

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Дослідження технології відновлення кулачків розподільних валів
плазмовим наплавленням»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Москаленко Д.В.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Науменко О.А.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Науменко А.О.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Важливим резервом зниження витрат в агропромисловому комплексі при виробництві продукції є забезпечення високої надійності експлуатованого обладнання й техніки. Тому залишаються актуальними дослідження, спрямовані на розробку сучасних технологічних процесів відновлення й зміцнення деталей.

При ремонті деталей газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння певну складність представляє відновлення кулачків розподільного вала. Від якості їх відновлення залежить надійність роботи двигуна, його економічні й екологічні показники.

Підвищення ефективності й зниження трудомісткості ремонту сільськогосподарської техніки безпосередньо пов'язане з використанням сучасних способів відновлення деталей і нових матеріалів. До таких способів належить плазмове наплавлення, яке дозволяє використовувати порошкові зносостійкі наплавочні сплави, що забезпечують підвищення терміну служби деталей в 2-8 разів.

Перед традиційними дуговими способами плазмове наплавлення має наступні переваги:

- високу продуктивність і низьку енергоємність;
- дозволяє одержувати наплавлені шари малої товщини з відносно низьким тепловим впливом на деталь;
- забезпечує низький ступінь перемішування основного й наплавочного матеріалу, що сприяє збереженню в наплавленому металі вихідних фізико-механічних властивостей наплавочного матеріалу;
- відновлення деталей плазмовим наплавленням не вимагає спеціальної підготовки поверхні й наступної термічної обробки.

У цей час використання плазмового наплавлення на ремонтних підприємствах стримується відсутністю спеціалізованого обладнання й технологій відновлення конкретних деталей.

Ціль роботи. Розробити технологію відновлення кулачків розподільних валів двигунів внутрішнього згоряння плазмовим наплавленням, забезпечивши при цьому їх ресурс не нижче ресурсу нових.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом досліджень є розподільні вали двигунів внутрішнього згоряння.

Предметом дослідження є наплавочні матеріали, технологія, відновлення кулачків, копіювання профілю кулачків, дозування наплавочних порошків живильниками барабанного типу.

Наукова новизна полягає в дослідженні зносів розподільних валів двигунів ЯМЗ-238НБ, структури й складу наплавленого металу, впливу режимів наплавлення на формування профілю наплавляемого кулачка.

Практична значимість роботи полягає в розробці технології відновлення кулачків розподільних валів плазмовим наплавленням, що забезпечує збільшення їх ресурсу в 2-3 рази.

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Умови роботи кулачків розподільних валів

У двигунах внутрішнього згоряння використовуються дві схеми взаємодії штовхальника і кулачка розподільного вала кочення, що реалізують у сполучених деталях тертя кочення і тертя ковзання [1].

У конструкціях двигунів ЯМЗ (рис. 1.1) механізм газорозподілу верхнеклапаний з нижнім розташуванням розподільного вала. Кожний циліндр має по одному впускному і випускному клапану, які переміщаються в напрямних втулках 7. Клапани відкриваються від розподільного вала 1 через роликові штовхальники 19, трубчасті штанги 4 і коромисла 15. Рух від кулачка розподільного вала 1 до штовхальника 19 передається за допомогою ролика 2, що реалізує в парі кулачок - штовхальник тертя катання. Закриваються клапани пружинами 9 і 11.

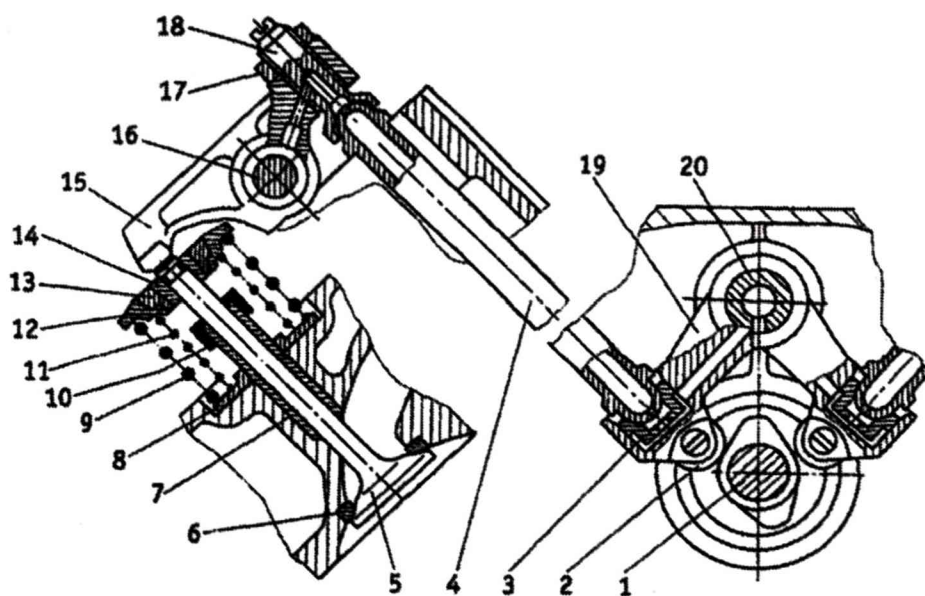


Рисунок 1.1 – Механізм газорозподілу двигуна ЯМЗ 1 - розподільний вал; 2 - ролик; 3 - п'ята; 4 - штанга штовхальника; 5 -впускний клапан; 6 - сідло клапана; 7 - напрямна втулка; 8 - опора пружин; 9 - зовнішня пружина; 10 - манжета; 11 - внутрішня пружина; 12 -тарілка пружин; 13 - втулка тарілки; 14 - сухар; 15 - коромисло; 16 - вісь коромисла; 17 - контргайка; 18 - гвинт регульовальний; 19 - штовхальник; 20 - вісь штовхальників.

У конструкціях двигунів КамАЗ механізм газорозподілу (рис. 1.2.) верхнеклапаний з нижнім розташуванням розподільного вала. Кулачки розподільного вала 24, працюючи в умовах тертя-ковзання зі штовхальниками 23, передають через них гойдальний рух штангам 19 і коромислам 16, а вони, долаючи опір пружин 4 і 5, відкривають клапани 25. Закриваються клапани під дією пружин.

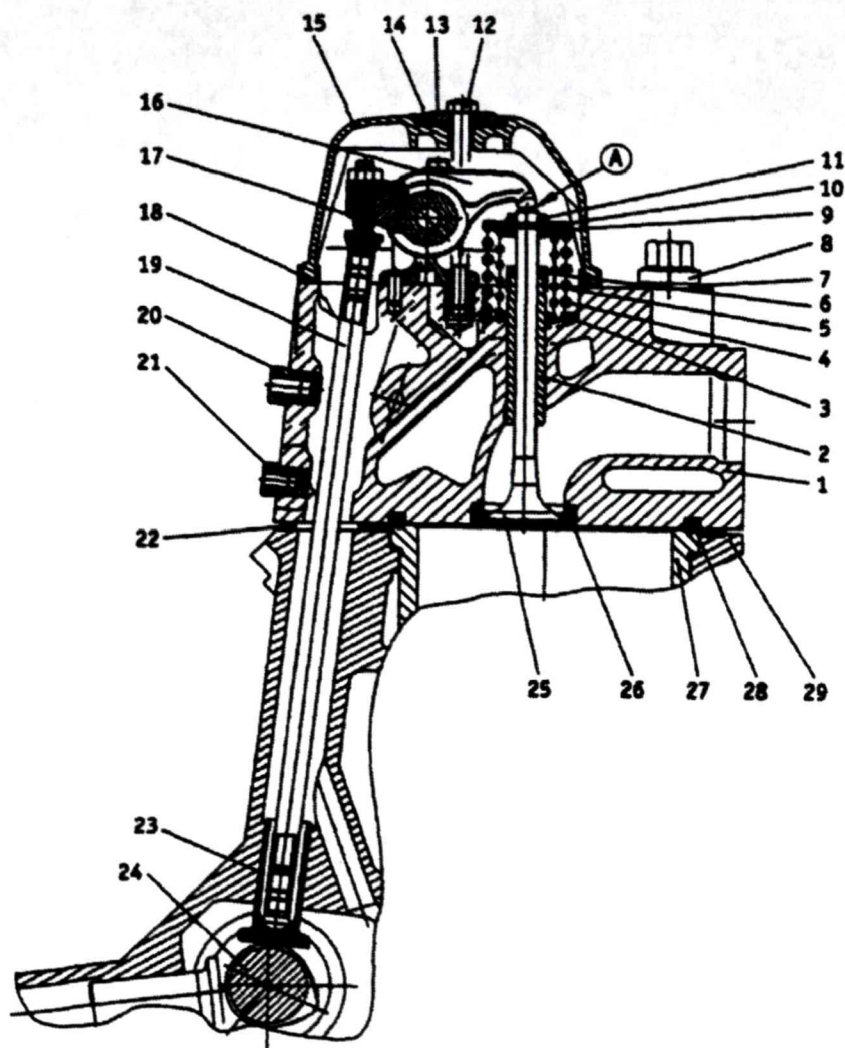


Рисунок 1.2 – Механізм газорозподілу двигуна КамАЗ-740 1 - голівка циліндрів; 2 - напрямна втулка; 3 - шайба; 4,5 - пружини; 6 - манжета клапана; 7 - шайба; 8 - болт; 9 - тарілка пружин; 10 - втулка; 11 - сухар; 12 - болт кріплення кришки; 13 - шайба; 14 - віброізоляційна шайба; 15 - кришка голівки циліндра; 16 - коромисло; 17 - стійка коромисел; 18 - прокладка; 19 - штанга; 20 – укрупень кріплення впускного колектора; 21 – укрупень кріплення водяної труби; 22 - прокладка; 23 -штовхальник; 24 - розподільний вал; 25 - випускний клапан; 26 - сидло випускного клапана; 27 - гільза циліндра; 28 - кільце; 29 - блок циліндрів; А - тепловий зазор.

Механізм взаємодії штовхальника з кулачком розподільного вала

складний, найбільший вплив на зношування пари виявляють наступні фактори [2]:

- зовнішній механічний вплив, що характеризується швидкістю відносного переміщення й навантаженням;
- температура тертя й температурний градієнт;
- фізико-механічні властивості сполучених пар і навколишнього проміжного середовища (модуль пружності, коефіцієнт об'ємного розширення, макро й мікротвердість, границя текучості, термообробка тощо);
- макро й мікрогеометрія поверхні тертя;
- вид тертя;
- тривалість і шлях тертя;
- властивості мастильного матеріалу.

Дія цих факторів приводить до зношування кулачкової пари, і як наслідок, до зниження ефективності роботи двигуна внутрішнього згоряння.

1.2. Аналіз способів відновлення розподільних валів

Надійна й економічна робота системи газорозподілу двигуна внутрішнього згоряння багато в чому залежить від ресурсу розподільного вала, обумовленого в першу чергу зносостійкістю найбільш навантажених його робочих поверхонь - кулачків. При ремонті гранично зношених валів поряд із забезпеченням зносостійкості кулачків постає складне завдання відновлення їх первісного профілю.

Найбільше поширення в ремонтному виробництві одержав спосіб шліфування кулачків в еквідистантний профіль до виведення слідів зношування, що супроводжується зняттям шару металу однакової товщини. Цей спосіб дозволяє зберегти вихідні фази газорозподілу і висоту підйому клапана. Недоліком є неминуче зменшення радіуса вершини кулачка, яке веде до збільшення контактних напружень порівняно з напруженнями, що виникають на вершині нового кулачка, і, як наслідок, більш інтенсивному його зношуванню.

З метою збереження первісного радіуса вершини, запропонований спеціальний ремонтний профіль кулачка. Однак цей спосіб важко застосувати

для ремонту розподільних валів форсованих двигунів зі значним зношуванням вершин кулачків, що досягає 1,5...1,8 мм. Для одержання вихідного радіуса вершини у такого кулачка, й необхідної висоти підйому штовхальника необхідно буде зняти із циліндричної частини майже весь термооброблений шар металу.

Недоліком наведених вище способів шліфування є те, що застосування їх обмежене припустимим розміром кулачків. Розподільні вали, з розміром хоча б одного кулачка менше припустимого, вибраковуються або ремонтуються за допомогою одного зі способів відновлення робочого профілю кулачків.

При ремонті розподільних валів розповсюджені два способи відновлення кулачків: його вершини й усього профілю.

Для відновлення вершин кулачків застосовуються способи електродугового наплавлення електродами і ацетилено-кисневим полум'ям зносостійкими сплавами. При електродуговому наплавленні використовують електроди ОЗН-400, Т-590, Т-620, прутки сплаву сормайт. Ацетилено-кисневе наплавлення кулачків роблять прутками сплаву сормайт. Фірмою: «Gastolin+Eutektik» для цієї мети розроблений сплав EUTEKBOR 9000 у вигляді прутка, який забезпечує твердість наплавленого шару в межах HRC 57...63. Для зменшення деформацій розподільного вала, що виникають у результаті сильного нагрівання, процес наплавлення кулачків ведуть у ванні з водою. При газовій – наплавці охолоджують усю наплавлену вершину, після цього роблять відпуск при температурі 220...220°C з витримкою в маслі.

Ці способи не знайшли широкого застосування на підприємствах через низьку продуктивність і труднощі нанесення тонких шарів. Тому, що це призводить до втрат наплавочного матеріалу, а також збільшує тривалість механічної обробки.

Існує спосіб відновлення зношених вершин кулачків, що містить операції наплавлення сталевими електродами, термічної обробки для зняття напружень, виправлення, зміцнювальної термообробки - азотування, додаткового виправлення й шліфування. Валики наплавляють на вершину кулачка з урахуванням величини зношування. Недоліком технології є висока

трудомісткість і енергоємність внаслідок наявності двох операцій термообробки. Крім цього, технологія призначена тільки для розподільних валів, що мають зношування вершин усіх кулачків.

До способів відновлення вершин кулачків у формуючому оснащенні можна віднести спосіб наплавлення порошковим дротом АН-122, спосіб електроконтактної приварки порошків, спосіб індукційного наплавлення. Сутність цих способів полягає в тому, що безпосередньо на зношену, або попередньо прошліфовану вершину кулачка, наносять шар металу при одночасному використанні формуючої вершини оснащення. У якості наплавочних сплавів при електроконтактній приварки й індукційному наплавленні використовують порошки на основі заліза і нікелю.

Недоліками цих способів є низька якість наплавленої поверхні на кулачках вершин, що мають зношування менш 2 мм, оскільки сама технологія розрахована на відновлення вершин кулачків зі зношуванням 2,5...3,0мм. Попереднє шліфування поверхні кулачка за попередньою технологією, а також шліфування в спеціальний профіль для електроконтактної приварки порошку сполучене з додатковими капітальними витратами на придбання копіювально-шліфувального верстата й з підвищенням трудомісткості робіт. Загальним недоліком цих способів, а також способу індукційного наплавлення є низька стійкість формуючого вершину оснащення.

Технологія електроконтактної приварки, при якій порошковий матеріал перебуває в електроді в насипному стані, застосовується для відновлення зношених поверхонь із невеликою площею; наприклад, зубів шестірень, і буде мало ефективним при відновленні вершин кулачків, оскільки вони, мають набагато більшу площу робочої поверхні.

Відомий спосіб відновлення вершин кулачків припаюванням пластин зі швидкорізальної сталі або твердого сплаву за допомогою високотемпературного припою на попередньо прошліфовану площу. Для запобігання перегріву кулачка при наплавці струм включають імпульсами. Після наплавки пластин вал шліфують на копіювально-шліфувальному верстаті. Лабораторні випробування,

проведені протягом 100 годин для відновлених таким методом валів, дали гарні результати, але на наш погляд, при експлуатації таких валів буде порушуватися вихідний профіль частини, що набігає, кулачка в зоні термічного впливу, оскільки високі навантаження випробовує не тільки вершина кулачка, але й набігаюча частина профілю.

Загальним недоліком наведених способів відновлення вершин кулачків є труднощі, а найчастіше неможливість їх використання для відновлення всього профілю.

При відновленні всього профілю кулачків розподільних валів застосовуються способи електродугового наплавлення в захисному середовищі CO_2 , вібродугового наплавлення тощо.

Наплавлення розподільних валів двигунів А-01М, А-41 ведуть у захисному середовищі вуглекислого газу по гвинтовій лінії дротом Нп-30ХГСА діаметром 1,2 мм із наступним загартуванням струмами високої частоти до твердості HRC 50...55. Зносостійкість наплавлених поверхонь на рівні нових. Технологічний процес відновлення розподільних валів містить наступні операції: попереднє нагрівання кулачків до температури 220...250°C, наплавлення, високотемпературний відпуск при температурі 650°C, виправлення, чорнове шліфування, загартування, чистове шліфування.

Технологія наплавлення на всю ширину кулачка дротом Нп-30ХГСА в середовищі CO_2 з одночасним спрямованим охолодженням 5% розчином кальцинованої соди у воді містить меншу кількість операцій. Твердість вершини й циліндричної частини становить відповідно 5200 МПа й 3300 МПа, що сприяє рівномірному зношуванню профілю. Зносостійкість наплавлених кулачків розподільних валів двигунів ЗМЗ-53 в 1,72 рази вище зносостійкості нових. Технологічний процес відновлення розподільних валів містить операції наплавлення, виправлення, чорнової обробки кулачків, чистового шліфування.

Перераховані технології не знайшли широкого поширення з наступних причин: більші припуски на механічну обробку, наявність дефектів у наплавлених поверхнях, труднощі повторного відновлення раніше наплавлених

цим способом поверхонь.

Вібродугове наплавлення кулачків розподільних валів роблять дротом У7 або У8 по гвинтовій лінії з охолодженням рідиною. Для охолодження використовують у деяких випадках газорідинне середовище. Вібродугове наплавлення не забезпечує рівномірної твердості по всій наплавленій поверхні, тому для вирівнювання й підвищення твердості на кулачках проводять їхню термічну обробку за допомогою струмів високої частоти. Недоліком технології є також більша товщина наплавленого шару, складова 2 мм.

Застосування гальванічних покриттів для відновлення кулачків розподільних валів спричиняє створенню багатоопераційного технологічного процесу, що включає додаткову операцію зміцнення покриття. Рекомендується зміцнювати покриття вигладжуванням за допомогою алмазного інструмента. Відома також технологія відновлення деталей залізненням, у тому числі кулачків розподільних валів. З метою поліпшення експлуатаційних характеристик, покриті поверхні додатково оплавляють променем лазера, який забезпечує фазові перетворення в поверхневому шарі. Відновлення кулачків розподільних валів гальванічними покриттями не знайшло широкого застосування через високу трудомісткість і складності процесу, а також екологічної шкідливості гальванічного виробництва, що вимагає великих капітальних вкладень в очисні спорудження [3].

На деяких підприємствах застосовуються технології газотермічного напилювання розподільних валів.

Газополуменеве і плазмове напилювання кулачків роблять самофлюсуючими порошками. Поверхня кулачка перед напилюванням проходить спеціальну підготовку. Після напилювання кулачків з метою підвищення зчіплюваності основного і напиленого матеріалів, роблять оплавлення покриття полум'ям пальника, або струмами високої частоти. При плазмовім напилюванні оплавлення кулачків і інших поверхонь роблять у печі. Недоліком цих технологій є необхідність ретельної підготовки напиляємих

поверхонь, а також наявність додаткової операції оплавлення, що збільшує трудомісткість технологічного процесу. Крім цього нераціональні втрати порошку досягають 30%.

Меншу кількість операцій, містить технологія; детонаційного напилювання кулачків. Вона забезпечує зчіплюваність основного й напиленого матеріалу в межах 50...170 МПа, значно більшу щільність покриття, ніж при газополуменевому і плазмовому напилюванні. Однак високочастотний шум, що виникає при детонаційному, так і при плазмовому напилюванні вимагає створення спеціальних боксів із шумопоглинальними стінами.

Технології відновлення кулачків розподільних валів і валів паливних насосів лазерним наплавленням містять операції наплавлення, виправлення, чорнового й чистового шліфування. Присадний матеріал у вигляді обмазки наносять на зношену поверхню й оплавляють променем лазера. Основним компонентом обмазки є суміш порошків на основі нікелю й заліза. Наплавлені поверхні мають високі експлуатаційні властивості. Однак технології не знайшли широкого застосування через високу вартість устаткування й низької продуктивності. Наприклад, при наплавленні порошку ПГ-ФБХ6-2 лазером з діаметром променя 3мм і потужністю 700...800 Вт гарна якість поверхні забезпечується при швидкості наплавлення 1...3 мм/с.

Найбільш широке поширення одержала технологія відновлення кулачків газополуменевим наплавленням. Процес складається з операцій підготовки поверхонь під наплавлення, наплавлення, виправлення, шліфування. Наплавлення роблять вручну ацетилено-кисневим пальником порошками ПР-Н70Х17С4Р4; ПР-Н77Х15С3Р2. Фірма «Castolin+Eutectic» рекомендує для цієї мети порошок BOROTEC 10009. Ця технологія і попередня, можуть бути використані як при наплавленні всього профілю, так і при наплавленні вершини кулачка.

Із проведеного аналізу способів відновлення кулачків розподільних валів, їх переваг, недоліків, а також умов роботи пари кулачок-штовхальник, можна зробити висновок. У цей час немає раціонального способу відновлення, який міг

би одночасно поєднати в собі високу продуктивність, економічність, а також можливість забезпечити високу зносостійкість не тільки кулачка, але й сполученого з ним штовхальника.

Вимога забезпечення високої зносостійкості пари кулачок-штовхальник здобуває особливу актуальність у зв'язку з тим, що збільшення енергонасиченості двигунів внутрішнього згоряння йде за рахунок підвищення частоти обертання колінчатого вала. При цьому на клапан, з метою гасіння інерційних сил, установлюють могутніші пружини, які при малих оборотах розподільного вала призводять до росту контактних напружень у кулачку й штовхальнику, і негативно позначаються на їхній зносостійкості.

Одним зі шляхів підвищення зносостійкості кулачків є впровадження прогресивних технологій їх зміцнення на стадії виготовлення. Провідними фірмами в цьому напрямку є «Honda» і «Toyota», які використовують плазмову і лазерні технології.

Таким чином, питання відновлення кулачків розподільних валів залишається актуальним, і буде більш гостро стояти по мірі збільшення енергонасиченості двигунів.

Технологія, крім досягнення зазначених вище трьох головних умов, повинна також забезпечувати: доступність застосовуваних для відновлення матеріалів; незначний тепловий вплив на вал, що зводить до мінімуму його деформацію; можливість використання виробляемого для промисловості обладнання для процесу відновлення, включаючи й механічну обробку; універсальність обладнання, що дозволяє відновлювати не тільки розподільні вали, але й інші деталі; технологія й обладнання повинні зводити до мінімуму вплив шкідливих факторів на здоров'я робітника.

Одним зі шляхів розв'язку питання розробки раціональної технології відновлення кулачків розподільних валів, з урахуванням вищезазначених вимог, є використання нових ефективних способів нанесення покриттів. До таких прогресивних способів належить плазмове наплавлення порошковими зносостійкими сплавами, застосування яких, з метою підвищення ресурсу

відновлюваних і зміцнюваних деталей, поширюється як у нас, так і за кордоном.

1.3. Фізична характеристика плазми і її застосування при наплавленні зношених деталей

В 1923 році фізиками Л. Тонкс і І. Ленгмюр було запропоновано називати плазмою середовище, в якому значна частина молекул і атомів іонізована. Плазма складається із трьох компонентів: нейтральних атомів або молекул вихідного газу, а також електронів і позитивних іонів цього ж газу. У випадку використання складних газових сумішей, у плазмі можуть перебувати нові види молекул (NO, OH, CH тощо).

Стан плазми описується наступними фізичними характеристиками [4]:

1. Ступінь іонізації плазми є кількісною характеристикою й визначається як відношення числа заряджених часток одного знаку до нейтральних атомів газу до іонізації. У плазмі поряд із процесом іонізації відбувається процес рекомбінації, що нейтралізує заряджені частки. Ступінь іонізації однокомпонентного газу можна визначити також за рівнянням Саха:

$$\frac{x}{1-x^2} \rho = 2,4 \cdot 10^{-4} a^2 T^{\frac{5}{2}} \exp\left(-\frac{eUi}{KT}\right), \quad (1.1)$$

де: x - ступінь іонізації газу;

ρ - тиск газу, Па;

T - температура, К;

eUi - енергія іонізації газу, еВ;

$K=8,6 \cdot 10^{-5}$ еВ/ К - постійна Больцмана;

a^2 - статистичний квантовий коефіцієнт, його значення коливається в межах 1...4 і залежить від положення елемента в таблиці Менделєєва. Найбільший вплив на ступінь іонізації виявляє температура й потенціал іонізації.

Для плазми характерний стан квазинейтральності, тобто, у певному обсязі число іонів дорівнює числу електронів. Умови квазинейтральності виконуються в тому випадку, якщо розмір розглянутої області плазми більше дебаєвського радіуса:

$$r_D = 5 \sqrt{\frac{T_e}{n}}, \quad (1.2)$$

де: r_D - дебаєвський радіус, см;

T_i - електронна температура, К;

n -концентрація електронів, см^{-3} .

2. Найбільш важливою характеристикою плазми є температура. Розрізняють електронну T_e й іонну T_i , а також температуру нейтральних атомів або молекул T_a . Електронна температура вище температури іонів і нейтральних атомів, оскільки електрон має меншу масу й більшу швидкість. Розрізняють високотемпературну й низькотемпературну плазми. Електронна температура високотемпературної плазми вище 100000° К , для низькотемпературної плазми характерно менше значення електронної температури. Зі збільшенням тиску плазми (рис. 1.3) відмінність температур стає менше, тому для електродугових плазмотронів з достатньої для практичних цілей точністю вважають, що електронна, іонна й температура атомів приблизно рівні.

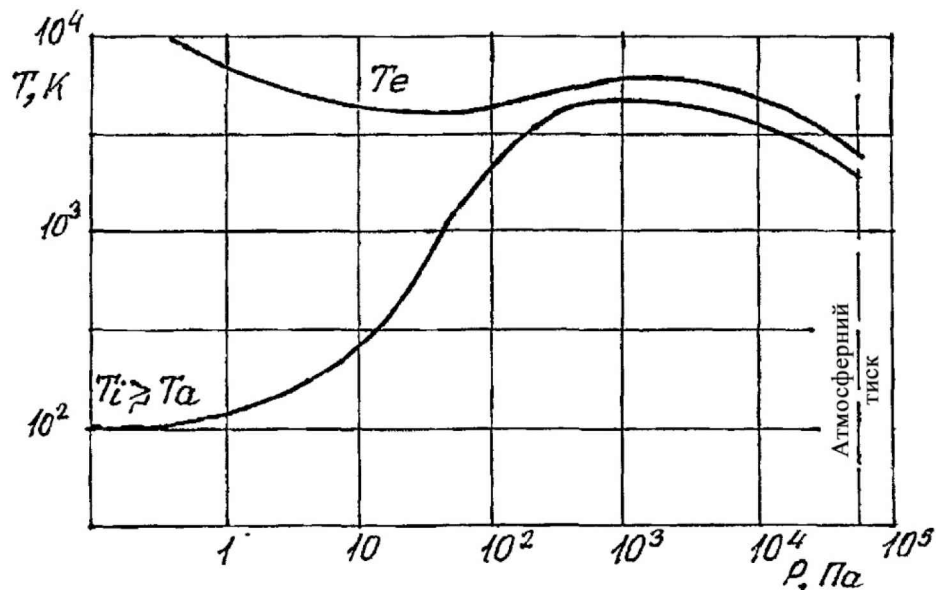


Рисунок 1.3 – Залежність електронної T_e , іонної T_i і температури нейтральних атомів T_a від тиску P

3. Важливим параметром плазми є ентальпія (питома тепломісткість), яка залежить від температури (рис. 1.4). Для одноатомних газів (Ar, He) зі збільшенням температури ентальпія росте за рахунок теплового руху й іонізації. Для молекул газів (O_2 , H_2 , N_2) при нагріванні ентальпія різко зростає за рахунок

процесу дисоціації, а потім ентальпія росте за рахунок іонізації. Тому використання молекулярних плазмотворних газів більш вигідно в енергетичному відношенні, оскільки при низьких температурах вони мають ту ж теплову ефективність, що й одноатомні газ.

До фізичних характеристик плазми належать також в'язкість, теплопровідність і коефіцієнт теплопередачі, які перебувають у складній залежності від температури [4].

Одержання плазми для технологічних цілей здійснюється в плазмотронах. У технологіях зміцнюючої обробки металів широко застосовуються електродугові плазмотрони. У них плазму одержують при проходженні газу через електричний розряд між електродами, один з яких виконаний у вигляді стрижня (найчастіше з вольфраму), а інший – являє собою охолоджувану деталь із отвором, який називається плазмостворюючим соплом.

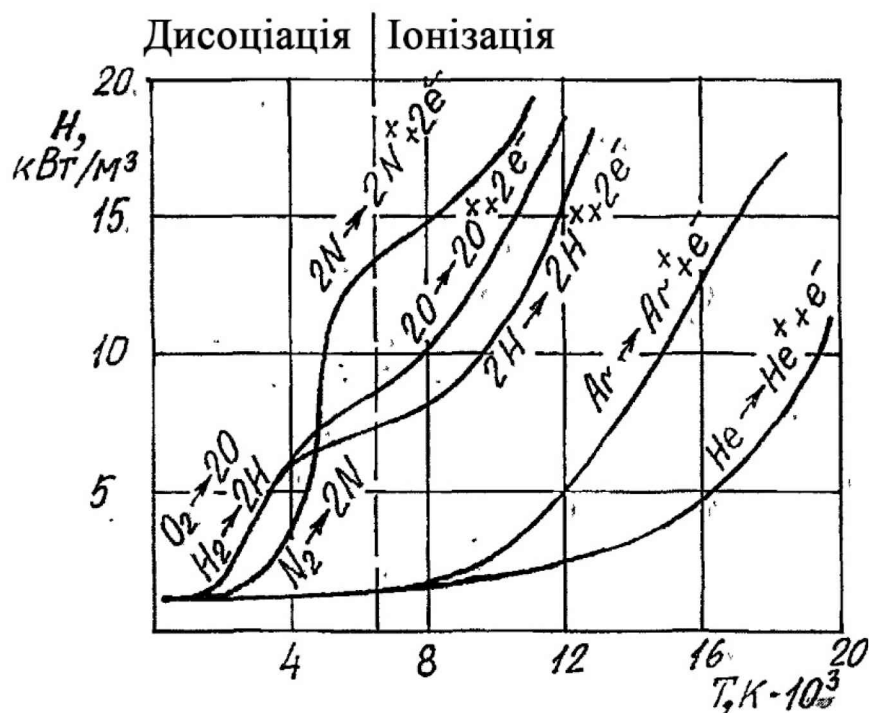


Рисунок 1.4 – Залежність ентальпії H газів від температури T

При плазмовій обробці не вся енергія, що виділяється плазмотроном, використовується в процесі створення покриття на деталі. Повна енергія стислої дуги витрачається на нагрівання катода q_k , плазмостворюючого сопла q_c ,

розсіюється в просторі на відкритій ділянці дуги q_v , передається оброблюваному виробу q_u :

$$q = q_k + q_c + q_v + q_u \quad (2.3)$$

Відношення ефективної теплової потужності q_u до теплової потужності стислої дуги q називається ефективним ККД нагрівання виробу. При плазмовому наплавленні $\eta_u = 0,68 \dots 0,72$ і залежить від багатьох параметрів технологічного процесу (струму, швидкості наплавлення, витрати плазмоторного газу тощо), а також від конструктивних параметрів плазмотрона (діаметра й довжини плазмоторного сопла, положення катода тощо).

При плазмовому наплавленні частина ефективної теплової потужності витрачається на розплавлювання металу деталі q_d , інша частина використовується на розплавлювання наплавочного матеріалу q_m , інша енергія витрачається на нагрівання деталі. Повна теплова ефективність наплавлення оцінюється тепловим ККД:

$$\eta = (\eta_t + \eta_{н.эф.}) \quad (2.4)$$

де: $\eta_t = \frac{q_d}{q_u}$ - термічний ККД;

$\eta_{н.эф.} = \frac{q_m}{q_u}$ - ефективний ККД розплавлювання наплавочного матеріалу.

Термічний ККД при плазмовому наплавленні по гвинтовій лінії постійним струмом прямої полярності сплавом ПР-Н70Х17С4Р4 становить 0,2 при широкошаровому наплавленні (з коливаннями плазмотрона) $\eta_t = 0,4$, а при наплавленні дротом НП-30ХГСА по гвинтовій лінії $\eta_t = 0,22$. Ефективний ККД розплавлювання, наплавочного матеріалу в цих випадках становить відповідно 0,15; 0,2 і 0,12. При плазмовому наплавленні можна в широкому діапазоні регулювати розподіл теплової потужності дуги, затрачуваної на розплавлювання деталі й наплавочного металу.

У цей час розроблений ряд способів плазмового наплавлення, які можна класифікувати по роду струму, виду дуги, складу плазмоутворюючого і захисного середовища, місцю введення наплавочного матеріалу в стислу дугу.

Переважає більшість процесів плазмового наплавлення, у силу високого коефіцієнта корисного використання потужності, заснована на застосуванні постійного струму прямої полярності. Ці процеси відрізняються інтенсивним введенням теплоти в метал і застосовуються при наплавленні деталей зі сталі, чавуну, ряду кольорових металів. Процес наплавлення на зворотній полярності частіше використовується при наплавленні алюмінію, оскільки забезпечує безперервне катодне розпилення окисної плівки.

У технологіях наплавлення змінним струмом стисла дуга може живитися від однофазних, двофазних і трифазних трансформаторів. Процес використовується при наплавленні деталей зі сталі, чавуну, міді, а також алюмінію. Надійність плазмотрона при наплавленні на змінному струмі знижується, а при наплавленні на струмах менш 150А порушується стабільність процесу.

По виду дуги розрізняють наплавлення стислою дугою непрямої й прямої дії. У першому випадку дуга горить між електродом і плазмоутворюючим соплом (рис. 1.5, а). Обробка деталей непрямою дугою найбільше широко застосовується при напилюванні й набагато рідше при наплавленні. Стислою дугою прямої дії називають дугу, яка горить між електродом і деталлю (рис. 1.5, б). Більшість технологічних процесів плазмового наплавлення засноване на використанні стислої дуги прямої дії. Стислу дугу, яка одночасно горить між електродом, плазмоутворюючим соплом і деталлю (рис. 1.5, в) називають комбінованою дугою. Енергію комбінованої стислої дуги можна перерозподіляти в широкому діапазоні, що дозволяє використовувати її як при напилюванні, так і при наплавленні.

Склад плазмоутворюючого і захисного середовища при плазмовому наплавленні визначається залежно від хімічного складу наплавочного й основного металів, а також вимог, пропонованих до напавленої поверхні.

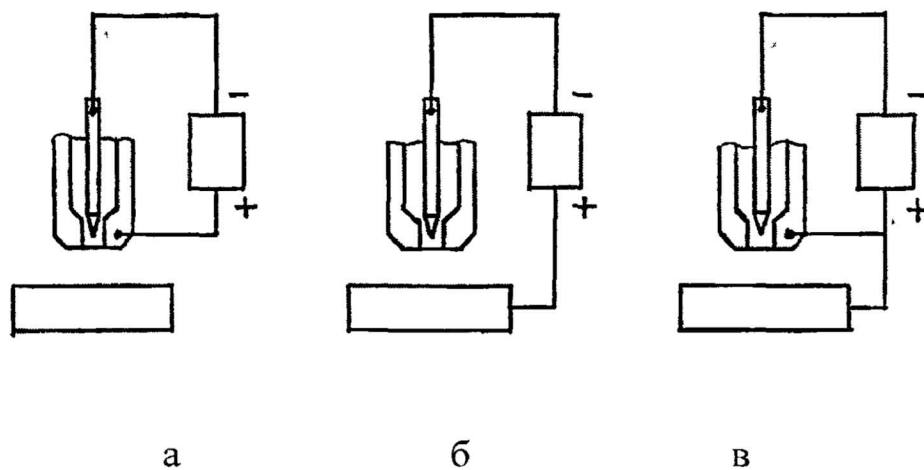


Рисунок 1.5 – Схеми наплавлення стислою дугою: а - непрямої дії;
б - прямої дії ;в - комбінованою дугою.

Склад плазмоутворюючого газу також визначається конструктивними особливостями плазмотрона й матеріалом катода. По хімічному впливу на метал плазмоутворюючі гази діляться на інертні (аргон, гелій) і активні (водень, азот). Використовуються також різні суміші цих газів, а для підвищення ефективності процесу до них додають кисень, вуглекислий газ. Склад захисного середовища також можна розділити на інертний і активний. До складу активного середовища, крім зазначених вище газів, входить повітря. У деяких процесах використовують суміші аргону з воднем, аргону з вуглекислим газом і киснем. Застосування активного захисного середовища пов'язане з необхідністю введення до складу наплавочних матеріалів розкиснювачів : Al, Ti, Si, Mn, що забезпечують хімічний захист зварювальної ванни. Найбільш широке поширення при напавленні деталей одержали процеси, що використовують аргон у якості плазмоутворюючого й захисного газів. Аргон охороняє катод від окиснення й забезпечує надійний захист зони напавлення від навколишнього повітряного середовища.

За місцем введення наплавочного металу в стислу дугу процеси напавлення можна розділити на дві групи.

Найбільш ефективною, з погляду корисного використання потужності стислої дуги, є група способів, у яких подача наплавочних матеріалів

здійснюється в ділянці дуги, розташовану усередині плазмотрона. У цих випадках у плазмотронах застосовують трубчасті електроди, через які подають порошки або дроти (рис. 1.6, а), або електрод установлюють ексцентрично стосовно плазмоутворюючого сопла (рис. 1.6, б), а наплавочний матеріал подають у вільне від електрода місце. Застосовують також плазмотрони, у яких подача наплавочного металу здійснюється через радіальний отвір у плазмоутворюючому соплі (рис. 1.6, в). Використання цих способів при напавленні стислою дугою комбінованого дії дає широкі технологічні можливості. Недоліком є конструктивна складність плазмотронів і низька надійність у силу того, що частина розплавленого наплавочного металу попадає на внутрішню поверхню плазмоутворюючого сопла.

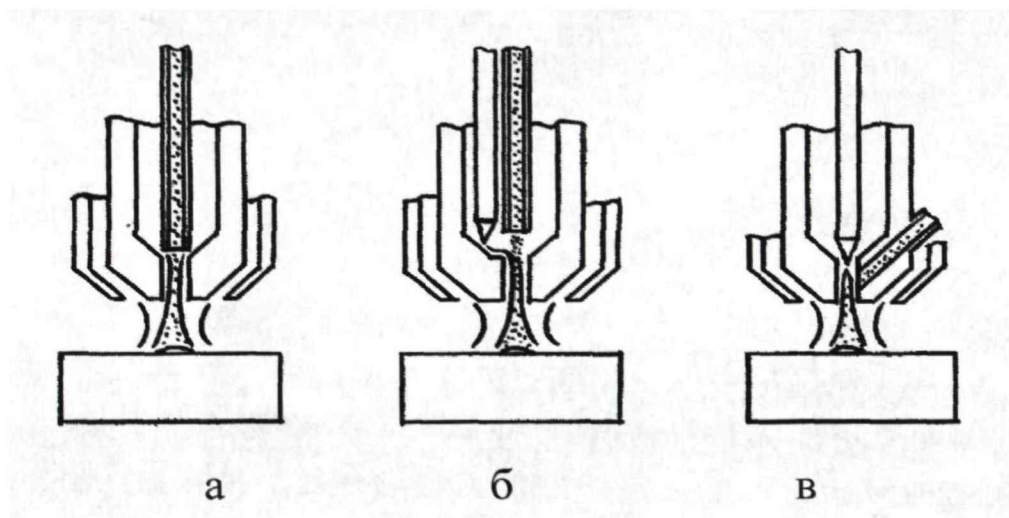


Рисунок 1.6 – Схеми плазмового напавлення з подачею наплавочного матеріалу в стислу частину дуги

Більше поширення одержали способи напавлення з подачею наплавочних матеріалів в частину стислої дуги що вільно розширюється, при цьому використовують дроти, порошки, а також композиції із цих матеріалів. Напавлення стислою дугою з подачею наплавочного дроту здійснюють:

- дугою непрямої дії, коли деталь електрично нейтральна а дуга горить між електродом плазмотрона й струмоведучим дротом (рис. 1.7, а);
- дугою прямої дії з електрично нейтральним дротом (рис. 1.7, б);
- дугою прямої дії, коли дріт електрично нейтральний щодо

плазмотрона, але має підігрів від додаткових джерел (рис. 1.7, в);

- комбінованим способом, коли горять дві дуги: між електродом плазмотрона й струмоведучим дротом, а також між електродом і деталлю (рис. 1.7, г).

Останні три способи можуть бути реалізовані при наплавленні двома дротами.

Плазмове наплавлення із застосуванням порошкових наплавочних сплавів здійснюється:

- дугою прямої дії по шару насипаного, або нанесеного у вигляді пасти порошку на наплавлювальну поверхню (рис. 1.7, д);

- з подачею порошку безпосередньо у ванну розплавленого металу транспортуючим газом (рис. 1.7, е), захисним газом (рис. 1.7, і), або, що мимовільно висипається із живильника (рис. 1.7, к).

Плазмове наплавлення одночасно дротом і порошком здійснюється зі струмоведучим дротом, при цьому воно може становити єдине електричне коло із плазмотроном і деталлю, а також окремо виділений ланцюг, що містить електрод плазмотрона й дріт.

Дослідження із плазмового наплавлення деталей зварювальними й наплавочними дротами, проведені Вайнерманом А.Е., Пулатовим С.И. і іншими дослідниками, показали, що використання дротів Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, Нп-60Г при наплавленні деталей зі сталей 45, 40Х, 65Г пов'язане з необхідністю проведення термічної обробки. При цьому зносостійкість наплавлених шарів залежить від хімічного складу наплавленого металу й може бути вище або нижче зносостійкості термообробленого основного металу. Наплавлення деталей, виготовлених зі сталі 20, корозійно-стійкими хромонікелевими дротами марки Св-02Х19Н10Т и Св-06Х19Н10Т без термічної обробки забезпечує підвищення їх зносостійкості й корозійної стійкості. Антифрикційні властивості наплавленим деталям зі сталі 45 надають також дроту зі сплавів Бр АМц 9-2, Бр КМц 3-1, БрОФ 6,54,0, БрОЦ 2-4-3 [5].

Наплавлення стислою дугою з одночасною подачею у зварювальну ванну

порошку й струмоведучого дроту дозволяє одержувати за один прохід наплавлений шар товщиною до 5 мм. Використання дротів Св-08Г2С, Св-08МХ, Св-15ГСТЮЦА в різних композиціях з порошком ПР-Н70Х17С4Р4 дає можливість одержувати наплавлений метал різної твердості в межах HRCэ 30...55. Застосування цих наплавочних композицій у технологіях відновлення колінчатих валів, двигунів А-41, ЯМЗ-238 дозволило підвищити ресурс валів і забезпечити втомну міцність в межах 80...93% від рівня нових. Зносостійкість наплавлених шийок перебуває на рівні зносостійкості шийок нових валів.

У технологіях плазмового наплавлення порошковими сплавами використовують порошки на основі нікелю й заліза.

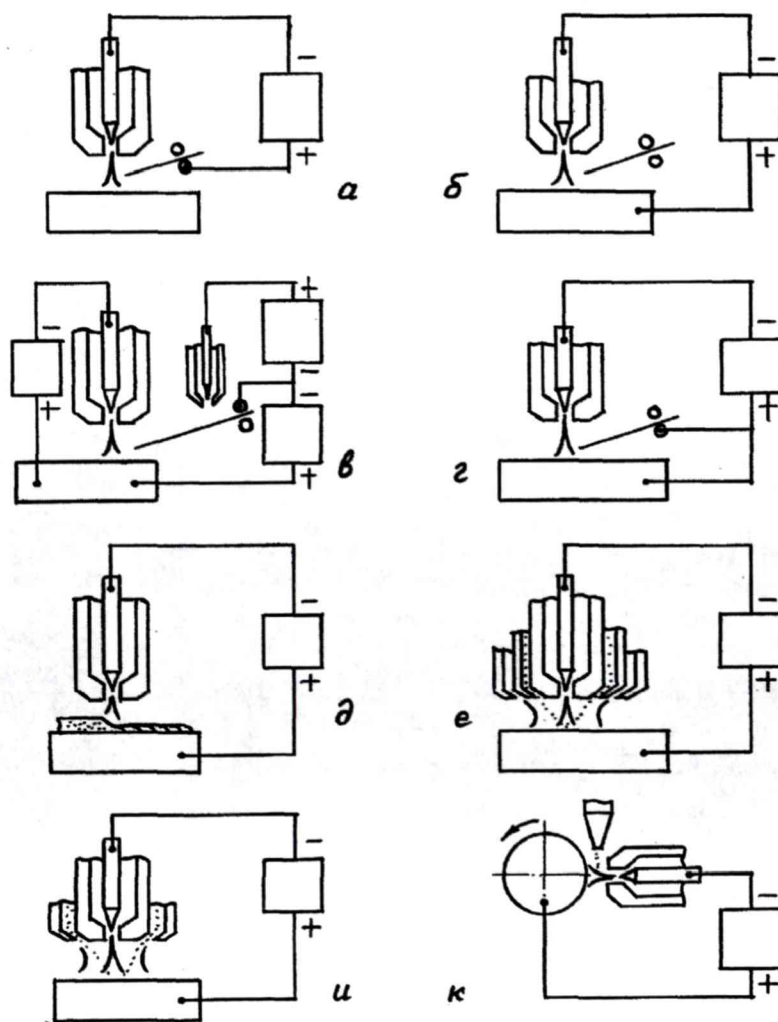


Рисунок 1.7 – Схеми плазмового наплавлення з подачею присадного матеріалу в частину стислої дуги, що вільно розширюється

Хромонікелеві порошки містять у своєму складі вуглець, бор, кремній,

залізо. Бор і кремній сприяють зниженню температури плавлення порошків до 950...1100°C и надають їм здатність до самофлюсування. Наявність вуглецю, хрому й бору забезпечує створення у наплавленому металі твердих карбідів хрому, легованих бором, які впливають на зносостійкість наплавленого металу. При відновленні деталей сільськогосподарської й автомобільної техніки, що мають циліндричну форму, використовують порошки ПР-Н77Х15СЗР2, ПР-Н73Х16СЗР3, ПР-Н70Х17С4Р4. Твердість відновлених поверхонь перебуває в межах HRC 35...55. Частка основного металу в наплавленому становить 2...10% і залежить від режимів наплавлення. Зносостійкість покриттів в 2...8 разів вище зносостійкості, загартованої сталі 45 до твердості HRC 45-48.

Є досвід відновлення плазмовим наплавленням порошковими матеріалами більш відповідальних деталей двигуна внутрішнього згоряння – колінчатого вала [6]. Для цієї мети розроблено порошкову композицію, яка меншою мірою схильна до утворення тріщини при широкошаровому наплавленні. Однак технологія не знайшла застосування тому, що відновлені вали мали низьку утомну міцність, складову 45% від рівня нових. Також розроблений спосіб плазмового наплавлення (рис. 1.7, к), що забезпечує підвищення зносостійкості валів. Однак цей спосіб дозволяє відновлювати шейки колінчастих валів, які не досягли гранично припустимого розміру. Товщина зміцнюючого шару становить 0,2...1,0 мм і забезпечує збільшення діаметра шийок, вала на 1 - 2 ремонтних розміри. За цією технологією галтелі на шийках не наплавляють. Незначний термічний вплив на вали дозволяє, на думку авторів, зберегти вихідну утомну міцність валів з високою зносостійкістю наплавлених шийок. Наплавочними матеріалами служать порошкові сплави на основі нікелю.

Порошки на залізній основі (ПГ-С1, ПГ-327, ПГ-ФБХ6-2, ПГ-ВУС25 тощо) містять у своєму складі вуглець, хром, кремній, марганець та інші елементи. Температура плавлення порошків становить 1250...1300°C, у наплавленому металі утворюють карбіди хрому й заліза. Матриця сплавів має більш високу твердість, ніж матриця хромонікелевих сплавів, з цієї ж причини наплавлені шари мають високу крихкість. Область застосування порошків на залізній основі

- відновлення й зміцнення деталей ґрунтообробних машин, відновлення зношених поверхонь деталей типу «вал», хрестовин.

Наплавлення порошками на залізній основі роблять у середовищі інертних і активних газів. При відновленні деталей у захисному середовищі вуглекислого газу в якості розкиснювача порошковий присадний матеріал уводять 6% алюмінію, або 3% ферокремнія й 1% феротитану. Наплавлення в середовищі азоту ведуть із добавкою в порошок 1% алюмінію. При наплавленні в середовищі стисненого повітря краща якість наплавленому металу надає добавка 6% алюмінію, або композиція розкиснювачів з 3% алюмінію й 1% феротитану. Однак наплавлений метал має дефекти у вигляді раковин і пор. Використання інертних захисних газів при наплавленні порошкових сплавів на залізній основі дозволяє виключити цей недолік.

Із проведеного аналізу науково-технічної й патентної літератури можна зробити висновок про те, що застосування низькотемпературної плазми для відновлення деталей машин- за рахунок різноманіття способів наплавлення дає широкі технологічні можливості, які можуть бути реалізовані при відновленні кулачків розподільних валів.

1.4. Мета і завдання дослідження

Дослідження ряду авторів щодо плазмового наплавлення, стосовно до відновлення деталей сільськогосподарської техніки, проведені в основному до поверхонь, що мають- циліндричну форму. Як правило робочі поверхні цих деталей не випробовують високих контактних напружень. У цьому відношенні кулачки розподільних валів мають складну геометричну форму й залежно від механізму взаємодії зі штовхальником, працюють в умовах тертя ковзання або тертя катання. У процесі роботи вони сприймають навантаження, порівнянні із гранично-припустимими навантаженнями для матеріалу розподільного вала.

Метою досліджень є розробка технології відновлення розподільних валів двигунів внутрішнього згорання плазмовим наплавленням з ресурсом не нижче нових.

У роботі ставляться наступні **завдання досліджень**:

- обґрунтувати вимоги до властивостей наплавлювальних матеріалів;
- провести аналіз зношування розподільних валів;
- розробити технологію відновлення розподільних валів і визначити її техніко-економічну ефективність.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ КУЛАЧКІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ

2.1 Вимоги до властивостей наплавлених поверхонь кулачків розподільних валів

Робота кулачкових механізмів характеризується в першу чергу сильно вираженим динамічним навантаженням тертьових поверхонь, але існують інші фактори, що впливають на роботу пари кулачок – штовхач. До таких факторів належать: геометрія профілю кулачка, форма й геометрія працюючої з кулачком поверхні штовхача, матеріал кулачка й штовхача, їх фізико-механічні властивості, шорсткість поверхонь, застосовуваний мастильний матеріал, температура. Більшою мірою діючі фактори й властивості матеріалів, що брали участь у процесі роботи в парі кулачок – штовхач враховані у формулі розрахунків середньої інтенсивності зношування за один цикл навантаження [7]:

$$J_h = k \left[\frac{\sigma_n \left(\frac{f_{max}^3}{2f_{max} - f} \right)^{1/2}}{HB} \right] \times \left[\frac{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}{h_{гp} + 0,63 R_{np} \left(\frac{\mu_0^v \sum k}{N_n} \right)^{0,7} \left(\frac{N_n \beta}{R_{np}} \right)^{0,6} \left(\frac{\lambda Pe_{1,2}^{0,5}}{\alpha \mu_0 v_s^2} \right)^{0,325}} \right] \quad (2.1)$$

де: σ_n - найбільша нормальна напружка; f_{max} - найбільше значення коефіцієнта тертя за даних умов роботи; f - коефіцієнт тертя, реалізований у кулачковій парі; R_{np} - наведений радіус кривизни; R_{a1} і R_{a2} - середні арифметичні відхилення профілів шорсткості поверхонь; HB - твердість матеріалу; N_n - навантаження на одиницю довжини контакту; $\sum^v k$ і v_s - відповідно швидкості кочення й ковзання; $h_{гp}$ - товщина граничної плівки; μ_0 - динамічна в'язкість масла при температурі тертьових поверхонь; β - н'єзо-коефіцієнт масла; λ - теплопровідність масла; α - коефіцієнт, що характеризує залежність в'язкості масла від температури ($\alpha \approx 0,02$); $Pe_{1,2}$ - середнє число Пекле.

З формули виходить, що важливою умовою довговічної роботи кулачкового механізму є висока твердість металу і наявність якісного мастильного матеріалу. В результаті загального нагрівання двигуна й температури безпосередньо в тертьових парах, дії зсувних зусиль, зношування, масляна плівка, що є обов'язковою умовою роботи кулачкової пари, може

руйнуватися, що приводить до виникнення схоплювання й задирці тертьових в парі поверхонь. Стійкість граничних мастильних шарів залежить від навантаження, швидкості ковзання в контакті, температури тертьових поверхонь. Затинання може настати як при малих, так і при високих частотах обертання кулачка. На малих частотах обертання кулачкова пара працює при порівняно низьких швидкостях ковзання, але в умовах більших контактних навантажень, що викликають руйнування масляної плівки. Зі збільшенням частоти обертання контактні навантаження знижуються, але зростає швидкість ковзання, збільшується температура, що створює умови для затинання. Для оцінки умов затинання поверхонь кулачкової пари були проведені розрахунки, що показують, як за певних умов, затинання настає при частоті обертання кулачка менш 250 і більш 1900 хв⁻¹ для пари, що працює в умовах тертя ковзання.

Механізм взаємодії штовхача з кулачком розподільного вала складний, і екстремальні фактори, що виникають на вершині кулачка, створюють умови для зношування кулачкової пари, а іноді ведуть до аварійного зношування.

При розробці технології відновлення кулачків розподільних валів плазмовим наплавленням необхідно враховувати дію зазначених вище факторів, зокрема, при виборі наплавочних матеріалів з урахуванням роботи кулачків в умовах тертя катання або тертя ковзання.

Застосування інертного газу аргону як захисного середовища при плазмовому наплавленні дозволяє захистити зону наплавлення від впливу навколишнього повітря й створює умови для формування наплавленого металу без пор і раковин, тому подальші дослідження проводили з використанням цього газу.

Вимоги забезпечення високої твердості кулачка можуть задовольнити порошкові стопи на основі заліза й нікелю, що містять у своєму складі Cr, B, C, які, за нашим припущенням, у процесі наплавлення кулачків розподільних валів будуть трансформуватися в з'єднання Gr-G, Cr-B, Fe-B, Ni-B.

Відоме застосування алюмінію як додаткового розкиснювача при плазмовому наплавленні порошоків на основі заліза і нікелю в захисному

середовищу аргону. У цій роботі рекомендовані границі масової частки алюмінію в присадному порошку, розглянуто його вплив на створення дефектів у наплавленому металі, зазначене також, що присутність алюмінію знижує рідкоплинність розплавленого металу [8].

Ми припускаємо, що на поверхні розплавленого металу утворюється плівка з оксидів алюмінію в результаті реакції, супроводжуваної окисненням алюмінію, присутнім у порошку киснем повітря:



Комбінація високої, температури плавлення оксиду алюмінію (близько 2050°C) і менша щільність, у порівнянні з іншими компонентами, забезпечують його знаходження на поверхні розплавленого металу.

Ми припускаємо також вплив алюмінію на твердість, структуру й зносостійкість наплавлених шарів. На нашу думку, алюміній сприяє збільшенню центрів кристалізації. Оксиди алюмінію, що утворилися, не в повному обсязі спливають на поверхню металу, істотна їхня частина залишається усередині розплавленого металу. Перебуваючи в ньому у вигляді твердих часток, оксиди алюмінію являють собою центри кристалізації. За рахунок цього повинна утворюватися дрібнозерниста структура зі збільшеним об'ємним змістом твердої фази у вигляді з'єднань Cr-C, Cr-B.

Вищевикладене повинне забезпечити ріст твердості й зносостійкості наплавленого металу, що потрібно в умовах роботи кулачкової пари.

2.2 Обґрунтування модернізації установки для плазмового наплавлення кулачків розподільних валів

Вимоги до обладнання для плазмового наплавлення кулачків розподільних валів

Профіль кулачка розподільного вала являє собою замкнену поверхню зі змінливої по контуру кривизною. Складність наплавлення такої поверхні полягає в тому, що при обертанні різні крапки на її поверхні мають різну лінійну швидкість, на вершині кулачка маса металу менше маси циліндричної частини, а зношування спостерігається в основному на вершині кулачка. Із цих причин

передбачається, що при наплавленні вершини кулачка й циліндричної частини змінюваними параметрами технологічного процесу будуть струм наплавлення, частота обертання й витрата порошкового наплавочного матеріалу. Важливою умовою є копіювання – збереження однакової відстані між плазмотроном і поверхнею в будь-якій точці наплавляемого кулачка, це дасть можливість контролювати параметри технологічного процесу, а також забезпечить ефективний газовий захист зварювальної ванни.

За технічними характеристиками установка ОКС-11231 більшою мірою придатна для наплавлення розподільних валів. Однак безпосередньо використовувати її для цих цілей не представляється можливим з наступних причин:

- установка не має обладнання, що дозволяє наплавляти поверхні зі змінливою по контуру кривизною;
- порошковий живильник на низьких витратах присадного матеріалу (до 0,8 кг/год) не забезпечує його стабільну подачу.

Обґрунтування вибору типу порошкового живильника

Основним завданням порошкового живильника є забезпечення дозованої витрати і рівномірної подачі наплавочного матеріалу у зварювальну ванну. Рівномірність подачі порошку створює можливість одержувати наплавлені шари без «гребнів», що веде до ефективного використання порошку й зниженню часу на механічну обробку [9].

Для дозованої подачі порошкових матеріалів у наплавочних установках використовують наступні типи живильників (рис. 2.1): вібраційні; дискові; шнекові; мимовільного висипання; барабанні.

Живильники вібраційного типу виготовляють у двох варіаціях - голчасті й чашкові. Вони працюють за рахунок електромагнітних коливань іголки (чашки) і забезпечують рівномірну подачу порошку в широкому діапазоні витрати, однак їх недоліком є прийнятий спосіб зміни витрати - регулюванням зазору між торцем отвору й підставою голки (верхньої границі чашки), здійснюваного за рахунок використання гвинтової передачі. Це ускладнює можливість

автоматизації процесу зміни витрати порошку при роботі живильника.

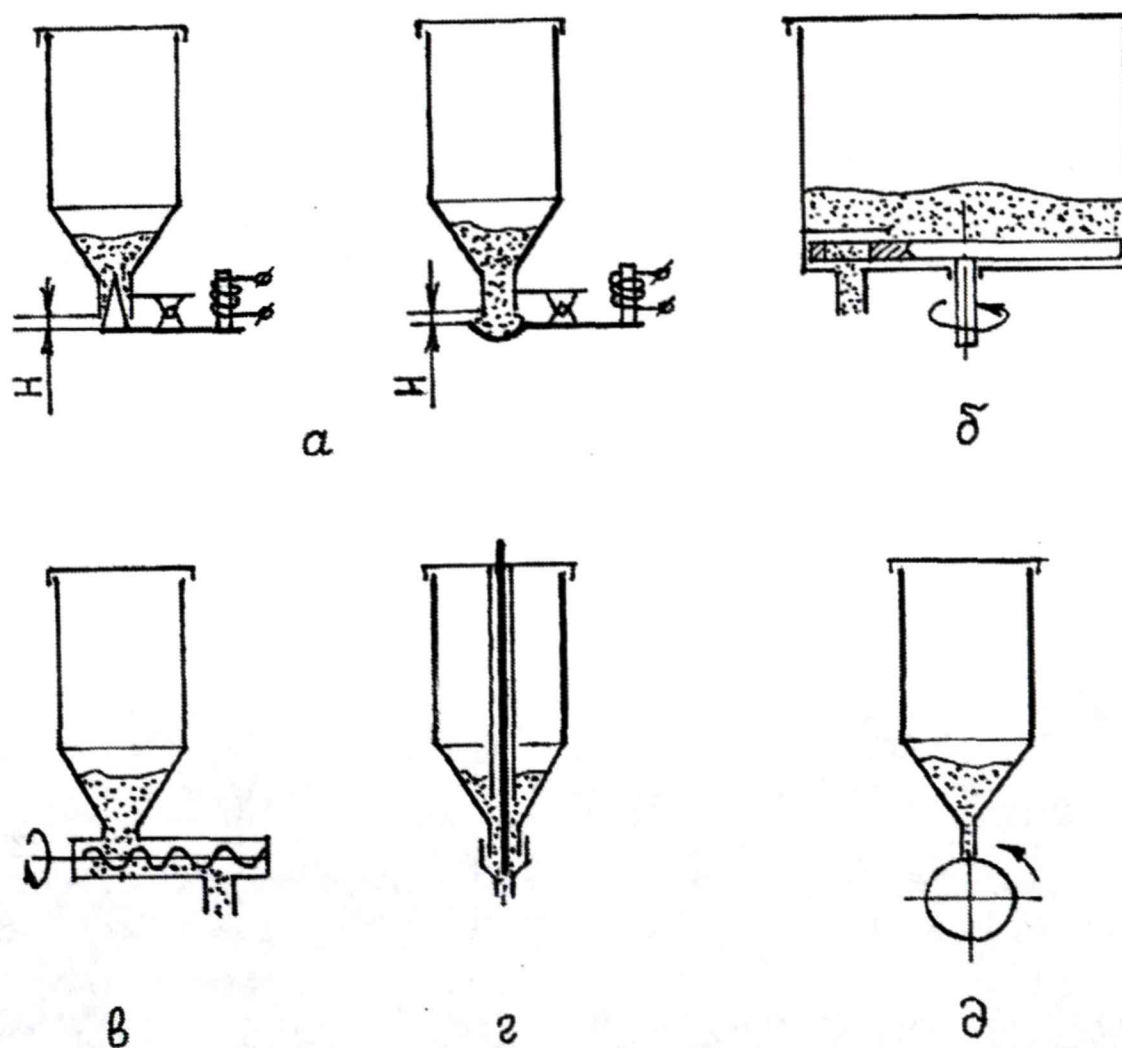


Рисунок 2.1 – Типи порошкових живильників, які використовують для наплавлювальних процесів:

а - вібраційні; б - дисковий; в - шнековий; г – мимовільного висипання;
д - барабанний.

У конструкціях дискових живильників порошок подається через отвір у підставі корпусу за рахунок обертового щілинного диска. Щілини розташовані по периметру диска з певним кроком, при обертанні вони заповнюються порошком і переміщують його до сполучення щілини з отвором у підставі корпусу, де відбувається його висипання з живильника.

У шнекових живильниках порошок подається також через отвір у корпусі за рахунок обертового шнека, який переміщує його з бункера до цього отвору.

Недоліком дискових і шнекових живильників є «порційність» подачі, цей

недолік особливо виражений на малих витратах порошку.

У конструкціях живильників мимовільного висипання порошку його дозування здійснюється за рахунок встановлення в нижній частині бункера мірної дюзи, через яку висипається порошок. Для зупинки подачі порошку застосовують електромагнітний затвор з голкою, що замикає дюзу. Зміна витрати порошку в конструкції цього живильника неможлива без зупинки його роботи й заміни дюзи.

У конструкціях живильників барабанного типу порошок з бункера через патрубок попадає в зазор між останнім і барабаном, при обертанні якого порошок виноситься із зазору, потрапляючи в отвір в корпусі. Робоча поверхня барабана може бути гладкою, маючи зубці або лунки різної форми. Живильники цього типу більшою мірою підходять для рішення поставленого завдання, оскільки вони забезпечують рівномірну подачу особливо при гладкій робочій поверхні барабана, а зміна витрати порошку досягається за рахунок зміни частоти обертання барабана. Для запобігання заклинювання барабана при малих витратах порошку, коли можливе влучення порошкової частки в зазор між патрубком і барабаном, передбачено на патрубок надягати підпружинену щодо бункера втулку. Недолік порошкових живильників барабанного типу полягає в мимовільній зміні витрати порошку через нерівномірне зношування ділянок втулки, що контактують із барабаном і порошковим матеріалом. Наслідком цього недоліку є мимовільна зміна товщини наплавленого шару, що неприпустимо при наплавленні кулачків розподільних валів.

Для усунення зазначеного вище недоліку використовується конструкція живильника, що забезпечує стабільну подачу порошку при будь-яких витратах в умовах тривалої роботи. Конструкція живильника може бути виконана в трьох варіантах (рис. 2.2).

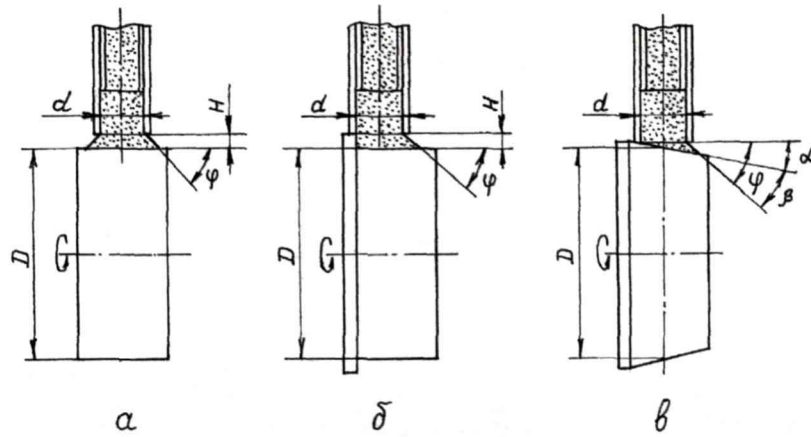


Рисунок 2.2 – Варіанти виконання порошкового живильника барабанного типу: а - втулка розташована над барабаном; б - втулка опирається на обід барабана; в - втулка опирається на конічний барабан.

У загальному виді витрата порошкового присадного матеріалу для живильника із гладким циліндричним барабаном можна виразити функцією:

$$Q = f(D, d, H, n, \rho, \varphi), \quad (2.2)$$

де: Q - витрата порошку, г/хв; D - діаметр барабана, мм; d - внутрішній діаметр втулки, мм; H - величина зазору між торцем втулки й поверхнею барабана, мм; n - частота обертання барабана, хв⁻¹; ρ - насипна щільність порошку, г/см³; φ - кут природнього укосу порошку, градус.

За допомогою параметрів d , H , φ визначається площа (S) поперечного перерізу усіченого конуса (рис. 2.2, а), який утворює порошок на барабані, висипаючи із втулки. Параметри D і n дають можливість визначити об'ємну витрату, а параметр ρ - перетворити його в масову витрату порошку. Таким чином, витрата порошкового присадного матеріалу визначається формулою:

$$Q = S \cdot V \cdot \rho \quad (2.3)$$

Для живильника із гладким барабаном і втулкою, розташованою над барабаном на відстані H (рис. 2.2, а) витрата порошкового матеріалу визначається формулою:

$$Q = H(d + H_{ctg} \varphi) \pi D n \rho \quad (2.4)$$

Для живильника із гладким барабаном і втулкою, взаємодіючою з ободом

барабана (рис. 2.2, б) витрата порошкового матеріалу визначається формулою:

$$Q = H(d + 0,5H \operatorname{ctg} \varphi) \pi D n \rho \quad (2.5)$$

Живильник, в якому втулка взаємодіє з конічною поверхнею барабана (рис. 2.2, в) витрата залежить крім зазначених вище параметрів, також і від кута нахилу твірної барабана. У цьому випадку площа поперечного перерізу усіченого конуса, утвореного порошком на барабані, визначається формулою:

$$S = 0,5 d^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + 0,5 d^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \quad (2.6)$$

Після перетворень у формулі (2.6) витрату порошку можна виразити формулою:

$$Q = 0,5 d^2 \sin^2 \alpha (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \pi D n \rho \quad (2.7)$$

де: α - кут нахилу твірної барабана; β - кут між твірної барабана й твірної усіченого конуса, що формується порошком на барабані ($\beta = \varphi - \alpha$).

Запропоновані формули (2.4), (2.5), (2.7) дозволяють здійснювати розрахунки витрати порошкового матеріалу.

Знаючи щільність порошку, кут його природнього укосу, а також кінематичні характеристики приводу барабана, можна, на прикладі формули (2.4), розрахувати конструктивні параметри порошкового живильника, задаючись розміром внутрішнього діаметра втулки:

$$D = \frac{Q}{H(d + H \operatorname{ctg} \varphi) \pi n \rho} \quad (2.8)$$

Аналогічне завдання можна розв'язати для порошкових живильників барабанного типу двох інших видів, видаткові характеристики яких виражаються формулами (2.5), (2.7).

2.3. Обґрунтування схеми копіювального обладнання і геометричних параметрів плазмотрона

Для керування рухом робочих органів машин-автоматів застосовують наступні обладнання: копії, слідкувальні приводи, числові програмні обладнання, самонастроювальні системи. Системи керування машинами-автоматами реалізують певні завчасно розроблені програми за допомогою різних

обладнань - механічних, електричних, гідравлічних, пневматичних, електронних і комбінованих, використовуючи при цьому керування по параметру переміщення робочих органів машин-автоматів або по параметру часу.

Кулачок розподільного вала в поперечному перерізі являє собою замкнену поверхню зі змінливої по контуру кривизною. Більша частина замкненої поверхні являє собою циліндр, вісь цього циліндра є одночасно віссю обертання для інших кулачків і циліндричних робочих поверхонь розподільного вала. Сполучення поверхні зношеного кулачка по поздовжній осі й кутовому розташуванню з еталонною поверхнею копіра створює умову для застосування механічного копіювального обладнання (рис. 23), в якому керування рухом плазмотрона здійснюється щупом [10].

У копіювальному обладнанні копір 1 співвісно з'єднаний через муфту 7 зі зношеним кулачком 2. Щуп 3, опираючись на поверхню копіра 1 через каретки 5, установлені на напрямній 6, передає, при одночасному обертанні копіра й кулачка, гойдальний рух плазмотрону 4. За рахунок погодженого обертання кулачка разом з копіром і гойдальним рухом щупа й плазмотрона, за умови рівності відстаней між віссю щупа й віссю напрямної з одного боку, і віссю плазмотрона й віссю напрямної, з іншого боку, створюється умова еквідистантного повторення плазмотроном профілю кулачка.

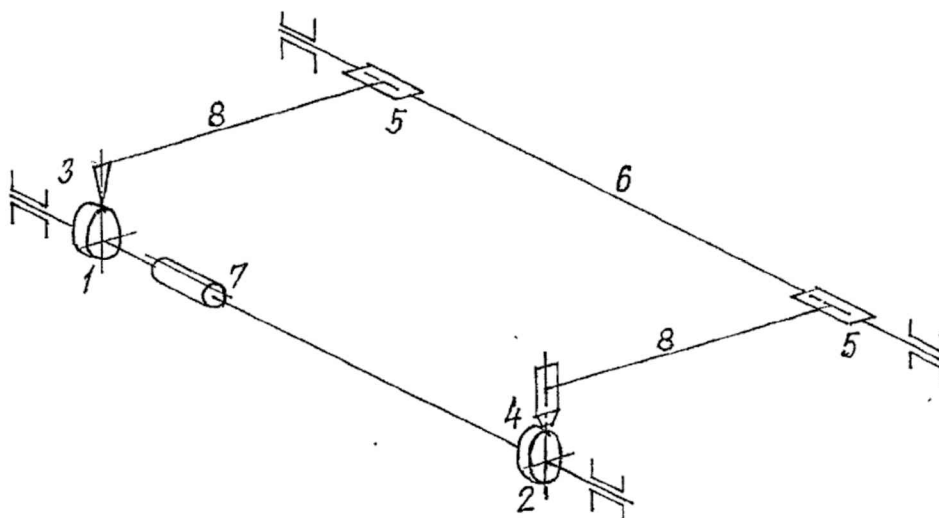


Рисунок 2.3 – Схема копіювального обладнання наплавочної установки 1

- копiр; 2 - зношений кулачок; 3 - щуп; 4 - плазмотрон; 5 - каретки; 6 - напрямна; 7 - муфта; 8 - штанга.

У загальному випадку при плазмовому наплавленні плазмотрон перебуває над наплавляємою поверхнею на певній відстані, що обумовлене його конструктивними особливостями й технологічними параметрами наплавочного процесу. Відомо, що ця відстань може змінюватися в межах 6-18 мм [11].

Виходячи зі сказаного вище, при копіюванні поверхні кулачка на запропонованому обладнанні, крапка перетинання поздовжньої осі плазмотрона з торцевою поверхнею захисного сопла плазмотрона повинна перебувати на відстані, що забезпечує ефективний газовий захист наплавляємої поверхні. Причому, у деяких положеннях плазмотрона наплавляема поверхня кулачка буде перебувати під кутом до поздовжньої осі плазмотрона (рис. 2.4)

Кут φ при наплавленні набіжної поверхні профілю кулачка визначається з вираження:

$$\varphi = \alpha + \beta + \gamma \quad (2.9)$$

Для сбіжної поверхні профілю кулачка кут φ визначається з вираження:

$$\varphi = \alpha + \beta - \gamma \quad (2.10)$$

Менше значення кута φ , що утворюється при копіюванні сбіжної поверхні кулачка (2.10), накладає обмеження на конструкцію нижньої частини анодного вузла плазмотрона, зокрема на діаметр d і кут конуса захисного сопла. Зовнішній діаметр захисного сопла плазмотрона можна визначити з малюнка 2.5, він повинен бути менше $2r$, де r розраховується по формулі:

$$r = H \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{h}{\sin \psi} \quad (2.11)$$

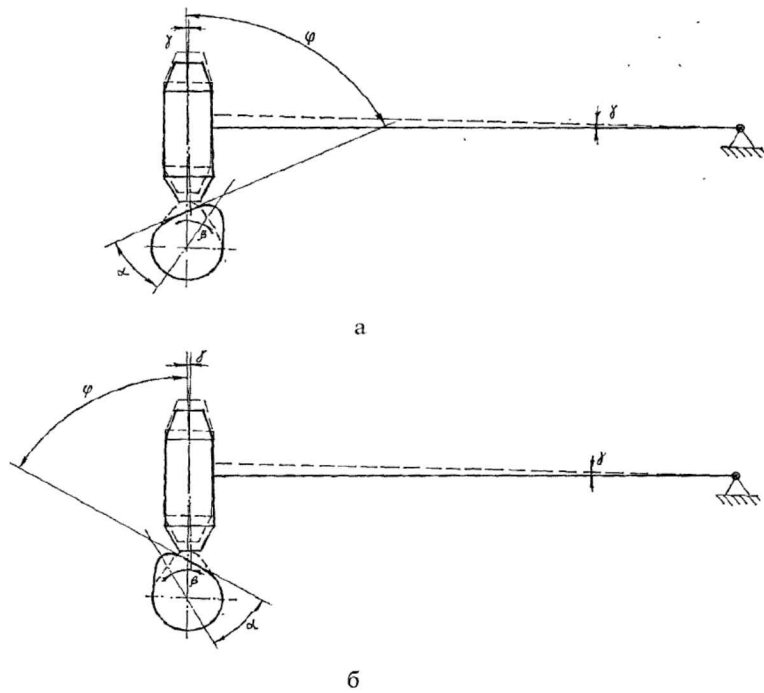


Рисунок 2.4 – Розташування плазмотрона при копіюванні набіжної - а, що й збігає - б поверхні кулачка, α - кут між дотичною до набіжної (що збігає) поверхні профілю кулачка й уявлюваною віссю його симетрії; β - кут повороту осі симетрії кулачка при напавленні:

γ - кут повороту штанги копіювального обладнання; φ - кут між віссю плазмотрона й дотичній до набіжної (що збігає) поверхні кулачка

Необхідність меншого значення, чим $2r$ для діаметра захисного сопла плазмотрона обумовлена вимогою гарантованої відсутності контакту захисного сопла плазмотрона з напавляємою поверхнею. Інакше відбудеться замикання електричного ланцюга, і у плазмотроні виникне несанкціонована «чергова» дуга, процес напавлення перерветься. Створення зазору між соплом і напавленою поверхнею в 2мм і більш, створює надійну умову для запобігання замикання електричному кола. На цій підставі максимальне значення діаметра d сопла плазмотрона дорівнює:

$$d = 2(r - 2) \quad (2.12)$$

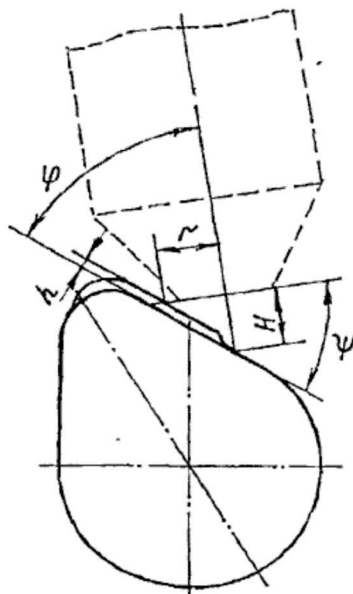


Рисунок 2.5 – Схема щодо розрахунків діаметра захисного сопла плазмотрона H - відстань від торця захисного сопла плазмотрона, при якому забезпечується ефективний газовий захист зони наплавлення; h - товщина наплавляемого шару; r - відстань між поздовжньою віссю плазмотрона до наплавленої поверхні в площині захисного сопла; $\Psi = (90^\circ - \varphi)$

Кут нахилу твірної конуса захисного сопла плазмотрона, як видно з рисунка 2.5, може бути рівний або менше кута φ , утвореного поздовжньою віссю плазмотрона й дотичній до збіжної поверхні кулачка в крапці їх перетинання.

Позначені вище обмеження на геометричні параметри захисного сопла необхідно враховувати при виборі плазмотрона або при його конструюванні. Важливою умовою при цьому залишається забезпечення плазмотроном якісного газового захисту зони наплавлення.

Обґрунтований вибір порошкового наплавочного матеріалу, що містить поряд з Ni і Fe - Cr, B, Al зносостійкі покриття, що забезпечують одержання твердих.

Наведені аналітичні залежності витрати порошкового присадного матеріалу від геометричних параметрів живильника, аналітичні залежності, за якими можливе конструювання живильників з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Наведена схема копіювального обладнання й аналітичний зв'язок його геометричних параметрів з геометричними параметрами захисного сопла плазмотрона й геометрією профілю кулачка розподільного вала.

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Загальна методика досліджень

Для розробки встаткування стосовно до наплавлення кулачків розподільних валів проводили дослідження в напрямку створення порошкового живильника й копіювального обладнання параметрів, що забезпечують стабільність і механізацію процесу наплавлення.

Таблиця 3.1 Технічні вимоги до основних робочих поверхонь розподільних валів двигунів ЯМЗ-238НБ

Найменування робочої Поверхні	Розміри, мм		
	по кресленню	Припустимі в сполученні з деталлями	
		колишніми в експлуатації	Новими
1	2	3	4
Опорні шийки	$54^{+0,065}_{-0,105}$	54,86	53,83
	1-ремонтний розмір		
	$53,7^{+0,065}_{-0,105}$	53,56	53,53
	2-ой ремонтний розмір		
	$53,5^{+0,065}_{-0,105}$	53,36	53,33
	3-й ремонтний розмір		
	$53,3^{+0,065}_{-0,105}$	53,16	53,13
	Овальність не більш		
	0,015	0,03	0,03
Кулачки по висоті	$42,2 \pm 0,05$	41,5	41,5
Шпонковий паз	$6^{+0,065}_{-0,105}$	6,02	6,02
Шийка вала під шестірню	$36^{+0,065}_{-0,105}$	36,3	36,3
Биття середніх опорних шийок щодо крайніх (не більш)	0,025	0,05	0,05

У якості об'єкта дослідження обраний розподільний вал двигуна ЯМЗ-238НБ. Цей вибір обумовлений широким застосуванням двигуна в різній сільськогосподарській техніці. Крім цього, він має найбільшу довжину серед валів з п'ятьма опорними шийками, що дозволяє точніше оцінити деформації. Матеріал вала - сталь 45. Довжина вала $897,5 \pm 0,5$ мм. Кількість кулачків - 16,

профіль впускних і випускних кулачків ідентичний, відхилення осей симетрії кулачків щодо осі шпонкового паза під розподільну шестірню не більш ± 30 . Твердість робочих поверхонь кулачків і шийок не менш HRCє 54. Штовхачі, що працюють із кулачком, оснащені роликами діаметром $23,0 \pm 0,025$ мм. Технічні вимоги до інших поверхонь валів представлені в табл. 3.1 [12].

3.2. Дослідження зношування розподільних валів

Розподільні вали, що надходять на відновлення, можуть мати до семи дефектів з різною їхньою комбінацією. Залежно від зношування, а також від кількості дефектів вибирається спосіб і маршрут відновлення [13]. Для виявлення ступеня зношування й найбільш характерної комбінації дефектів проводили мікрометраж 93 валів. Обсяг вибірки визначали по формулі:

$$N = 53,8 \cdot n^{0,5}$$

де N - репрезентативність вибірки; n - кількість дефектів, що найчастіше зустрічаються ($n = 3$: зношування кулачків, вигин вала, зношування опорних шийок).

Гладкі циліндричні поверхні вимірювали мікрометрами МК 50-2, МК 75-2, розмір шпонкового паза контролювали заходами довжини - набір № 1 класу 2 і набором щупів № 1. Зношування профілю визначали на вершині і на набіжній частині кулачка за допомогою глибиноміра мікрометричного з гострим вимірювальним стрижнем із твердого сплаву. Ціна розподілу глибиноміра - 0,01 мм. При вимірі зношування основу глибиноміра встановлювали на не зношені, попередньо зачищені від задирів, краю кулачка, а вимірювальний стрижень опускали на зношену ділянку профілю. Відхилення від номінального розміру висоти кулачка визначали, як різницю його номінальної висоти, дійсного розміру й значення зношування, визначеного глибиноміром. Зношування різьблення оцінювали різьбовими калібрами.

Скручування розподільних валів: контролювали за допомогою обладнання, (рис. 3.1.) яке включає перевірочну плиту 1, центри 2,3, стійку 4 СУ - IV, індикатори 5,6 вартового типу ИЧ 10 клас 1. У центри 2 і 3 встановлювали

розподільний вал 7 із градуйованим диском 8. Ціна розподілу диска 15', його нульову риску сполучали з віссю шпонкового паза вала. Обладнання включає також щуп 9. За циліндричною частиною кулачка індикатор 5 установлювали у вертикальну площину щодо плити 1. Потім виставляли кулачок у вертикальне положення по найбільшій відхиленню стрілки індикатора. За градуйованим диском 8 за допомогою щупа визначали кутове положення кулачка. Отримані показання порівнювали з вимогами креслення на розподільний вал. Аналогічним образом визначали положення інших кулачків.

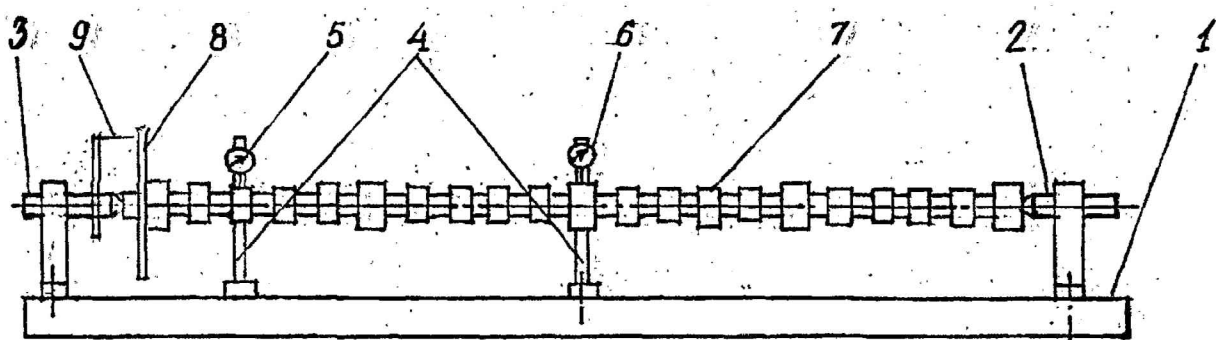


Рисунок 3.1 – Обладнання для контролю скручування і прогину вала

1 - контрольна плита; 2,3 - центри; 4 - стійка; 5,6 - індикатори;

7 - розподільний вал; 8 - градуйований диск; 9 - щуп.

Прогин розподільних валів визначали на цьому ж обладнанні по опорним шийкам індикатором годинного типу 6. Результати вимірів заносили в карту мікрометражу.

Характерні дефекти визначали за значенням коефіцієнта повторності дефекту K_d по формулі:

$$K_d = \frac{N_d}{N}$$

де: K_d - кількість деталей з однойменним дефектом.

Кількість валів, що вимагають відновлення кулачків наплавленням, визначали по кулачках, що мають розмір менш 41,5мм. До них відносили також вали з кулачками, що мають на профілі дефектний шар, при знятті якого шляхом шліфування розмір кулачка був би менше припустимого.

3.3 Методика визначення насипної щільності й кута природнього укосу наплавочних порошків

У науково-технічній літературі відсутня інформація про властивості сучасних наплавочних порошків. Із цієї причини здійснений експеримент по визначенню насипної щільності і кута природнього укосу використовуваних у цій роботі порошків. Експеримент проводили за такою методикою. Порошок просівали на ситах, сушили протягом 2 годин у печі при температурі 150°C, потім витримували на повітрі до мимовільного охолодження до кімнатної температури. Порошок засипали в бункер з кутом конуса в нижній частині 60° і патрубком довжиною 2 мм, діаметром 4 мм. Висипаючи з бункера, порошок створював на горизонтальній площині конус. Кут нахилу твірної конуса вимірювали кутоміром типу УН із ціною розподілу 2'.

Насипну щільність вимірювали шляхом зважування порошку, засипаного з бункера в мірну місткість. Надлишки порошку зчищали ребром лінійки, проведеної по краю мірної місткості. Порошок зважували на лабораторних вагах з точністю до 0,01 г.

3.4 Вимір твердості й мікротвердості

Вимір твердості проводили двома методами: по методу Роквелла на приладі ТК-2; по методу Віккерса на приладі ТП.

З метою забезпечення єдності вимірів твердість матеріалів, обмірюваних по методу Роквелла, переводили в єдину шкалу твердості Се.

Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 вдавленням чотиригранної піраміди із квадратною підставою під дією сили $P = 0,981 \text{ Н}$ з витримкою 10 с. З урахуванням анізотропії, що відображає відмінність енергій міжатомарного зв'язку за різними кристалографічними площами і напрямками, число твердості знаходили по таблиці, обчислюючи середньо-геометричну діагональ ромбічного відбитка $d_{\text{геом}} = \sqrt{d_{\text{min}} \cdot d_{\text{max}}}$ [43]. Коефіцієнт анізотропії першого роду визначали, як квадрат відношення діагоналей відбитка, тобто $K_1 = (d_{\text{max}}/d_{\text{min}})^2$.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Аналіз зношування розподільних валів

Основними дефектами розподільних валів двигунів ЯМЗ-238НБ є: зношування кулачків, опорних шийок, а також прогин. Імовірність інших дефектів не перевищує 0,08 (рис. 4.1)

При аналізі технічного стану кулачків виявлено, що вони по профілю зношуються нерівномірно. Переважає втомне зношування частини, що набігає, вершини кулачка. На циліндричній частині слідів зношування не виявлене. Зменшення розміру циліндричної частини кулачка відбувається внаслідок перешліфовки профілю. Емпірична крива розподілу відхилень розмірів висоти кулачків від номінального значення узгоджується із законом теоретичного розподілу Вейбулла (табл. 4.1). По інтегральній кривій розподілу відхилень розмірів кулачків (рис. 4.2.) був проведений статистичний аналіз їх стану. Встановлено, що 5% кулачків, із числа досліджених, мають розмір менше припустимого, причому 3% кулачків можуть бути відновлені шляхом нанесення металу на весь профіль, а 2% вимагають відновлення вершини. Частина кулачків - 5,8% має місцеве зношування вершини, яке може бути усунуте перешліфовкою в еквідистантний профіль [13].

Таблиця 4.1 Характеристики розсіювання й параметри теоретичного розподілу відхилень розмірів висоти кулачків від номінального значення

Характеристики розсіювання й параметри розподілу	Значення характеристик і параметрів
Середнє значення відхилень розмірів, X , мм	0,11
Середнє квадратичне відхилення, $S(x)$, мм	0,12
Коефіцієнт варіації, v	1,09
Параметр масштабу, a	0,10
Параметр форми, b	0,90

Аналіз зношування розподільних валів ЯМЗ-23 8НБ показав, що 52% валів мають кулачки з дефектом, що вимагають ремонту: у 32% валів необхідно ремонтувати кулачки, відновлюючи їх вихідний профіль. Кількість зношених і

потребуючих відновлення кулачків на одному валу коливається від одного до шести. В 70% підлягаючих відновленню валів зношений один - два кулачки.

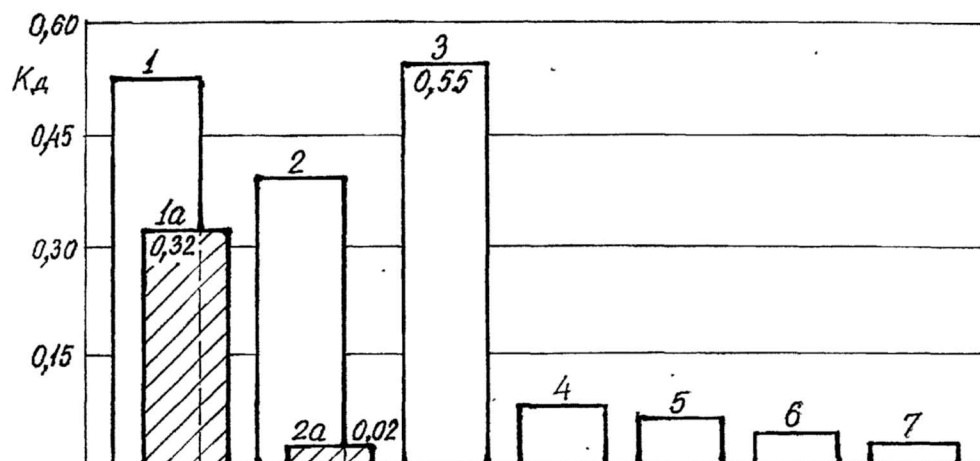


Рисунок 4.1 – Імовірність дефектів розподільних валів двигунів ЯМЗ-238НБ 1 - вали, що вимагають ремонту кулачків; 1а - вали, що вимагають відновлення кулачків нанесенням шару металу; 2 - вали, що вимагають ремонту опорних шийок; 2а - вали, що вимагають відновлення опорних шийок нанесенням шару металу; 3 - прогин валів; 4 - зношування посадкових місць під розподільну шестірню; 5 - зношування різьбових ділянок; 6 - зношування шпонкових пазів; 7 - забоїни на робочих поверхнях.

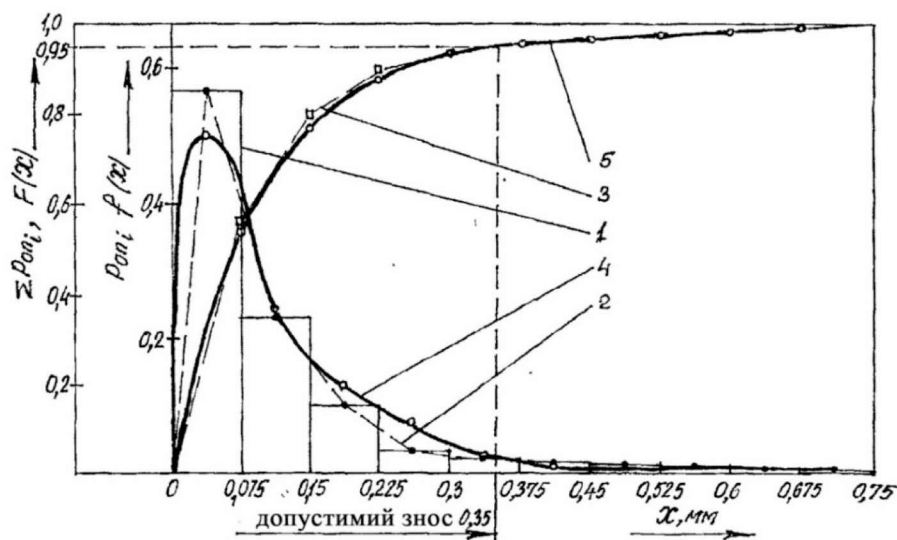


Рисунок 4.2 – Розподіл відхилень розмірів висоти кулачків від номінального значення для розподільних валів двигунів ЯМЗ-23 81НБ 1 - гістограма; 2, 3- полігон накопичених частот; 4 - диференціальна крива; 5 - інтегральна крива.

4.2. Дослідження витратних характеристик порошкового живильника

Результати експериментів по визначенню насипної щільності й кута природнього укосу наплавочних порошків представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Властивості порошкових присадних матеріалів, використовуваних для плазмового наплавлення кулачків розподільних валів

Марка порошку	Вид порошкових часток	Розмір фракції, мм	Насипна щільність, г/см ³	Кут природнього укосу, град.	Сипкість, г/с
ПР-Н77Х15С3Р2	сферичний	0,2...0,35	4,41	28...31	6,12
ПР-Н7ОХ17С4Р4	"-	0,2...0,35	4,37	28...31	6,32
ПГ-ФБХ6-2	"-	0,25...0,5	4,11	28...31	5,43
ПР-Н77Х15С3Р2+ 2...5% Al	"-	0,2...0,35	4,10	27...30	5,66
ПР-Н70Х17С4Р4+ 2...5% Al	"-	0,2...0,35	4,06	26...28	5,59
ПГ-ФБХ6-2+2...5% Al	"-	0,25...0,5	3,72	27...29	4,77

Із проведених попередніх досліджень виявлене, що витрата порошку при наплавленні повинна становити 0,48...0,72 кг/год. Така витрата може забезпечити живильник з конічним барабаном, оскільки він сприяє формуванню мінімального обсягу порошку на барабані.

Експерименти по визначенню витрати порошку проводили на живильнику із гладким барабаном, шорсткість його поверхні. $R_z = 40$ мкм. Діаметр барабана в місці перетинання його поверхні з поздовжньою віссю втулки становив 32 мм. З метою визначення оптимальних умов для обертання втулки, а також її розмірів, змінювали внутрішній діаметр втулки в межах 3...5 мм, а також кут нахилу

твірної конічного барабана в межах 2...4 градусів. Витрату порошку змінювали варіюванням частоти обертання барабана.

Результати експериментів, а також розрахункові значення витрати порошку виконані по формулі (2.7.), представлено на рисунках 4.3, 4.4.

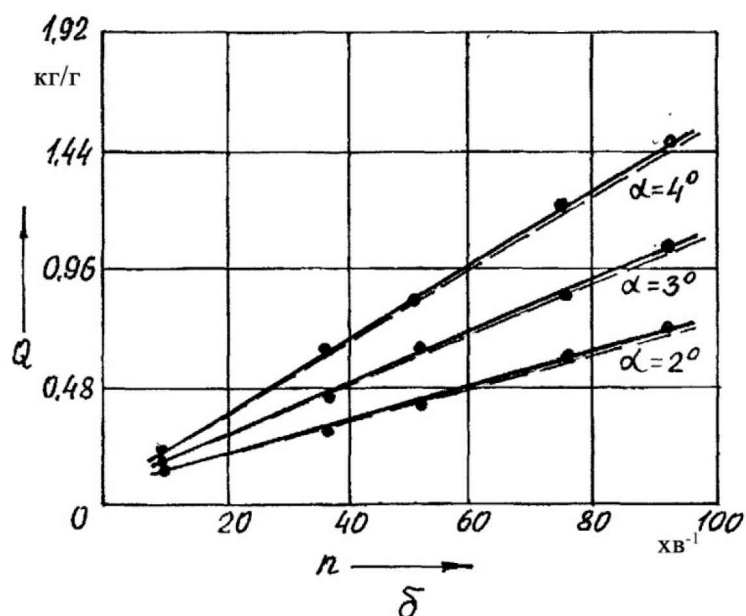
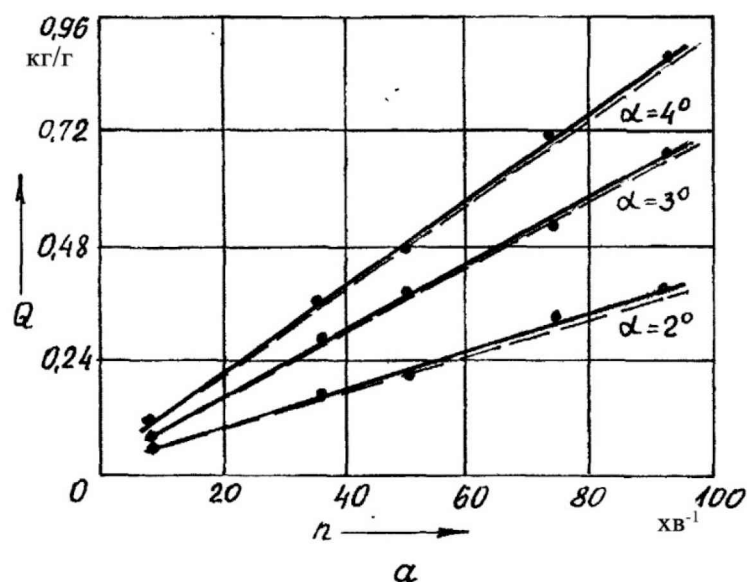


Рисунок 4.3 – Графік залежності витрати порошку ПР-Н77Х15СЗР2 від частоти обертання барабана: а - $d = 3$ мм; б - $d = 4$ мм;

———— розрахункова залежність;
 - - - - - експериментальна залежність.

Середня відносна погрішність експериментальних і розрахункових даних не перевищує 10 %. Це дозволяє стверджувати, що виведені аналітичні залежності адекватно описують процес дозування порошку й дозволяють використовувати розрахункові формули з достатньою для практичних цілей точністю для рішення прямого і зворотного завдання.

Основними причинами погрішності є: мінливість зазор, внаслідок влучення під втулку порошкових часток; вібрація живильника, що поліпшує сипкість порошку й сприяє зниженню природнього укосу. Формула не враховує також впливи твердості пружини, що підтискає втулку до барабана.

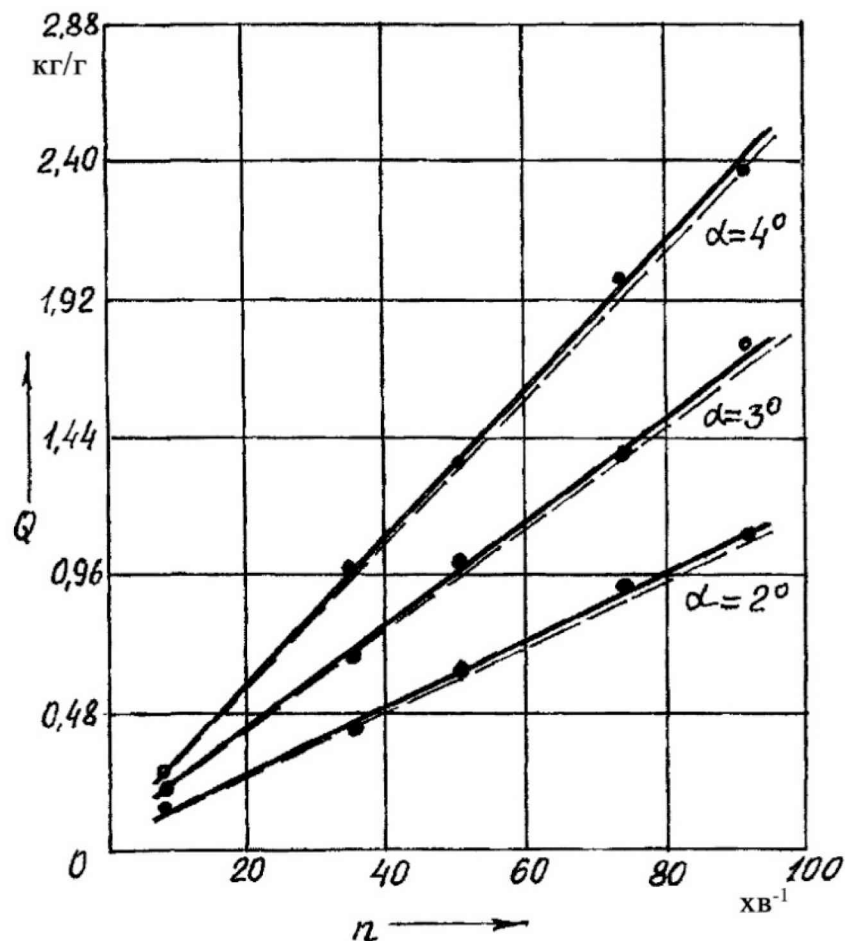


Рисунок 4.4 – Графік залежності витрати порошку ПР-Н73Х16СЗРЗ від частоти обертання барабана для втулки із внутрішнім діаметром $d = 5$ мм:

- розрахункова залежність;
- експериментальна залежність.

Найбільшою мірою необхідній витраті порошку при наплавленні кулачків

розподільних валів задовольняє живильник з наступними параметрами:

- внутрішній діаметр втулки - 5 мм;
- кут нахилу твірної барабана - 2° .

Слід зазначити, що такий живильник забезпечує високу точність і стабільність дозованої подачі порошку.

4.3 Дослідження структури, твердості й складу наплавленого металу.

Структура, твердість і склад металів, наплавлених самофлюсуючими порошковими сплавами

Порошки ПР-Н77Х15С3Р2, ПР-Н70Х17С4Р4 є представниками композиційних самофлюсуючих сплавів системи Ni - Cr- В -Si. Вони мають гарну рідкоплинність за рахунок присутності легкопної евтектики, і при наплавленні кулачків розподільних валів утворюють шари без пор і тріщин. Зміна співвідношення основних елементів у порошках викликає зміну твердості наплавленого металу. Твердість металу на першій вершині кулачка, наплавленого порошком ПР-Н77Х15С3Р2 31...33 HRCe й 49...51 HRCe при наплавленні порошком ПР-Н70Х17С4Р4. Добавка 2...5% алюмінієвого порошку в сплав підвищує твердість металу на 3...6 одиниць. У цьому випадку у сплавів знижується рідкоплинність, і наплавлений метал не містить дефектів структури у вигляді пор, тріщин. Глибина проплавки основного металу на вершині набіжної частини кулачка коливається в межах 0,3...0,4 мм, що забезпечує розплавлення дефектного шару металу, який утворюється на кулачку в процесі експлуатації.

Мікротвердість наплавленого металу по товщині шару нерівномірна (рис. 4.5, 4.6), що свідчить про відмінність у швидкостях протікання кристалізаційних процесів. Метал, наплавлений порошком ПР-Н77Х15С3Р2, а також його сумішшю з алюмінієм анізотропен, коефіцієнт анізотропії першого роду становить відповідно 1,042 і 1,092. При наплавленні порошком ПР-Н70Х17С4Р4 значення коефіцієнта анізотропії зростає до 1,31 і із введенням до складу порошку алюмінію знижується до 1,25.

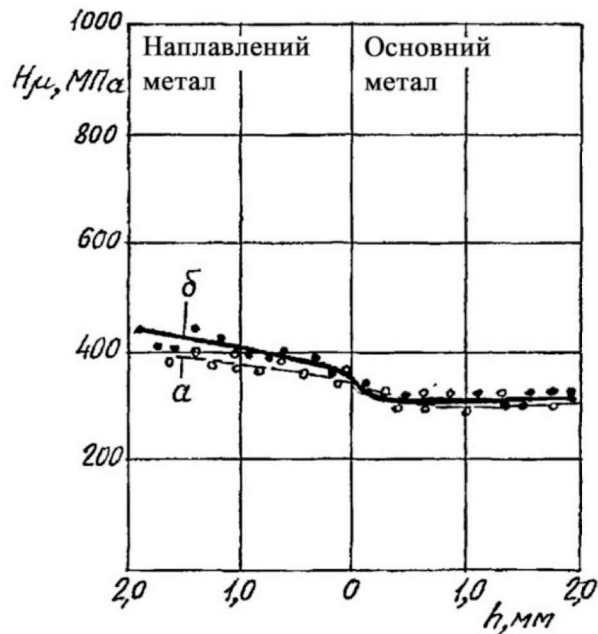


Рисунок 4.5 – Зміна мікротвердості по глибині наплавленого металу при наплавленні порошком: а - ПР-Н77Х15С3Р2; б - ПртН77Х15С3Р2 +2...5 % А1.

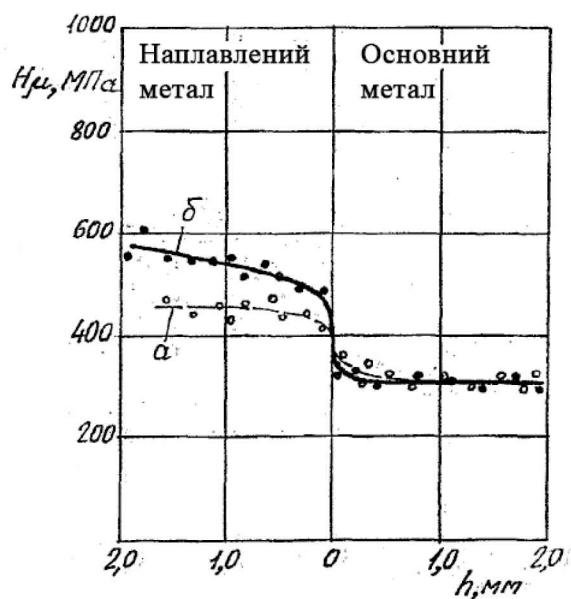
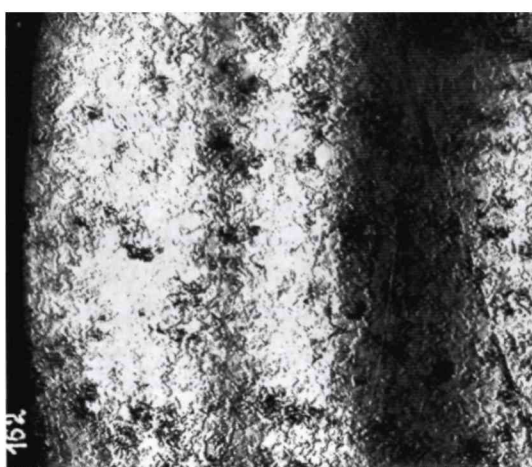


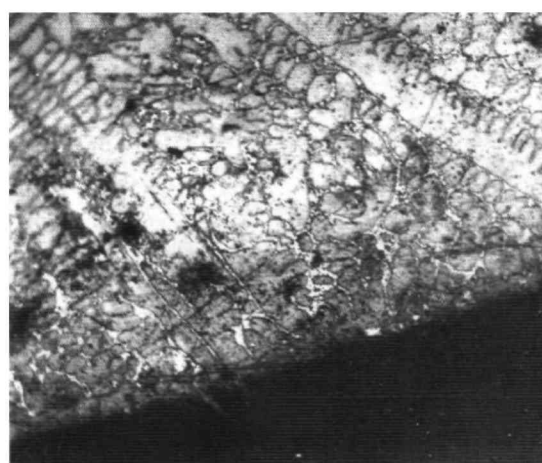
Рисунок 4.6 – Зміна мікротвердості по глибині наплавленого металу при наплавленні порошком: а - ПР-Н70ХГ7С4Р4; б - ИР-Н70Х17С4Р4 +2...5 % А1.

Структура металу, наплавленого порошком ПР-Н77Х15С3Р2 складається з матриці мікротвердістю 3040...3400 МПа й твердих включень мікротвердістю 11800...13200 МПа (рис. 4.7). Об'ємний зміст твердої фази становить 20%. Метал, наплавлений порошком ПР-Н70Х17С4Р4, дає аналогічну структуру (рис. 4.8). Мікротвердість матриці становить 3670...4130 МПа, включень - 12180...13820 МПа. Відмінність структури від попередньої полягає в змісті твердої фази, що

зростає до 27% обсягу. Структура металу, наплавленого цими порошковими сплавами в суміші з алюмінієм відрізняється підвищенням змісту твердої фази, що становить 45% обсягу для композиції ПР-Н77Х15С3Р2 + 2...5 % А1 (рис. 4.7) і 55% обсягу для композиції ПР-Н70Х17С4Р4 + 2...5 % А1 (рис. 4.8). Наявність алюмінію викликає підвищення мікротвердості матриці до 3800...4200 МПа для порошку ПР-Н77Х15С3Р2 і 5050...5500 МПа для порошку ПР-Н70Х17С4Р4. Мікротвердість твердої фази практично не змінюється, а її розподіл у наплавленому металі більш рівномірний, ніж при наплавленні порошків без алюмінію.



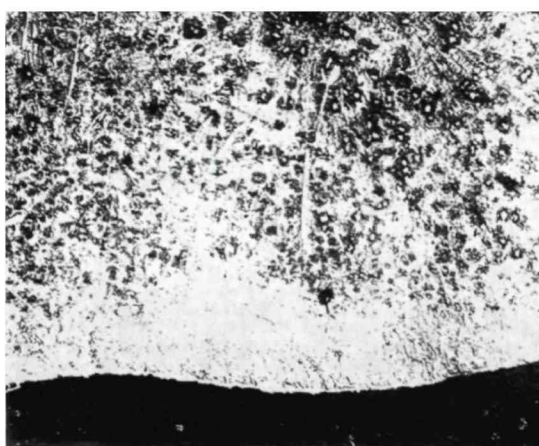
а



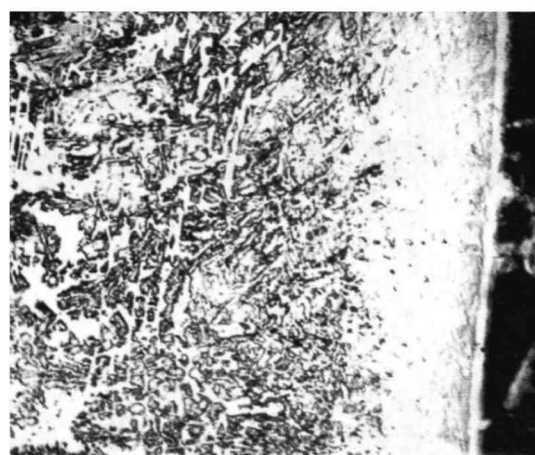
б

Рисунок 4.7 – Мікроструктура металу наплавленого порошком:

а-ПР-Н77Х15С3Р2 $\times 340$; б - ПР-Н77Х15С3Р2 + 2...5 % А1 $\times 340$



а



б

Рисунок 4.8 – Мікроструктура металу наплавленого порошком:

а - ПР-Н70Х17С4Р4 $\times 120$; б - ПР-Н70Х17С4Р4 + 2...5 % А1 $\times 340$.

Структура, твердість і склад металу, наплавленого порошком на основі заліза

Порошок ПГ-ФБХ6-2 відноситься до групи високолегованих чавунів і містить у своєму складі 32...37% хрому. При наплавленні кулачків розподільних валів утворює метал без пор і тріщин при товщині шару до 1,4 мм. Конгломерат цього порошку з 2...5% алюмінію дозволяє збільшити товщину наплавленого шару до 1,8 мм зі збереженням колишньої якості поверхні. Твердість вершин кулачків становить 59...62 HRC при наплавленні порошком ПГ-ФБХ6-2 і 61...64 HRC при наплавленні його сумішшю з алюмінієм. Глибина проплавки на вершині набіжної частини кулачка становить 0,4...0,5 мм.

Мікротвердість наплавлених металів по товщині шару, як і при наплавленні самофлюсуючих сплавів, нерівномірна (рис. 4.9), що відображає протікання аналогічних процесів. Метал, наплавлений порошком ПГ-ФБХ6-2, а також його сумішшю з алюмінієм анізотропен, коефіцієнт анізотропії першого роду становить відповідно 1,099 і 1,059.

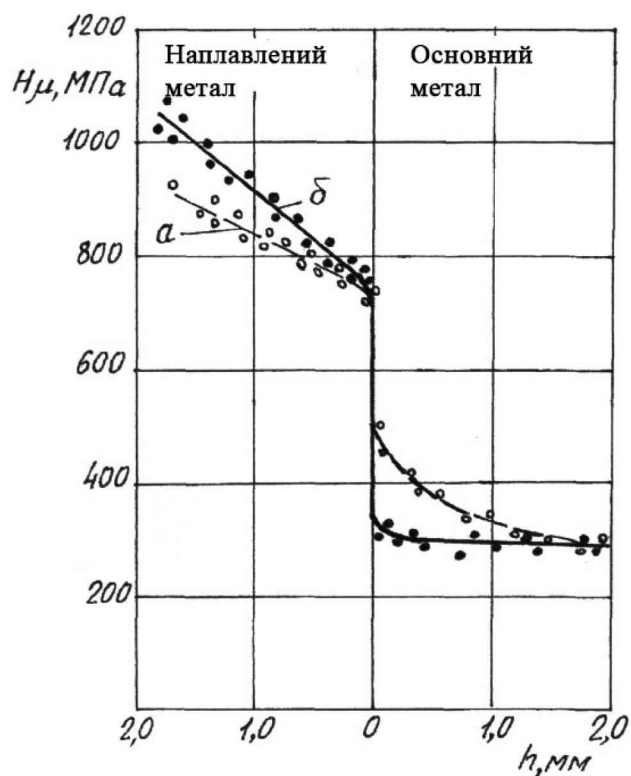
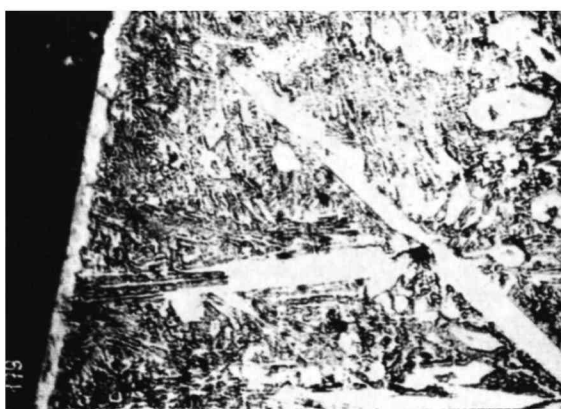


Рисунок 4.9 – Зміна мікротвердості по глибині наплавленого металу при наплавленні порошком: а-ПГ-ФБХ6-2; б - ПГ-ФБХ6-2 + 2...5 % АІ.

Комплексні дослідження мікроструктури показали, що наплавлений метал має структуру заевтектичного чавуну (рис. 4.10), матриця якого являє собою твердий розчин γ - Fe, а включення у вигляді голок і шестигранників є з'єднаннями Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , Cr_2B , в структурі є також з'єднання FeB. Мікротвердість включень перебуває в межах 10100...11900 МПа. Твердість матриці становить 6400...7000 МПа й збільшується до 6500...7100 МПа із введенням у вихідний порошок алюмінію. Алюміній сприяє також збільшенню об'ємної частки карбідів і боридів хрому в наплавленому металі з 35% для вихідного порошку до 55%.



а



б

Рисунок 4.10 – Мікроструктура металу наплавленого порошком:

а - ПГ-ФБХ6-2 х 340; б - ПГ-ФБХ6-2 + 2...5 % Al $\times$ 120.

Основними дефектами розподільних валів двигунів ЯМЗ-238НБ є: зношування кулачків, опорних шийок, а також прогин. Імовірність інших дефектів не перевищує 0,08. Відновлення вихідного профілю кулачків нанесенням шару металу вимагає не менш 32% розподільних валів, з них 70% можуть бути відновлено шляхом наплавлення 1-2 кулачків.

Для наплавлення кулачків, що працюють в умовах тертя ковзання, рекомендується використовувати порошок ПР-Н70Х17С4Р4 з 2...5% Al, а працюючих з роликовими штовхачами – порошок ПГ-ФБХ6-2 у суміші з 2...5% Al.

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВІДНОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ПЛАЗМОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

Проведені дослідження з відновлення розподільних валів двигунів внутрішнього згоряння дозволяють розробити типовий технологічний процес, який складається з наступних операцій: очищення; дефектації валів; наплавлення; виправлення; шліфування.

Наплавленню не підлягають вали, що мають тріщини на неробочих поверхнях і глибокі (понад 1,5 мм) тріщини на робочих поверхнях, а також вали, що мають порушення кутового розташування кулачків. Розподільні вали, що надходять до наплавлення, повинні мати знежирені робочі поверхні; що досягається при мийці мийним засобом МС-8, або миючими розчинами «Лабомід-102», «Лабомід-203» при температурі 80°C протягом 10...15 хвилин. По закінченню мийки роблять ополіскування валів у гарячій воді.

Наплавочна операція починається зі встановлення розподільного вала в наплавочній установці. Для цього вал з'єднують із установленим у патроні копіром і підводять до вільного торця вала підпружинений обертовий центр. З'єднують профіль копіра із профілем наплавляемого кулачка, підводять до нього плазмотрон (рис. 5.1). Процес наплавлення починають із вершини кулачка, включають пряму дугу, потім механізм коливань і порошковий живильник. Залежно від характеру зношування проводять наплавлення вершини кулачка, або всього профілю на режимах, зазначених у таблиці 5.1 [45]. Наплавочна установка вимикається у зворотній послідовності.

При необхідності відновлення опорних шийок розподільного вала, наплавлення роблять порошками ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-Н77Х15С5Р2 і їх сумішшю з алюмінієм. Наплавлення зношеної різьбової ділянки вала здійснюють порошком ПР-Н77Х15С3Р2. Співвідношення хромонікелевих порошків і алюмінію аналогічно сумішам, використовуваним для наплавлення кулачків.

Таблиця 5.1 Режими плазмового наплавлення кулачків розподільних валів

№ п/п	Параметри режимів наплавлення, розмірність	Марка наплавляемого вала				
		ЯМЗ- 238НБ, ЯМЗ- 240Б	Cat- 3116	СМД- 62	ЗМЗ-53	КАМА 3- 740
1	Марка наплавляемого порошку	ПГ-ФБХ6- 2+2...5% А1		ПР- Н70Х17С4Р4+2...5% А1		
2	Витрата порошку, кг/год:	0,72 0,6				
	при наплавленні вершини; при наплавленні циліндричної частини					
3	Струм наплавлення, А:		150-			85-95
	- на вершині кулачка; - на циліндричній частині	150 170	160 180	90-100 125-135	75-90 140-150	110- 120
4	Напруга дуги, В	25-27	25-28	21-23	21-25	21-24
5	Частота обертання вала, хв ⁻¹ :					0,35-
	- при наплавленні вершини; - на циліндричній частині	0,4-0,6 0,7-0,9	0,4-0,5 0,8-0,9	0,35-0,4 0,55-0,7	0,4-0,5 1,0-1,2	0,4 0,6- 0,75
6	Витрата газу, м ³ /год (аргону):	0,09...0,12 0,36...0,48				
	- плазмотворного; - захисного.					
7	Амплітуда коливань, мм	15	16-17	20/18	13-14	15
8	Частота коливань, з ⁻¹	0,5-0,67	0,5- 0,67	0,67	0,83	0,67
9	Відстань від плазмотрона до деталі, мм	8-10	8-10	6-8	8-10	8-10

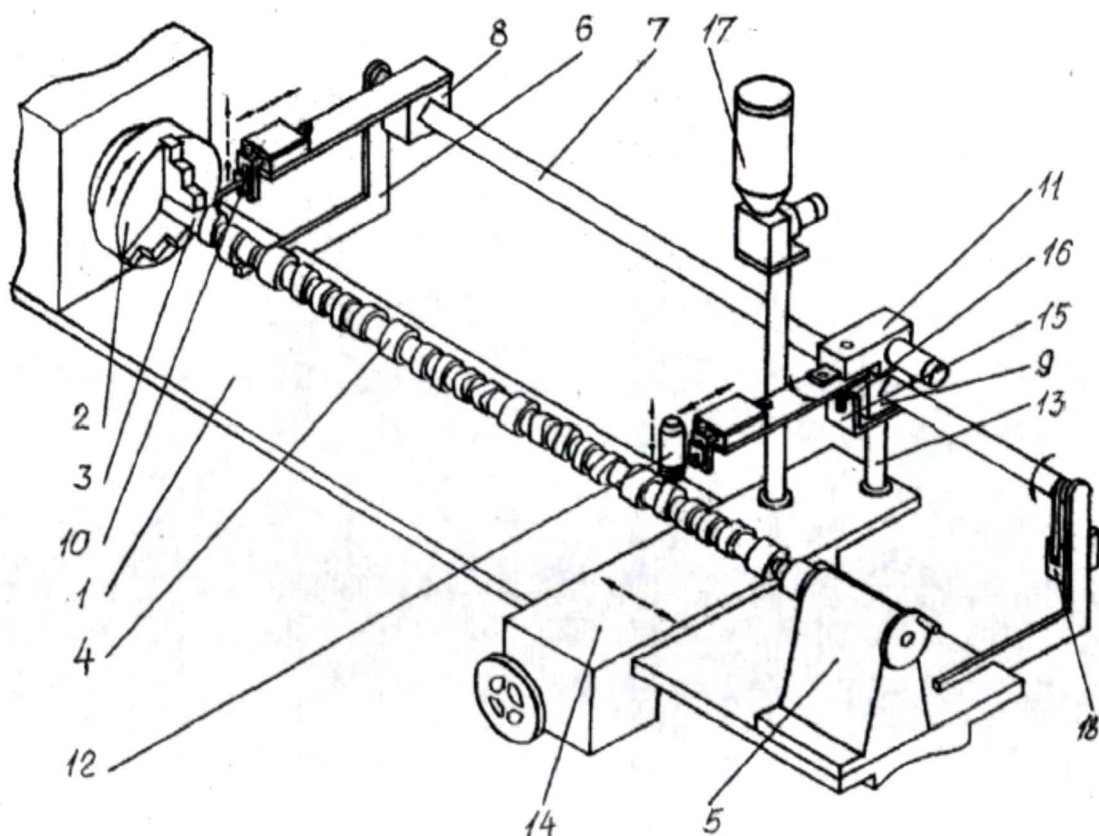


Рисунок 5.1 – Загальний вид копіювального обладнання 1 - станина; 2 - патрон; 3 - копір; 4 - розподільний вал; 5 – задня бабка; 6 - кронштейн; 7 - напрямна; 8 - опорна каретка; 9 – робоча каретка; 10 - опорний елемент; 11 - механізм коливань; 12 - плазмотрон; 13 - стійка; 14 - позовжній супорт; 15 - вилка; 16 - палець; 17 – порошковий живильник; 18 - командоапарат.

Наплавлення опорних шийок проводять на наступних режимах:

струм наплавлення, А – 140...150;

напруга дуги, В – 35...38;

швидкість наплавлення, мм/с – 18...20;

подовжня подача, мм/с – 0,625;

витрата порошку, кг/год – 0,6;

витрата газів, м³/год:

- плазмотворного – 0,09...0,12;

- захисного – 0,36...0,48;

відстань від захисного сопла плазмотрона до деталі, мм - 8...10.

Наплавлення різьбової ділянки вала роблять на швидкості 6...8 мм/с при струмі 110...120 А.

Якість наплавленого шару в значній мірі залежить від якості підготовки, порошкових присадних матеріалів. Розмір фракцій використовуваних порошків 100...400 мкм. Наплавочні порошкові суміші з алюмінієм готують після просівання основної фракції порошку. Зміст алюмінію при готуванні суміші повинен становити 2% маси основної фракції. Робиться це з урахуванням мимовільного збільшення змісту алюмінію в суміші за рахунок його сепарації при роботі живильника. Порошок просушують при температурі 150...200°C протягом 2 годин. Підготовка порошку завершується його просіванням на вібраційному ситі з метою відділення дрібної фракції (до 100 мкм).

Виправлення розподільних валів доцільно робити за допомогою напівавтоматичної установки 05.12.342. «Ремдеталь», її продуктивність - 120 валів у зміну.

Механічна обробка розподільних валів здійснюється на копіювально-шліфувальних верстатах моделі ХШ-03,3А433 з використанням кіл карбіду кремнію зеленого 63С, 64С зернистістю 16 - 25, середньої твердості С1. Обробка проводиться в режимі чорнового й чистового шліфування. Швидкість кола - 35 м/с, швидкість деталі при чорновому шліфуванні - 0,38 м/с, при чистовому - 0,76-м/с. Поперечна подача 0,01...0,04 мм/с при чорновому і 0,004...0,009 мм/с при чистовому шліфуванні.

Шліфування може проводитися також алмазними колами з алмазами АСКМ, АСК, АСВ зернистістю 200/160, 250/200 на металевих в'язках МО16, МО13, МВ-1. Шліфування здійснюється в чорновому й чистовому режимах. Швидкість кола 35 м/с, швидкість деталі - 0,42 м/с. Поперечна подача при чорновому шліфуванні - 0,13...0,25 мм/с, при чистовому - 0,17...0,5 мм/с.

ВИСНОВКИ

1. Основними дефектами розподільних валів двигунів являються: зношування кулачків, опорних шийок, а також прогин. Відновлення вихідного профілю кулачків нанесенням шару металу вимагає не менш 32% розподільних валів.

2. Обґрунтовано, що введення Al до складу порошкових наплавочних матеріалів, що містять Ni, Fe, Cr, B, що забезпечує підвищення твердості, металів на 30...90 одиниць по Віккерсу і підвищення зносостійкості покриттів за рахунок створення дрібнокристалічної структури в наплавленому металі.

3. Для наплавлення кулачків, що працюють із роликowymi штовхачами, рекомендується використовувати порошок ПГ-ФБХ6-2 у суміші з 2...5% Al, а працюючих в умовах тертя ковзання - порошок ПР-Н70Х17С4Р4 з 2...5% Al.

4. Розроблена технологія відновлення плазмовим наплавленням кулачків розподільних валів двигунів ЯМЗ-2Е8НБ, ЯМЗ-240Б, КАМАЗ-740, ЗМЗ-53, СМД-62.