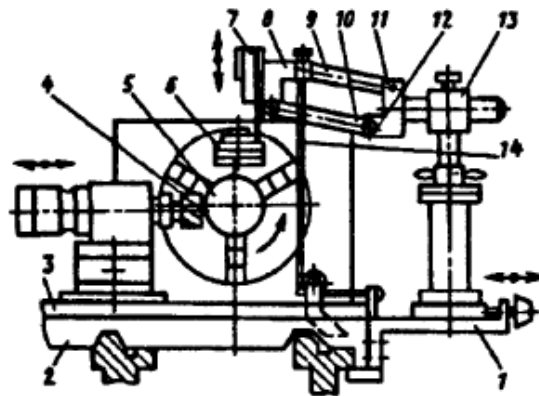


Рис. 1.5. Пристрій для стабілізації довжини стисненої дуги: 1, 8, 13 - кронштейни; 2 - супорт; 3 - санки; 4 - фреза; 5 - заготовка; 6 - пальник; 7 - вібратор; 9,10 - тяги; 11,12 - пружини; 14 - трос.

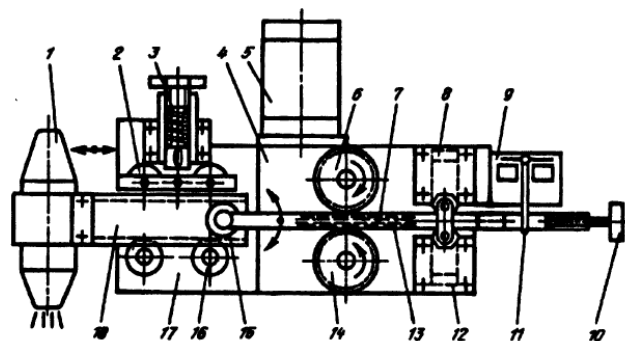


Рис. 1.6. Пристрій для повідомлення коливань плазмового пальника: 1 - плазмотрон; 3,16 - роликові напрямні; 3 - пружина; 4 - редуктор; 5 - електродвигун постійного струму; 6,14 - зубчасті колеса; 7,13 - рейки; 8,12 - ефектромагніти; 9 - сигнальний блок; 10 - регулювальний гвинт; 11 - важіль; 15 - тяга; 17 - кронштейн; 18 - повзун.

Якість наплавленого шару, і сталість товщини покриття в процесі наплавлення істотно залежать від конструкції пристрою для повідомлення пальника коливань. Існують стандартні вібратори на наплавних установках (У-516, А-1299 та ін.) переважно ексцентрикового і пневматичного типів, але вони не забезпечують рівномірність переміщення пальника по довжині при зворотно-поступальному русі.

У процесі створення експериментальної установки було розроблено такий пристрій, що забезпечує рівномірність переміщення пальника і безступінчасте регулювання амплітуди коливань у процесі наплавлення. Принципова схема пристрою для повідомлення коливань плазмового пальника зображено на рисунку 1.6.

Як дозатор використано розроблений у НВО "Кріогенмаш" живильник барабанного типу (рис. 1.7), що дозволяє значно підвищити точність дозування порошкових матеріалів.

Живильник працює наступним чином. Порошок, призначений для наплавлення, з бункера надходить у патрубок 6. При включенні безступінчастого електромеханічного приводу вал 9 з дисками 2, 5 обертається, порошок засипається в канавки трикутні, 6. Одночасно в патрубок 8 подається захисний газ. У міру обертання дисків порошок висипається з канавок і газопорошкова суміш заповнює отвір патрубку 10, звідки надходить у зону наплавлення по трубопроводу. Кількість порошку, що дозується, визначається швидкістю валу 9 з електромеханічним приводом. Розроблений живильник, як показали виробничі випробування, повністю задовольняє вимогам, що висуваються технологією відновлення зношених деталей.

Для здійснення процесу різання при ППНМО у НВО "Кріогенмаш" розроблено конструкцію спеціальної фрезерної головки (Рис. 1.8). Існуючі до цього часу фрезерні головки мають великі габарити внаслідок застосування клинопасових і зубчастих передач. Нова конструкція є компактним, зручним в

експлуатації механізмом з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя та забезпечений пристроєм швидкої заміни зношеного інструменту.

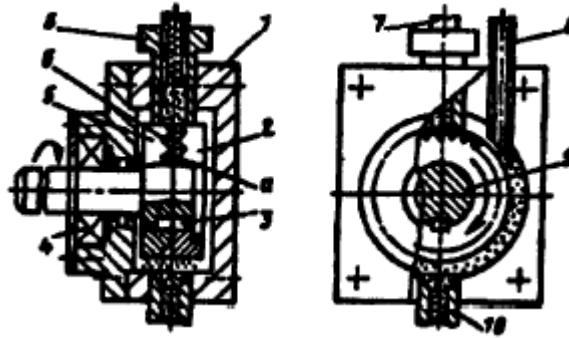


Рис. 1.7. Живильник барабанного типу: 1 – корпус; 9, 5 – диски; 3 – шпонка; 4 – підшипник; 3, 8,10 – патрубки; 7 – трубка; 9 – вал; а, б – канавки.

Фрезерна головка складається з корпусу 7, у якому на радіальноупорних підшипниках розташований шпиндель 4. З одного боку в шпинделі виконано конічний отвір для установки втулки 3 із закріпленою в ній фрезою, а з іншого - циліндричний отвір для установки вала 8 гідромотора.

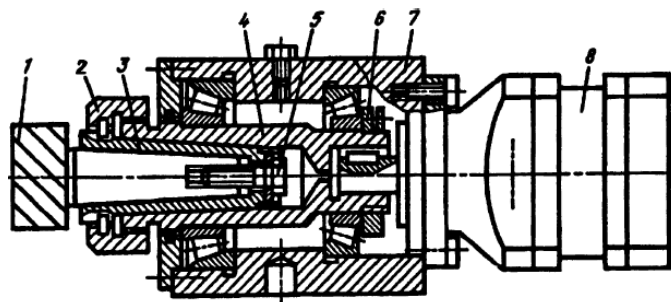


Рис. 1.8. Фрезерна головка: 1 – фреза; 2 – гайка; 3 – втулка; 4 – шпиндель; 5 – болт; 6 – кільце; 7-корпус; 8 – вал.

Принцип роботи фрезерної головки є наступним. До шпинделя за допомогою гайки 2 прикріплюють втулку 3 із встановленою у ній фрезою 1. Масло, що надходить від гідростанції під тиском в гідромотор, обертає вал, який кінематично пов'язаний зі шпинделем, що приводить у обертання фрезу. Налаштування установки здійснюється поперечними та поздовжніми салазками супорта токарного верстата.

Модернізація токарного верстата для процесу ППНМО. Модернізація верстатів з метою їх використання в ППНМО включає комплекс робіт із захисту

оператора від шкідливого впливу плазмової дуги. Гази, пари, аерозолі та інші виділення із робочої зони видаляються місцевою витяжною вентиляцією з подачею близько $6 \cdot 10^3$ м³/год. При цьому забірна частина вентиляційного пристрою повинна бути максимально наближена до зони нагріву, а при обробці великогабаритних заготовок переміщатися разом із плазмотроном.

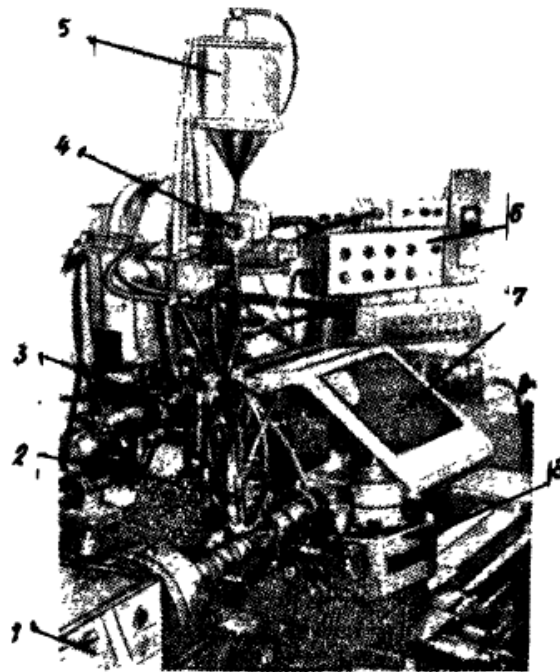


Рис. 1.9. Загальний вигляд модернізованої установки ППНМО: 1 - токарний верстат; 2 – плазмотрон; 3 - маніпулятор; 4 – дозатор; 5 – бункер; 6 – пульт управління; 7 – екран; 8 – фрезерна головка.

Для захисту оператора від випромінювання плазмової дуги застосовують спеціальні щитки, шторки тощо. У модернізованій установці (рис. 1.9) використано екран токарного верстата з оглядовим вікном зі світлозахисного скла. Крім того, застосовано конструкцію призматичного плазмотрона, що дозволяє виключити пряму дію світлового випромінювання плазмової дуги.

Висновки по розділу

Важлива проблема при модернізації верстатів для ППНМО підведення до заготовки сили до 300 А. Природно, що протікання такого струму через

підшипники, зубчасті колеса та направляючі верстата неприпустимо, тому на токарних верстатах слід встановити спеціальні щіткові струмознімачі. У модернізованій установці використаний щітковий струмознімач, що контактує з циліндричною поверхнею токарного патрона.

В процесі ППНМО заготовка обертається з частотою $0,3...5,0 \text{ хв}^{-1}$ (залежно від її діаметра), тому при модернізації в кінематичне коло електропривод-шпиндель слід вбудувати редуктор (від 1:6 до 1:25).

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ ППНМО

Застосування високоміцних сталей і сплавів, а також зносостійких покриттів, що наплавляються, забезпечує високі експлуатаційні характеристики деталей машин і їх довговічність. Однак високі міцність, твердість і ударна в'язкість, низька теплопровідність та велика адгезійна здатність цих матеріалів ускладнюють їхню обробку різанням. У зв'язку з цим їх рекомендується обробляти при режимах, параметри яких значно менші за параметри різання звичайних конструкційних сталей.

У табл. 2.1. наведено дані з оброблюваності різанням деяких сталей та сплавів. Оцінка оброблюваності за швидкістю різання, що відповідає 60-хвилинної стійкості різців, виражена коефіцієнтом K_0 інструменту з твердого металу стосовно еталонної сталі 45 ($\sigma_B = 65$ МПа, НВ 179), швидкість різання якої прийнята за одиницю. З аналізу наведених даних випливає, що матеріали з $K_0 < 0,5$ вимагають, з одного боку, застосування нових інструментальних матеріалів з зміцненою ріжучою частиною, а з іншого - розміцнення шару, що зрізається в процесі механічної обробки.

Для зміцнення важкооброблюваних матеріалів у зоні різання існує ряд способів високотемпературного нагрівання. Однак ППНМО відрізняється від термомеханічної обробки мінімальними витратами на обладнання та оснащення, легкістю автоматизації процесу, малими розмірами нагрівального елемента і т.п. Безперечною перевагою ППНМО є те, що частина енергії, витраченої на наплавлення, використовується для поліпшення оброблюваності твердих наплавлених покриттів. В результаті попередніх досліджень встановлено, що стійкість різців і фрез з твердосплавними пластинами, що не переточуються в процесі нагрівання зрізуваного шару заготовки збільшується. Крім того,

зазначено, що мінімальне зношування ріжучого інструменту відповідає певній температурі нагріву.

Таблиця 2.1 – Дані з оброблюваності різанням деяких сталей та сплавів.

Сталі і сплави	Склад	Швидкість різання, м/хв	K_0
Теплостійкі хромисті сталі перлітного та мартенситного класів.	5...6% Cr, 0,5...0,6 % Mo, 0,5...2,0 % Si	160...200	0,80
Високохромисті сталі феритного та мартенситного класів	10...13 % Cr, до 2 % інших легуючих елементів	140...160	0,65
Сплави та жароміцні сталі аустенітного та аустенітно-мартенситного класів	Cr, Ni та мала кількість інших легуючих елементів	100...120	0,43
Жароміцні складнолеговані сталі аустенітного класу	Велика кількість Cr, Ni та ін.	60...60	0,23
Жароміцні деформовані сплави на залізнікелевій та нікелевій основах	Важколеговані	20.. .23	0,11
Сплави на залізнікелевій основі		8.. .10	0,40

У зв'язку з цим проблема дослідження температурних полів у зоні різання з нагріванням є актуальною, її вирішення представляє як науковий, так і практичний інтерес.

З метою оптимізації температурних режимів ППНМО проведено дослідження процесів нагрівання та охолодження. Методика досліджень базується на основних положеннях теорії нагрівання поверхні масивного тіла інтенсивним локалізованим джерелом теплоти та впливу температури нагрівання металу у зоні різання на процес механічної обробки. Визначення оптимальних умов для проведення ППНМО пов'язане з розрахунком температури нагрівання металу в зонах наплавлення та різання, а також температури контактної поверхні інструменту.

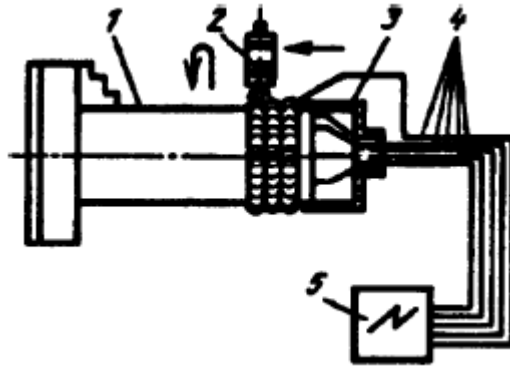


Рис. 2.1. Схема вимірювання температури за товщиною заготовки: 1 – заготовка; 2 – плазмотрон; 3 – захисний екран; 4 – термопар; 5 – осцилограф.

Особливість методики полягає у можливості проведення експериментів як при суміщенні процесів наплавлення та механічної обробки, так і при їх роздільному застосуванні. Це забезпечується створенням на базі модернізованого токарного верстата експериментальної установки зі спеціальним оснащенням. Як вимірювальні засоби при цьому використовують шлейфовий осцилограф Н-117 з набором хромель-алюмелевих і вольфраморенієвих термопар (рис. 2.1.), пірометр "Thermopoint-80" фірми AGA (Швеція) з діапазоном вимірювань $-30...+1370$ °С з точністю ± 1 °С.

Для проведення експериментів виготовлені зразки зі сталі 45 діаметром 60 мм та довжиною 600 мм, а також зі сталі 50 діаметром 100...105 мм та довжиною 300 мм. Наплавку проводять гранульованими порошками ПГ-СР4 і ПГ-С1 на нікелевій та залізній основах по гвинтовій лінії з кроком 7...12 мм при $I=160...200$ А, $U - 23...26$; витрата аргону $q - 0,2...0,5$ г/с, діаметр сопла плазмового пальника $d - 4$ мм, товщина наплавленого шару $h - 1,5...3,0$ мм. Для наплавлення використовували наплавний плазмовий пальник ГСП-1282. Температуру на поверхні циліндричних заготовок вимірювали за допомогою вольфраморенієвих термопар ВР 5/20, встановлених у розплав шару, що наплавляється. Зміну температури наплавленого валика реєстрували на фотоплівці осцилографа Н-117 (Рис. 2.2).

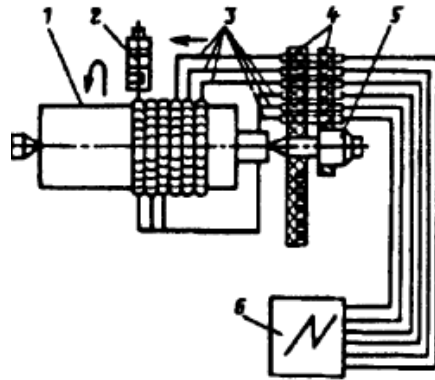


Рис. 2.2.Схема вимірювання температури на поверхні заготовки: 1 – заготовка; 2 – плазмотрон; 3 – термопари; 4 – колектор; 5 – обертовий центр; 6 – осцилограф.

Температурні поля в обсязі заготовки (по товщині) вимірювали за допомогою хромель-алюмільєвих термопар з діаметром 0,4 мм термоелектродів, які встановлювали на різних відстанях від поверхні. Зварені палі зачеканювали в попередньо просвердлені отвори заготовки, а вільні кінці (як і при вимірі температури на поверхні) підключали до осцилографа. Режими наплавлення фіксували візуально за показаннями приладів (амперметр: 0...300 А, вольтметр: 0...100 В, ротаметр: 0...5 г/с, дозатор: 0...100 г/хв).

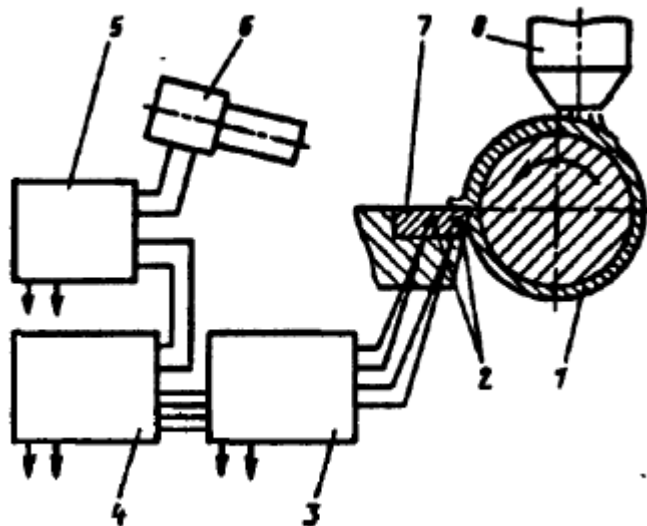


Рис. 2.3. Схема вимірювання температури різання в залежності від температури нагрівання поверхні заготовки: 1 – заготовка; 2 – термопари; 3, 5 – підсилювачі; 4 – осцилограф; 6 – пірометр; 7 – різець; 8 – плазмотрон.

Термопари виготовляли зварюванням у спеціальному пристосуванні, градували по точках плавлення чистих металів (олова, свинцю, цинку та сурми) з урахуванням поправки на температуру навколишнього середовища.

Експерименти визначення температури на контактних поверхнях ріжучих інструментів (різця, фрези) виконували за допомогою закладних хромель-копелевих термопар (0,2 мм), які встановлювали в три отвори, виконані з нижньої сторони твердосплавної пластини (рис. 2.3). Були також побудовані градувальні криві. Крім цього, температуру поверхні наплавленого шару в зоні різання додатково вимірювали пірометром Thermopoint-80 фірми AGA (Швеція). Для запобігання впливу паразитних струмів різець ізолювали від металевих частин верстата. В якості ріжучого елемента використовували пластину з твердого сплаву ВК8 з наступними параметрами: $\lambda - 0$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, радіус скруглення ріжучої кромки 0,5 мм.

Експерименти проводили у два етапи на модернізованому верстаті моделі 16Б25П. Спочатку нагрівали заготовку до відповідної температури за допомогою плазмового джерела, а потім здійснювали різання при швидкості $v = 0,33 \dots 1,30$ м/с, подачі $S_0 = 10,32 \dots 1,60$ мм/об, $a_c = 0,5 \dots 2,5$ мм, $\theta = 20 \dots 1000^\circ\text{C}$.

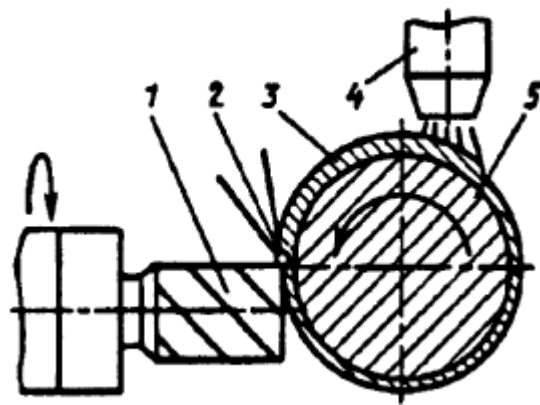


Рис. 2.4. Схема вимірювання температури різання за допомогою термопари: 1 – фреза; 2 – термопара; 3 – наплавлений шар; 4 – плазмотрон; 5 – заготовка.

Пірометр градували шляхом зіставлення показань на осцилограф еталонної хромель-алюмелевої термопари, встановленої на поверхні об'єкта, з

показаннями пірометра, при необхідності вводячи корективи (за допомогою пірометра) на відбивну здатність матеріалу.

Температуру різання в процесі суміщення плазмового наплавлення з фрезоточінням вимірювали за допомогою "біжучої" термопари (рис. 2.4). Для цього в розплав металу, що переміщається з-під сопла плазмового пальника, термопару ВР 5/20 звареним спаєм встановлювали на глибину шару. У міру переміщення до фрези розплав з встановленою в ньому термопарою схолював. При проходженні через зону різання спай термопари перерізався зубами фрези. На фотоплівці осцилографа реєструвалася температура шару, що наплавляється (від зони розплаву до зони різання), а також температура контактних поверхонь в момент перерізаня зубами фрези встановленого спаю термопари (рис. 2.5).

З метою визначення зміни температури заготовки за один та кілька наплавних циклів проводили розрахунково-експериментальні дослідження.

Експерименти виконували на установці, зображеній на рисунку 1.3. ППНМО піддавали гладкий вал зі сталі 45 твердістю НВ 187...207. Діаметр валу 6,310-2 м, довжина 0,6 м. Обробляли також корінні шийки колінчастого валу (діаметр 0,105 м) двигуна ЯМЗ-238НБ зі сталі 50 твердістю 52...62 НРС. Наплавку проводили гранульованими порошками на залізній (ПГ-С1) і нікелевій (ПГ-СР4) основах по гвинтовій лінії з кроком $(7...8)10^{-3}$ м. Товщина шару, що наплавляється $(1,5...3,0)10^{-3}$ м, діаметр сопла плазмотрона $4 \cdot 10^{-3}$ м, $I = 180...200$ А, $U = 24...26$ В, $v = (2,5...3,5)10^{-3}$ м/с. Наплавку виконували при прямій полярності, захисним та плазмоутворюючим газом служив аргон.

У процесі наплавлення вимірювали температуру на поверхні заготовки за допомогою вольфраморенієвих термопар ВР 5/20, які встановлювали в розплав шару, що наплавляється.

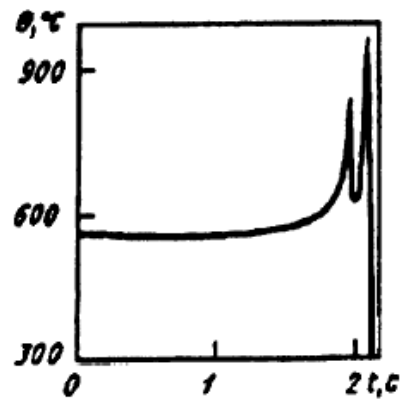


Рис. 2.5. Осцилограма, отримана у процесі ППНМО

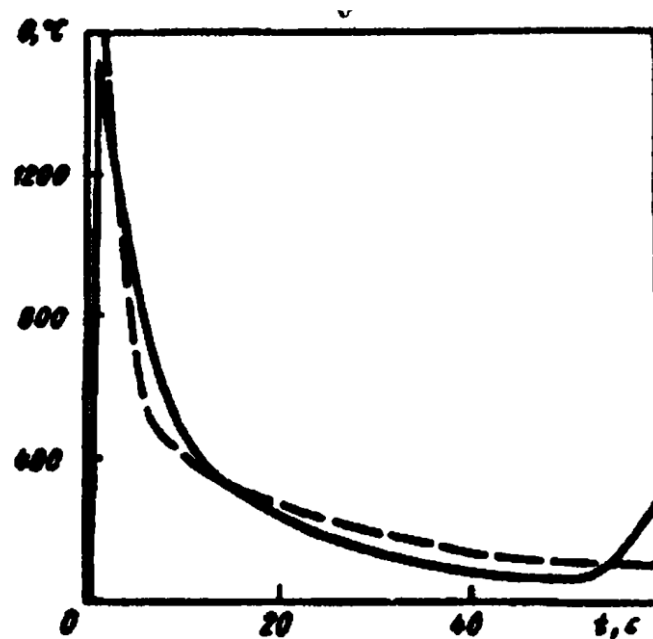


Рис. 2.6. Експериментальна (суцільна лінія) та розрахункова (штрихова лінія) криві зміни температури за глибиною заготовки за один цикл наплавлення

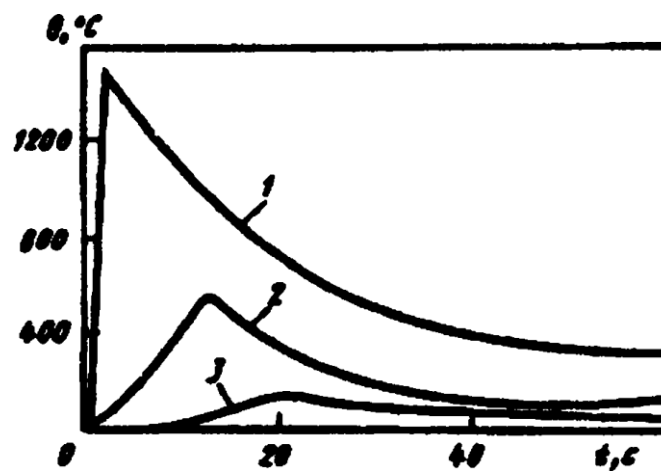


Рис. 2.7. Криві зміни температури за глибиною заготовки за один цикл наплавлення:

1-h=0; 2-h=5; 3-h=20;

Зміну температур по глибині реєстрували за допомогою хромель-алюмелевих термопар діаметром $0,4 \cdot 10^{-3}$ м, які зачеканювали по торцю на відстанях $5 \cdot 10^{-3}$ і $25 \cdot 10^{-3}$ м від поверхні. Температур режим наплавлення записували на фотоплівку світлопроменевого осцилографа (Рис. 2.1, 2.2).

За результатами експерименту отримано залежності температури від часу наплавлення (Рис. 2.6-2.10). Аналіз експериментальних даних показав, що у перші частки секунди температура розплаву сягає 1490 °С. Через кілька секунд, після переміщення плазмотрона на нову ділянку поверхні заготовки, температура швидко знижується по експоненті, так як відбувається теплообмін (радіаційний, конвективний та теплопровідністю) і частина теплоти уноситься стружкою.

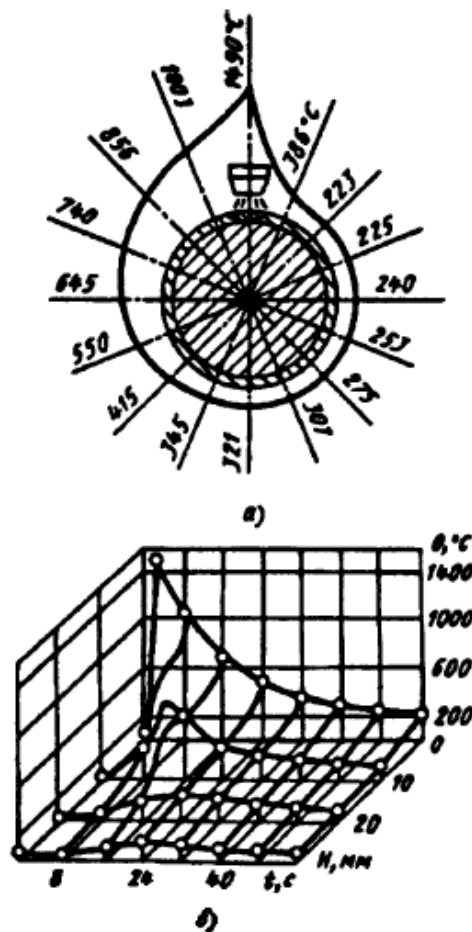


Рис. 2.8. Криві зміни температури за один цикл наплавлення: а – по поверхні; б – за товщиною.

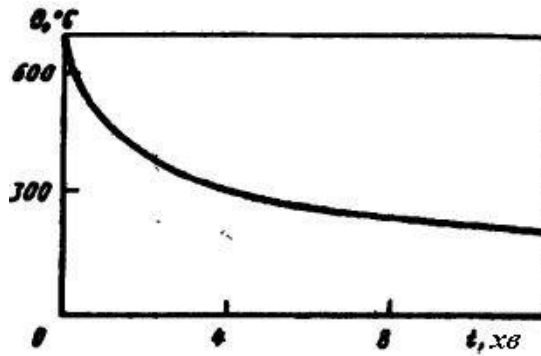


Рис. 2.9. Крива охолодження наплавленого шару після відключення плазмової дуги.

Наприкінці першого циклу (витка) температура становить приблизно 85 °С. При наплавленні наступних витків плазматрон переміщається від контрольованої точки на відстань, що дорівнює кроку наплавлення. Хоча тривалість термічних циклів залишається такою самою, як і на першому витку, максимальна температура від витка до витка знижується за експонентом, при цьому швидкість нагрівання під час першого циклу становить 1490 °С/с, другого - 25 °С/с, третього - 8 °С/с, четвертого - 1,5 °С/с. В кінці п'ятого циклу температура наплавленого шару вирівнюється, тобто виходить на стаціонарний режим. Її максимальне значення нижче максимальної температури першого витка: воно становить 650...700 °С.

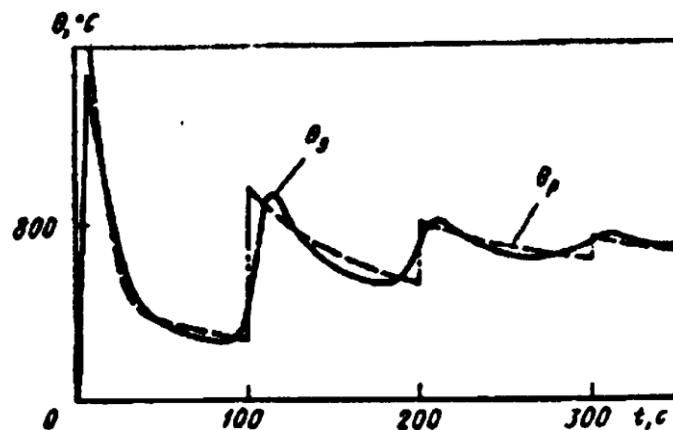


Рис. 2.10. Експериментальна (суцільна лінія) та розрахункова (штрихова лінія) криві зміни температури наплавленого металу в процесі багатocyклового плазмового наплавлення

Перепад температур по товщині також змінюється в залежності від часу, доки не настане стаціонарний період. На початку наплавлення він значний (1240 °С), а потім зменшується, оскільки джерело теплоти з кожним витком віддаляється від контрольованої точки, а в об'ємі заготовки нестаціонарний період змінюється стаціонарним. Надалі для аналітичного опису температурних полів при ППНМО використано рівняння нагрівання поверхні масивного тіла плазмовим струменем при великій швидкості переміщення джерела, що найбільш точно відображає процес:

$$\theta(y,z,t) = \frac{q}{2\pi v \lambda \sqrt{t(t+t_0)}} \exp\left[-\frac{z}{4at} - \frac{y^2}{4a(t_0+t)}\right], \quad (2.1)$$

де y, z - координати; t - тривалість наплавлення; q - ефективна теплова потужність; v - швидкість наплавлення; λ - теплопровідність; $t_0 = 1/(4ak_c)$ - постійна часу (a -температуропровідність; k_c - коефіцієнт зосередженості).

За допомогою формули (2.1) здійснюємо розрахунки температурних режимів обробки. Матеріал заготовки - сталь 40Х (ГОСТ 1050-74); діаметр заготовки 0,1 м; матеріал покриття, що наплавляється - сплав ПГ-С1; швидкість наплавлення $2,5 \cdot 10^{-3}$ м/с; сила струму 200 А; напруга 26 В; плазмоутворюючий та захисний газ - аргон; діаметр сопла плазмотрона $4 \cdot 10^{-3}$. Результати розрахунків задовільно співпали з експериментальними даними першого циклу (Рис. 2.6). Однак розрахунок за цією формулою нестаціонарних температурних режимів при багаторазових термічних навантаженнях, створюваних локалізованим джерелом теплоти, що швидко рухається, призвів до значних похибок.

При дослідженні охолодження наплавленого шару після вимикання стиснутої дуги встановлено, що за першу хвилину його температура зменшується на 150°С, за другу - на 100°С, за третю - на 50°С, за четверту - на 25°С, за п'яту - на 20 ° С, за шосту - на ° С) (Рис. 2.9). У зв'язку з цим при механічній обробці наплавленого шару відразу після вимкнення плазмової дуги необхідно забезпечити короткочасність циклу обробки лезовим інструментом

або встановити додаткове джерело теплоти для підтримки температури наплавленого шару в стаціонарному стані.

Для більш точного розрахунку нестационарних температур при багаторазовому термічному навантаженні формулу (2.1) слід уточнити з огляду на специфіку процесу ППНМО.

Теплові явища в матеріалі заготовок, що піддаються інтенсивному впливу локалізованого джерела теплоти, відносять до складних і недостатньо вивчених процесів. Існуючі в літературних джерелах відомості з цього питання базуються здебільшого на результатах дослідження зварювання. Експериментально встановлено, що температурні режими при СПИМО циліндричних деталей істотно від температурних режимів при нагріванні газовим полум'ям, струмами високої частоти, зварювальною дугою тощо. Процес ППНМО характеризується високою концентрацією теплової енергії на поверхні та в зоні наплавлення, високою швидкістю переміщення пальника по поверхні, стабільністю дугового розряду, можливістю роздільного регулювання ступеня нагріву основного та присадного матеріалів, можливістю відведення теплоти з поверхні заготовки разом із стружкою.

Процес поширення в пластині теплоти від нормальнокругового джерела, що переміщається на поверхні напівбезкінечного тіла, описується наступним рівнянням:

$$\theta(y,z,t) = \frac{q}{2\pi\lambda\nu(t_0+t)} \exp\left[-\frac{y^2+z^2}{4a(t_0+t)}\right], \quad (2.2)$$

При багаторазовому термічному навантаженні джерело, що швидко рухається, здійснює теоретично зворотно-прямолінійні переміщення по поверхні наведеної пластини, зі зміщенням по осі y на крок S_0 після кожного циклу наплавлення.

Відповідно до положень технологічної теплофізики про взаємний вплив обмеженості розрахункових пластин при поширенні теплоти температуру в точці

можна виразити у вигляді суми температур в основній точці та нескінченному числі фіктивних точок:

$$\theta(\varphi_A, R_A, t) = \theta(r_A, t) + \sum_{k=2}^{k=8} \theta(r_{Ak}, t), \quad (2.3)$$

Тривалість впливу джерела у цьому випадку:

$$t = 2\pi R/v. \quad (2.4)$$

При ППНМО циліндричних деталей джерело теплоти переміщується по гвинтовій лінії, а при переході до наведеної пластини (розгортка циліндричної поверхні) - по діагоналях поверхонь, що відповідають кожному циклу. Для спрощення розрахунків прийняли припущення, що джерело здійснює паралельні зворотно-прямолінійні переміщення наведеною пластиною з кроком S_0 .

На підставі викладеного для розрахунку температури при плазмовому наплавленні циліндричних деталей використовуємо рівняння:

$$\theta(\varphi_A, R_A, t) = \sum_{i=1}^{i=m} q \exp \left[-\frac{y^2+z^2}{4a(t_0+t)} \right] 2\pi\lambda v (t_0 + t)^{-1}, \quad (2.5)$$

де i – число витків.

В результаті зіставлення розрахункових значень температури θ_p з експериментальними θ_s (рис. 2.10) встановлено, що при збільшенні числа циклів наплавлення вони розходяться: після п'яти-шести циклів θ_s стабілізується, а θ_p зростає від циклу до циклу. У результаті аналізу зазначених розбіжностей встановлено, що у вираз (2.5) слід запровадити показник, що враховує зниження температури з часом унаслідок конвекції. Тоді:

$$\theta(R_A, \varphi, t) = \sum_{i=1}^{i=m} q \exp \left[-\frac{y^2+z^2}{4a(t_0+t)} - \frac{4k_t}{c\rho D_3} \right] \times [2\pi\lambda v (t_0 + t)]^{-1}, \quad (2.6)$$

де k_t - коефіцієнт теплопередачі, Вт / (м·С); D_3 – діаметр заготовки, см; t - час здійснення одного обороту, с.

Для зручності розрахунків рівняння (2.6) перетворили, замінивши вираз $v(t_0 + t)$ сумою $vt_0 + x$, а всі координати точок A_{1i} такими виразами: $x_{A_{1i}} - x_{A_i} + (i-1)2\pi R - vt + v(i-1)t_n$; $z_{A_{1i}} - z_{A_i}$; $y_{A_{1i}} - (i-1)S_0 \pm y_A$. Знак «+» в

останній рівності відповідає розташуванню точки, що розглядається, перед джерелом (по осі y), знак «+» - позаду нього.

Після підстановки і перетворення рівняння для визначення температури при плавленні циліндричної заготовки, в тому числі температури нагріву матеріалу в зоні різання прийняло кінцевий вид:

$$\theta(R_A, \varphi, t) = \frac{q_i}{2\pi\lambda v} \sum_{i=1}^{i=m} \exp \left\{ \frac{z_{A1}^2 + [(i-1)S_0 \pm y_{A1}]^2}{4a [t_0 + t + (i-1)t_n]} - \frac{4k_t t}{c\rho D_3} \right\} \{ [t + (i-1)t_n]^2 + t_0 [t + (i-1)t_n] \}^{-1/2}. \quad (2.7)$$

Розрахунок температур, їх перепад після одного чи декількох циклів нагріву виконуємо по формулі (2.7) з використанням ЕВМ.

РОЗДІЛ 3

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зношування ріжучого інструменту залежить від температури різання та характеру її розподілу по контактній поверхні. Найбільш поширеним і простим засобом вимірювання середньої температури різання служить природна термопара, гарячим спаєм якої є поверхня контакту різця з матеріалом, що обробляється. Однак сигнал, який отримується при ППНМО за допомогою природної термопари, відображає температуру різання з великою похибкою, оскільки заготовка в процесі ППНМО знаходиться під впливом потужного додаткового джерела теплоти - плазмової дуги. Спроби застосувати для вивчення теплових явищ методи термодясок та спостереження за оксидними плівками на робочих поверхнях інструменту не дали задовільних результатів.

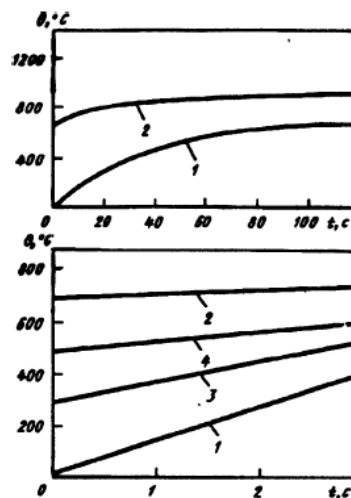


Рис. 3.2. Криві вимірювання температури різання в процесі ППНМО при різній температурі θ заготовки. 1 – 20°C; 2 – 700°C; 3 – 300°C; 4 – 500°C;

Найбільш прийнятним методом вимірювання температури при суміщенні плазмового наплавлення з точінням є застосування притискної хромель-алюмелевої термопари, а при суміщенні з фрезоточінням - "бігучої" термопари, встановленої в розплав металу.

Експерименти виконували з використанням вказаних термопар. Заготовку нагрівали до 100...900 °С кроком 100 °С. Температуру реєстрували за схемою, показаною на рис. 2.2. Механічну обробку проводили різцем, оснащеним непереточуваною пластиною розміром 16x16x6 мм з твердого сплаву ВК8, потім ВК8 з покриттями з TiN і HfN. Режим обробки: v - 20...60 м/хв, S_o – 0,1...0,3 мм/об, a_c - 0,5...1,0 мм.

В результаті експериментів встановили, що після закінчення часу обробки температура різання підвищується до певного рівня. Характер кривих (Рис. 3.2) показує, що температура різання на початку обробки різко зростає. Так, протягом 1 с при температурі заготовки 20, 300, 500 і 700 °С температура різання зростає відповідно на 160, 100, 50 і 25 °С. Різання піддавали зразки, наплавлені сплавом ПГ-СР4; швидкість обробки v - 45 м/хв, подача на оборот S_o - 0,232 мм/об, товщина зрізуваного шару a_c - 0,5 мм, матеріал ріжучого інструменту ВК8, покриття з TiN і HfN.

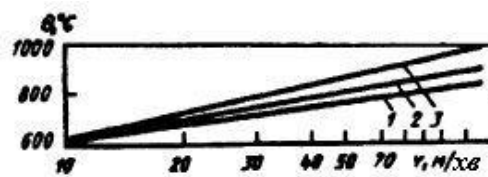


Рис. 3.3. Залежність температури різання заготовки з покриттям із сплаву ПГ-СР4 фрезами, оснащеними пластинами із твердих сплавів, від швидкості обробки: 1 – ВК8, TiN, HfN, Mo₂N; 2 – ВК8, TiN; 3 – ВК8

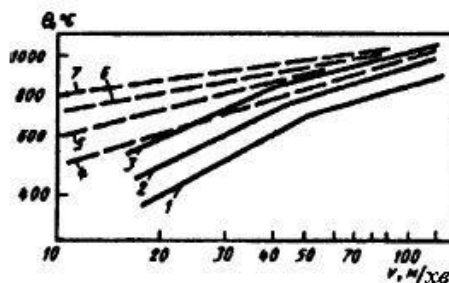


Рис. 3.4. Залежність температури різання заготовки діаметром 60 мм з покриттям з сплаву ПГ-СР4 фрезо. (ВК8, TiN, HfN) від швидкості обробки при a_c - 0,5 мм.

Встановлено, що температура різання при використанні пластин із зносостійким покриттям з TiN та HfN нижче, ніж при використанні пластин без покриття (Рис. 3.3). Це пояснюється меншим коефіцієнтом тертя покриття в парі різець - деталь, а також вищою червоностійкістю шару покриття. Аналогічні залежності одержано і при експериментальному дослідженні режимів фрезоточіння наплавленого шару в розміщеному стані.

З аналізу залежностей температури різання від швидкості при точінні заготовок з різними подачами і температурою нагрівання при a_c - 0,5 мм (Рис. 3.4) можна зробити висновок: при оптимальних швидкостях різання, що відповідають температурі пари в зоні контакту, що дорівнює 800...900 °C забезпечується найменша інтенсивність зношування ріжучого інструменту. За інших швидкостей різання інструмент зношується інтенсивніше. Звідси випливає, що положення сталості оптимальної температури для холодної обробки матеріалів різанням (рис. 3.5) є прийнятним і для ППНМО, тобто оптимальної швидкості різання для заданої пари (ріжучий інструмент - заготовка з покриттям) відповідає постійна температура різання при різних поєднаннях швидкості, подачі, товщини та температури нагрівання шару заготовки, що зрізається.

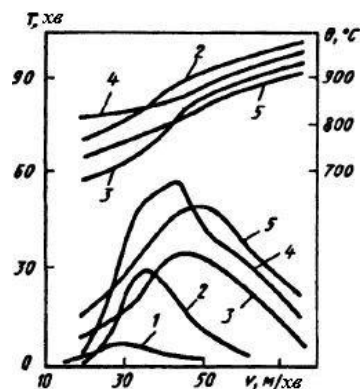


Рис. 3.5. Залежність стійкості інструменту та температури різання при фрезоточенні (HfN; $D_0 = 60$ мм; $a_c = 0,5$ мм; $S_z = 0,12$ мм/зуб) зразків зі сталі 45 з наплавленим шаром зі сплаву ПГ-СР4 від швидкості різання при різній вихідній температурі θ заготовки: 1 - 20 °C; 2 - 300 °C; 3 - 400 °C; 4 - 750 °C; 5 - 600 °C.

Для вимірювання складових сили різання P_z , P_y , P_x в процесі лезової обробки використовували універсальний динамометр УДМ-600 конструкції ВНИИ, Електричні сигнали, що надходять від динамометра та термоперетворювачів, реєстрували за допомогою світлопроменевого осцилографа Н-117.

Сили різання вимірювали при точінні та фрезоточінні зразків діаметром 60 мм та довжиною 600 мм. Зразки сталі 45 мали наплавлене покриття з твердих сплавів ПГ-СР4 і ПГ-С1 товщиною 3...4 мм. Механічну обробку здійснювали різцями та фрезами з твердосплавними пластинами зі сплаву ВК (ГОСТ 19052-80).

Перед вимірюванням складових P_z , P_y , P_x сили різання та температури вбудовані термомпари та пірометр проградували. Градування динамометра проводили шляхом навантаження його відомими силами за відповідними схемами.

При дослідженні залежності складових сили різання від температури нагрівання наплавленого шару на установці зразок з наплавленим шаром, нагрітим стиснутою дугою, обробляли лезовим інструментом (різцем, фрезою). Сигнали від вбудованих індуктивних перетворювачів і термомпар, встановлених на поверхні зразка, а також від пірометра через підсилювач надходили на щит приладів і записувалися на фотострічці осцилографа. Для зручності виміру та візуального спостереження всі прилади розміщували на спеціальному приставному столику.

Експериментальні залежності складових сили різання від основних параметрів різання і температури нагрівання шару, що зрізається в процесі ППНМО показані на рисунках 3.6 та 3.7. Встановлено, що зі збільшенням швидкості різання в досліджуваному діапазоні параметрів (v - 15...60 м/хв, S_0 - 0,2...0,5 мм) сили різання зменшуються, а зі збільшенням S_0 і a_c зростають. Аналогічні залежності характерні і для лезової обробки інших видів (фрезерування, стругання тощо).

Як показав аналіз експериментальних даних, при обробці лезовим інструментом зносостійкого наплавленого шару в нагрітому стані суттєво зменшуються складові сили різання. Так, при порівняльній оцінці $P_{z1}(\theta - 20 \text{ }^\circ\text{C})$ і $P_{z2}(\theta - 600 \text{ }^\circ\text{C})$ при $a_c - 1 \text{ мм}$ і $S_o - 0,232 \text{ мм/об}$ виявлено, що складові зменшуються в 2-3 рази. Крім того, встановлено, що низькотемпературне нагрівання (до $400 \text{ }^\circ\text{C}$) не істотно впливає на інтенсивність зменшення цих складових. Лише за $\theta - 600...800 \text{ }^\circ\text{C}$, коли границя міцності ($50...120 \text{ МПа}$) наплавленого шару залежить від його хімічного складу, складові сили різання різко зменшуються.

Слід зазначити, що з механічної обробці наплавлених шарів в нагрітому стані змінюється характер залежності $P_z = f(v)$. Так, при СНПМО криві більш плавні і без слідів перегину в зоні малих швидкостей мають максимум при $300...400 \text{ }^\circ\text{C}$ і мінімум при $700...800 \text{ }^\circ\text{C}$. Як показали дослідження, це обумовлено характером зміни коефіцієнта тертя пари ріжучий інструмент - деталь, що є максимальним при $\theta - 300...400 \text{ }^\circ\text{C}$ і мінімальним при $\theta - 700...800 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вимірювання складових сили різання нагрітої заготовки з наплавленим шаром пов'язано з технічними труднощами, тому доцільно використовувати емпіричну залежність між температурою θ , окружною силою P_z , товщиною шару, що зрізається в прийнятому діапазоні зміни параметрів різання:

$$P_z = c_\theta \delta^{0,75} a_c. \quad (3.1)$$

Параметр c_θ прямо пропорційний температурі нагрівання. Як показав аналіз експериментальних даних, у граничному діапазоні температур ($600...800 \text{ }^\circ\text{C}$) залежність $c_\theta - f(\theta)$ для таких матеріалів, як ПГ-С1, ПН-АН2, Св-08Г2С, у поєднанні з ПГ-СР4 та іншими, має аналогічний характер.

Таким чином, замість трудомістких випробувань можна виконати наближений розрахунок сил різання, необхідних для конструювання різальних інструментів та приводів виконавчих механізмів.

Порядок роботи установки для ППНМО є наступним. Включаються джерело живлення зварювального струму та головний привід токарного верстата, встановлюється необхідний режим наплавлення та різання, подаються холодна вода, плазмоутворюючий та захисний газ. Присадковий матеріал (дріт) підводиться під сопло плазмотрона, а гранульований порошок у вигляді газопорошкового середовища надходить у захисне сопло плазмотрона, збуджуються плазмові дуги, включається подача присадних матеріалів. Після утворення на виробі ванни рідкого присадного металу включається вібратор і починає обертатися. Потім включається привід фрезерної головки, після одного-двох циклів наплавлення фрезу вводять на відповідну глибину різання і вона здійснює різання із затримкою в часі.

Для нормального перебігу процесу ППНМО дуже важливо дотримуватися таких основних правил. Напрямок плазмового струменя та краплі розплавленого присадного матеріалу, а також ріжучого інструменту (фрези) має бути перпендикулярним до поверхні.

При будь-якій ширині наплавлюваного валика процес наплавлення слід проводити з поперечними коливаннями плазмотрона і присадного матеріалу. Це забезпечує рівномірний розподіл температури і приблизно однакову тривалість контактування твердої і рідкої фаз по всій ширині шару, що наплавляється, що створює сприятливі умови для різання. Крім того, шар металу виходить однакової висоти з плавним переходом металу, що наплавляється до основного. Завдяки цьому вдається сплавляти валики між собою та з основним металом, створюючи тим самим рівномірність навантаження на ріжучий інструмент та зменшуючи вібрацію при механічній обробці.

Амплітуду поперечних коливань плазмотрона (8...40 мм) встановлюють залежно від ширини наплавленого валика, враховуючи надійний захист рідкої зварювальної ванни від впливу атмосфери.

Швидкість плазмового наплавлення визначається розмірами виробу, параметрами процесу, теплофізичними властивостями основного та присадного

матеріалів, а також основними режимами різання. Результати досліджень та виробничий досвід показали, що залежно від розмірів виробу, амплітуди коливань плазмотрона та основних режимів різання вона може становити 3...12 м/год.

На стабільність процесу наплавлення і якість виробів, що отримуються, великий вплив надає витрата плазмоутворюючого і захисного газів. При наплавленні краплі розплавленого присадного металу та вся зварювальна ванна повинні знаходитися всередині потоку захисного газу. Надійний захист рідкого металу, як показала виробнича практика, забезпечується при ламінарному перебігу газу. Оптимальна витрата захисного газу становить 0,8...1,2 м³/год, плазмоутворюючого - 0,1...0,2 м³/год.

Подача та швидкість різання є складовими руху і фрези. Подачу на зуб у процесі ППНМО можна визначити за формулою:

$$S_z = \sqrt{S_0^2 - \frac{\pi(D_3 - 3t)v_3 D_\phi}{z D_3 v_\phi}}, \quad (3.2)$$

де D_3 і D_ϕ - діаметр заготовки та фрези, м; v_3 та v_ϕ - швидкість заготовки та фрези, м/с.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані режими ППНМО.

Матеріал наплавляємого шару	Діаметр, мм		Режими				
			нагріву		різання		
	торцевої фрези	заготовки	I, А	U, В	v, м/с	S _z , мм	θ, °С
ПГ-СР4	60	66	180	25	40	0,232	600
ПГ-СР4		100	200	25	50	0,160	500
ПГ-С1		50	180	24	50	0,180	667
ПГ-СР4+СВ- 08Г2С	50	105	190	26	50	0,232	507

Висновки по розділу

При наплавленні виробів діаметром до 100 мм по спіралі плазмотрон зміщується від "зеніту" виробу у бік, протилежний напрямку обертання виробу. Це зміщення сприяє більш вільного розташування ріжучого інструменту.

При наплавленні виробів з конічними та фасонними поверхнями для підвищення якості та продуктивності процесу ППНМО слід використовувати сучасні верстати з програмним керуванням. Залежно від форми та розмірів виробів можна застосовувати токарні верстати, наприклад, моделей 16К20Ф3С32, 16К30Ф325, з використанням технічного робота Р-232, який дозволяє замінити ручну працю при переміщенні нагрітих заготовок.

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень розроблено технологію чорнової ППНМО для відновлення робочих поверхонь деталей, спроектовано та виготовлено обладнання для здійснення процесу, а також виконано монтаж та пуск двох установок для поєднаної обробки циліндричних деталей у відділенні з ремонту тракторів К-700. У цих установках застосований гідромеханічний привід до ріжучого інструменту, що забезпечує безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя.

Для ППНМО корінних та шатунних шийок колінчастого валу впроваджено установку з електромеханічним механізмом до ріжучого інструменту, що зумовлено складною конфігурацією деталі.

Викладені дані підтверджують доцільність застосування ППНМО на відновлення циліндричних деталей автотракторної техніки в ремонтному виробництві сільського господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Манько Т.А., Кучма Л.Д., Губенко С.І., Джур Є.О., Сітало В.Г. Спеціальне матеріалознавство: Підручник. – Д.: АРТ-ПРЕС, 2004.
2. Горберг Б.Л.. Современное состояние и перспективы использования плазмохимической технологии для обработки текстильных материалов / Текстильная химия, 2001.
3. Абдуллин И.Ш., Абуталипова Л.Н., Желтухин В.С., Красина И.В. Высокочастотная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых материалов. Теория и практика применения: монография. Казанск. ун-т, Казань, 2004.
4. Оулет. Р., Барбье М., Черемисинов П. и др. Технологическое применение низкотемпературной плазмы. Перевод. с англ. Москва : Энергоатомиздат. 1983.
5. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность теплых тел. Москва : Мир. 1964.
6. Манько Т.А., Рыбалко А.В. Разработка технологии получения высокопрочных конструкций из ПКМ / Ж-л Композиционные материалы, 2011.
7. Богомолов А. И., Вигдорчик Д. Я., Маевский М. А. Газовые горелки инфракрасного излучения и их применение. 1987.
8. Кулик А.Я., Борисов Ю.С. та ін. Газотермічне напилення композиційних порошків. Київ : Машинобудування, 1985.
9. Д. Н. Макеев Вплив легуючих елементів на властивості сталі. *Вісник Саратовського державного технічного університету*. 2012. №2. С. 120-129.
10. Похмурській М. М Вплив режимів електродугової металізації і складу застосування порошкових дротів на структуру і абразивну зносостійкість покриттів. *Автомат. зварювання*. 2006. №4. С. 28-34.
11. Тамаргазін А. А. Вплив факторів процесу електродугового напилення на структуроутворення и властивості покриттів. Збірник наукових праць *Кіровоградського національного технічного університету*. *Техніка в*

сільськогосподарському виробництві, галузевих машинобудування, автоматизація. 2010. №4. С. 167-173.

12. Елисеєв Ю.С., Абраимов Н.В., Крымов В.В. Химико-термическая обработка и защитные покрытия в авиа-двигателестроении. Москва : Высшая школа. 1999. 257 с.

13. Аксенова И.Б. Розробка технологічних параметрів гарячого алітрування сталеві холоднокатаної стрічки і дослідження її механічних характеристик. *Захисні покриття на металах*. 1974. №1. 47-52.

14. H. Fukanuma, R. Huang, Y. Tanaka, Y. Uesugi. Mathematical Modeling and Numerical Simulation of Splat Cooling in Plasma Spray Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2019. P. 1045-1060

15. Вітязь В.С. Теорія і практика газопламенного напилення. Київ : Видавництво НАУ. 1993. 349 с.