

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра загальнотехнічних дисциплін

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

на тему: «Дослідження ступеня шаржування сталеві поверхні після
дробоструминного очищення»

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою

Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи _____
Бельмас Д.Ю.

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Горик О.В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Перед нанесенням захисних неметалевих покриттів металеві вироби очищають за допомогою дробеструменевого очищення, яке є найбільш ефективним і екологічно безпечним технологічним процесом підготовки металевої поверхні. В процесі очищення відбувається не тільки видалення окалини, а й формування на оброблюваній поверхні рівномірної шорсткості, що сприяє міцному зчепленню ґрунтового шару захисного покриття з металевою основою.

Актуальність теми. Технологічні параметри дробеструменевої обробки вивчені недостатньо, суперечливими є погляди на механізм руйнування, не досліджений вплив технологічних режимів на фізико-механічні властивості поверхневого шару оброблених виробів, не визначені оптимальні технологічні режими очищення різних металів, зокрема, маловуглецевих сталей, що широко застосовується для виготовлення суцільнозварних конструкцій сільськогосподарських апаратів та машин.

Одним з негативних наслідків і проблемою дробеструменевого очищення є шаржування оброблюваної поверхні осколками дробу, що призводить до виникнення на межі метал-покриття вогнищ електрохімічної корозії.

Вивчення явища шаржування оброблюваної поверхні осколками технічної дробу при дробеструменевому очищенні дослідники не приділяли належної уваги. І тільки в останні тридцять років почали з'являтися окремі публікації, що зачіпають проблему шаржування [1-3].

Мета роботи – вивчити ступінь шаржування оброблюваної сталеві поверхні уламками технічної дробу при дробеструменевому очищенні в залежності від технологічних режимів дробеструменевої обробки і дати кількісну оцінку ступеня шаржування оброблюваної поверхні.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні задачі:

1. Вивчення стану питання щодо ефективності використання дробеструменевого очищення.

2. Визначення за допомогою металографічних методів дослідження фізико-механічні властивості дробеструменевої поверхні;
3. Проведення експериментальних досліджень впливу технологічних режимів дробеструменевої обробки на ступінь шаржування оброблюваної поверхні.
4. Встановлення розрахункових залежностей для визначення кількості заглиблених осколків обробленої поверхні при дробеструменевій обробці.
5. Аналіз результатів розрахунку та експериментів.
6. Розробка практичних рекомендацій щодо реалізації результатів роботи.

Об'єкт дослідження – технологічний процес дробеструменевого очищення металевих зразків із маловуглецевої сталі.

Предмет дослідження – основні закономірності впливу технологічних режимів на ступінь шаржування обробленої поверхні.

Наукова новизна:

1. Встановлені технологічні режими дробеструменевого очищення, що забезпечують найменшу ступінь шаржування осколками сталевих колотого дробу оброблюваної поверхні сталевих виробів.
2. Досліджено вплив технологічних режимів на ступінь шаржування оброблюваної поверхні уламками дробу.

Теоретична та практична значущість:

1. Результати обґрунтування вибору технологічних режимів дробеструменевого очищення для забезпечення якісної підготовки металевих виробів під захисне неметалеве покриття.
2. Запропоноване технічне рішення на дробеструменевий модуль, який може бути використаний механічними майстернями при ремонті сільськогосподарської техніки.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз методів очищення металевої поверхні

У процесі експлуатації та виробництва деталі машин та механізми піддаються металургійним, механічним, хімічним, термічним і радіаційного впливам, що призводять до значних змін в поверхневому шарі. У результаті технологічних процесів волочіння, зварювання, ковальсько-пресової обробки, точіння, фрезерування, прокатки, шліфування та інших видів механічної обробки, а також в процесі експлуатації на поверхні утворюються різного роду неорганічні та органічні забруднення – окалина, іржа, окисні плівки, залишки мастильно-охолоджуючої рідини, масляні плями та ін.

Усе це справляє негативний вплив на механічні, трибологічні та інші експлуатаційні характеристики поверхні і поверхневого шару, погіршуючи механічні характеристики, зменшуючи стійкість проти корозії, знижуючи мало- та багатоциклову втому і інші характеристики деталей машин і механізмів, а також змінюючи широке коло їх фізико-хімічних властивостей – теплофізичних, оптичних, гідромеханічних [1].

У разі якщо на поверхню деталі повинні наноситися захисне покриття: гальванічне, лакофарбове, захисно-декоративне, газотермічне, незадовільний стан поверхні призводить до різкого зменшення адгезійної взаємодії нанесеного покриття із поверхнею та його відшарування в процесі експлуатації [2].

Вибір раціонального способу підготовки металевої поверхні дозволяє формувати покриття високої якості та стабільно отримувати високі значення адгезійної міцності покриття із основою. В зв'язку з цим виникає необхідність проведення аналізу існуючих способів очищення і оцінки їх ефективності.

Серед існуючих способів очищення металевої поверхні від окисних і механічних забруднень можна умовно розділити на окремі групи: фізичні; хімічні; механічні, а також комбіновані різновиди цих способів обробки [3-6], які наведені на рис. 1.4.

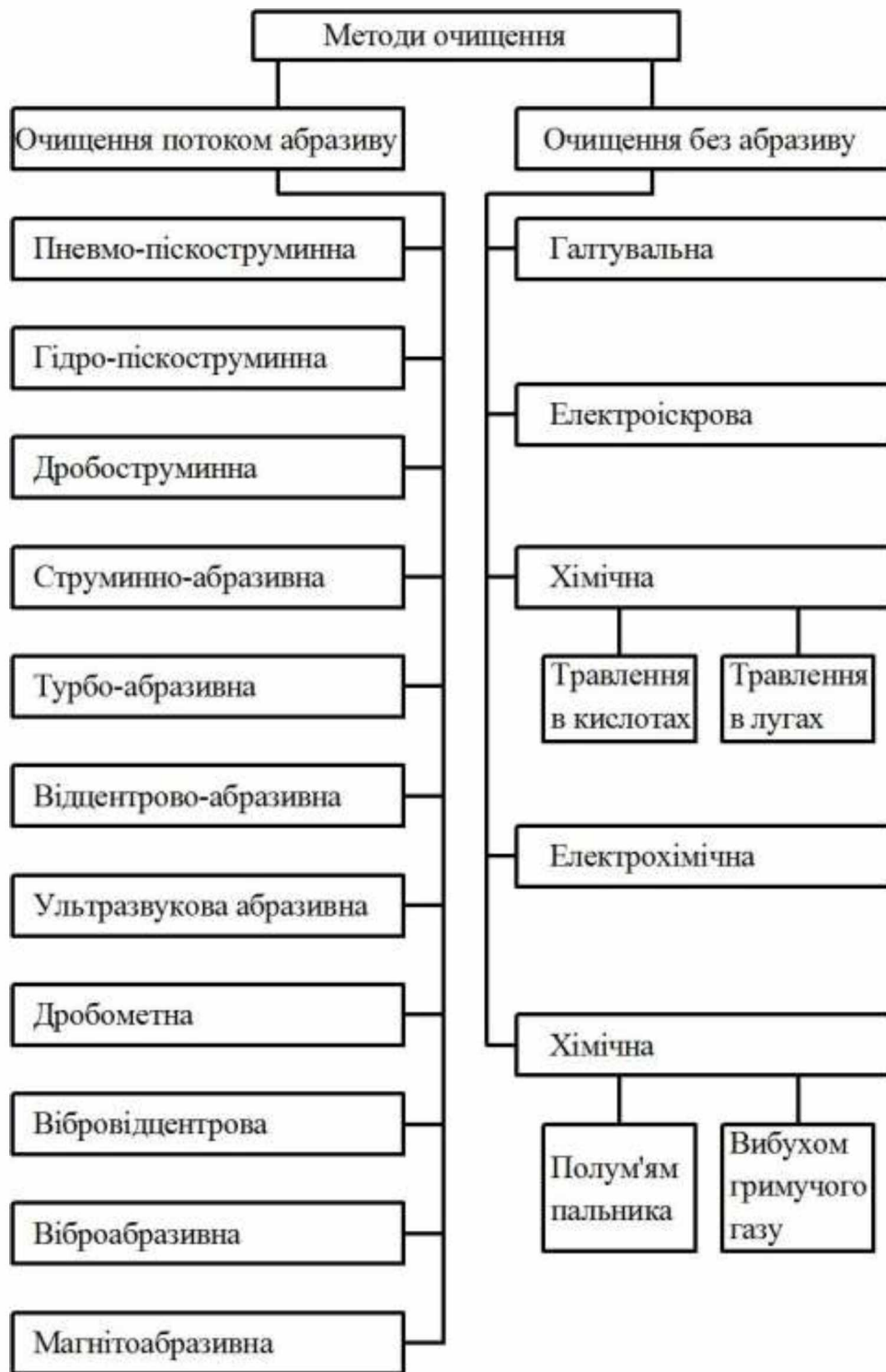


Рис. 1.1 – Класифікація методів очищення металевої поверхні [7]

Фізичні методи очищення засновані на використанні підвищеної температури, ультразвукових коливань, спрямованих вібрацій, електричного поля та високого тиску. Вони передбачають обробку в мало агресивних травильних розчинах. В цьому полягає їх основна перевага перед хімічними способами. Недолік фізичних способів полягає у тому, що вони вимагають спеціального

технологічного устаткування, вельми дорогі та складні в експлуатації. У більшості своїй фізичні способи пропонують наявність спеціального інструменту, тому вони більш складні у автоматизації та застосовуються, переважно, для очищення поверхні виробів з важкооброблюваних конструкційних матеріалів [8].

Хімічні методи передбачають знежирення в органічних розчинниках або лужних розчинах із наступним травленням у розчинах мінеральних кислот, промивку, нейтралізацію і сушку виробів. Для їх здійснення застосовують водні розчини лугів, кислот та органічних розчинників різного складу. Хімічні способи дозволяють повністю автоматизувати процес очищення металевих виробів [9], проте вони мають істотні недоліки. Необхідно працювати із вогнебезпечними, легко летучими, отруйними органічними рідинами та з агресивними розчинами лугів і кислот, що небезпечно та призводить до забруднення навколишнього середовища. Це вимагає додаткових заходів із техніки безпеки, очисних споруд для стічних вод, а також спеціальних конструкційних матеріалів для ванн травлення. Тому, як і в Україні, так і за кордоном, спостерігається стійка тенденція по заміні хімічних способів очищення більш екологічно прийнятними.

Хімічні і фізичні способи підготовки поверхні металевих виробів перед нанесенням захисних неметалічних покриттів дозволяють сумістити операції знежирення та очищення. Проте вони не можуть забезпечити рівномірну шорсткість очищеної металевої поверхні.

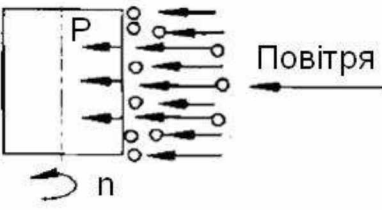
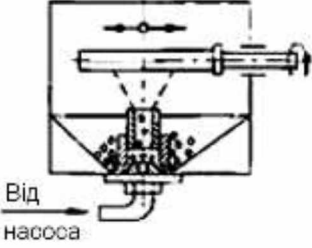
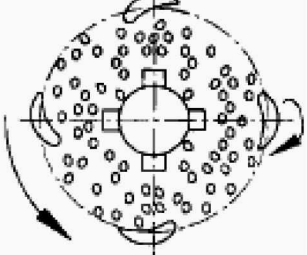
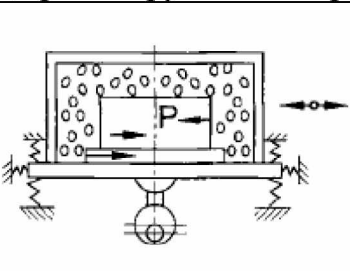
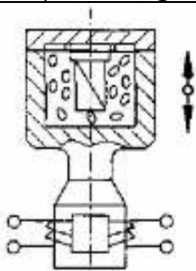
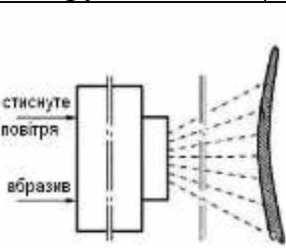
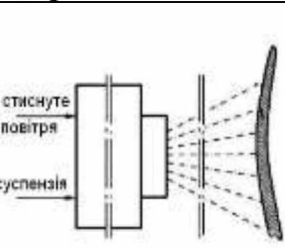
Відомі механічні способи очищення поверхні вимагають попереднього знежирення металевих виробів і полягає у знятті шару металу і різного роду окисних забруднень із оброблюваної поверхні механічним шляхом. До цих способів відносять: галтування, голко-фрезерування, крацювання, шліфування, дробеструминне очищення, дробеметання, вібро очищення, гідро абразивна обробка та багато інші [10].

Процеси, які використовують ефект удару абразивних частинок (дробинок) об оброблювану поверхню металевих виробів, здійснюються наступними методами: удар власне абразиву; удар абразивно-рідинним струменем; впливом на оброблювану поверхню абразивну, що знаходяться під підвищеним статичним

ТИСКОМ.

При порівнянні способів очищення поверхні (табл. 1.1) виявилось, що самі процеси дробеструминної (ДО), піскоструминної обробки (ПО) і гідроабразивної обробки (ГО) дуже схожі, відмінність полягає тільки в тому, що гідроабразивна - безперервної дії, а дробеструминна і піскоструминна обробки – періодичної дії. Частинки в повітряно-абразивному потоці переміщуються із різною щільністю та різною рівномірністю заповнення в об'ємі газу. В обох випадках робота із видалення металу проводиться за рахунок кінетичної енергії частинки. Абразивні частинки в процесі ударного взаємодії із оброблюваною поверхнею зношуються, їх робочі грані округляються, що призводить з часом до зниження загальної абразивної здатності [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Таблиця 1.1 – Технологічні схеми очищення вільним абразивом

		
Дробеструминна обробка	Гідродробеструминна	Дробеметна
		
Вібраційна обробка	Ультразвукова	Піскоструминна
		
		Гідроабразивна

Основні параметри різних видів обробки вільним абразивом згідно [13] наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні параметри методів очищення вільним абразивом

Методи очищення	Струменево-абразивний	Гідроабразивний	Ультразвуковий (УО)
-----------------	-----------------------	-----------------	---------------------

Параметри очищення	Абразив	Пісок, кварцовий пісок, дріб	Порошки електро-корунда і карбіду кремнія, кварцовий пісок	Карбід бору, карбід кремнія, електрокорунд
	Розмір абразиву	до 4 мм	до 3,5 мм	3...200 мкм
	Робоче середовище	Стиснуте повітря	Вода та стиснуте повітря	Повітря, вода та водні розчини
	Робочий тиск (частота для УО)	0,6 – 1,2 МПа	0,1...300 МПа	0,2 – 0,5 МПа (16 – 30 кГц)
	Швидкість потоку	до 400 м/с	50...100 м/с	-
	Кут атаки потоку	45...90°	25...40°	-
Технолог. показники	Шорсткість поверхні	0,56...90 мкм	0,16...1,25 мкм	0,14...0,25 мкм
	Зносостійкість абразивного інструменту	40 циклів	5 – 10 циклів	1 – 3 цикла
	Зносостійкість обладнання	20...1000 год	300...1000 год	високе
	Продуктивність обробки	до 37 м ² /год	до 15 м ² /год	до 5 м ² /год
Літературне джерело	[15, 16, 17, 18, 19, 20]	[22, 21, 23, 24, 25, 26, 27]	[28, 29, 30]	

Завдяки своїй простоті та універсальності механічні способи здобули найбільш широкого використання. До того ж вони дають можливість досить просто досягти рівномірної і необхідної шорсткості оброблюваної поверхні. Механічні способи очищення не призводять до забруднення навколишнього середовища. У цьому і полягає їх велика перевага перед фізичними та хімічними способами. Недоліком механічних методів є трудність операції очищення при обробці виробів складної конфігурації та необхідність попереднього проведення операції очищення.

Серед різних методів обробки деталей різної конфігурації, особливо складної конфігурації (штампів, прес-форм та ємнісних апаратів), струменево-абразивна, особливо дробеструминна, знаходить все більш широке використання у інструментальній, авіаційній і автомобільній, ремонтній галузях машинобудування; прокатному та ливарному виробництві і електротехнічній промисловості [31].

1.2 Можливості дробеструменевої обробки

У даний час все більш розширюється сфера застосування дробеструменевої обробки. Дробеструменева обробка дозволяє:

- готувати металеві поверхні під захисні неметалічні покриття;
- очищати і обробляти металеві поверхні;
- зміцнювати поверхневий шар металевих виробів [4].

При цьому використовується одне і теж дробеструменеве устаткування.

Підготовка металевої поверхні.

Підготовка металевої поверхні полягає в тому, що поверхня очищається від окисних і механічних забруднень (окисна плівка, іржа, окалина, масляні плями) і на ній створюється мікропрофіль, що забезпечує міцне зчеплення з ґрунтовим шаром захисного неметалевого покриття. Більшість виробників лакофарбних матеріалів вказують яким повинен бути мікропрофіль металевої поверхні.

Дробеструменева обробка використовується для очищення цегляної кладки і зовнішньої штукатурки. При цьому віддаляється стара фарба, цвіль, кіптява, фарбувальні речовини і навіть графіт та створюється ідеальна поверхня для нанесення нового захисного покриття.

За допомогою дробеструменевої обробки здійснюють очистку напружених залізобетонних панелей, монолітних бетонних стін, колон та інших конструкцій з бетону, щоб видалити залишковий цемент, сліди будівельної опалубки, вицвілі ділянки і оголити бетон.

Окрім обробки сталевих виробів і кам'яної кладки за допомогою дробеструменевої обробки можна знімати зовнішні фарби з дерев'яних будівель і виробів. За допомогою дробеструменевого очищення можна видалити верхній шар покриття гелю, щоб зробити видимими бульбашки повітря. Дробеструменеве очищення використовують для підготовки під захисне покриття виробів з алюмінію, титану, магнію і інших металів і сплавів.

Застосовуючи м'якші абразивні матеріали і спеціальне дробеструменеве устаткування низького тиску дробеструменеву обробку використовують для

сухого видалення покриттів з деталей з сучасних композиційних матеріалів, які знаходять застосування при створенні літаків, вертольотів, автомобілів, комбайнів. Така обробка виключає шкідливий вплив на робочих токсичних хімічних речовин і виключає витрати, пов'язані з утилізацією небезпечних відходів [5].

Перелік можливостей дробеструменевої обробки здається нескінченним, оскільки в промисловості регулярно винаходяться нові конструкційні матеріали для виготовлення деталей машин і виникає потреба в обробці нових поверхонь, тому дробеструменеву техніку доводиться безперервно удосконалювати.

Очищення поверхні.

Даний вид дробеструменевої обробки дещо відрізняється від розглянутого вище. Мета полягає в тому, щоб поліпшити зовнішній вигляд і корисність виробу. При цьому поверхню очищають від механічних забруднень і окалини, видаляють задирки, ліквідовують локальні пошкодження (тріщини, забоїни, вм'ятини, пори та ін.), що покращує зовнішній вигляд продукції. В якості абразивних матеріалів використовують не тільки сталевий та чавунний дріб, але і скляні, керамічні і полімерні кульки.

Дробеструменева обробка поверхні широко використовується в ливарному виробництві для поліпшення функціональних показників і естетичного виду відлитих деталей. При дробеструменевому очищенні виявляються мікротріщини та інші механічні пошкодження металевої поверхні. Дробеструменева обробка дозволяє усунути механічні пошкодження шляхом пластичної деформації поверхневого шару оброблюваної деталі, що має вельми важливе значення для підвищення надійності при ремонті і модернізації шасі літаків, перемішуючих пристроїв хімічних і біологічних реакторів, сільськогосподарської техніки та ін.

Вельми істотне значення грає дробеструменеве очищення для обробки формуючих поверхонь прес-форм, що дозволяє отримати деталі з гуми і пластмас з гладкою однорідною поверхнею. Високі температури при пресуванні неметалічних виробів і гартуванні металевих деталей приводять, часто, до знебарвлення поверхні оброблюваних виробів. Дробеструменева обробка

дозволяє видалити вицвілі ділянки і окалину із виробів, які піддалися дії високих температур.

При високій температурі утворюється нагар і відкладення відпрацьованого масла на автомобільних і тракторних деталях. Електродвигуни часто засмічуються перегрітими ізоляційними матеріалами і розплавленими шарами статора. В більшості випадків збереження початкових розмірів таких деталей є критичним. Дробеструменева обробка за допомогою пластикових абразивних матеріалів, скляних кульок або частинок натуральних абразивних матеріалів дозволяє видалити забруднюючі речовини і дає можливість відновити колишні розміри деталей машин.

Дробеструменеве зміцнення.

При виготовленні металевих виробів використовують різні технологічні операції: гнучка, різка, штампування, зварка, плющення, волочіння. Такі процеси приводять до появи в поверхневому шарі оброблюваних або таких, що переробляються виробів небажаного залишкового напруження, яка при експлуатації може привести до передчасної поломки виробу [6, 7].

Дробеструменева обробка поверхні металевих деталей абразивними матеріалами, які мають сферичну форму, дозволяє ущільнити і зміцнити поверхневий шар. Дробеструменеве зміцнення створює ефекти, подібні до ударів мікромолотків по оброблюваній поверхні. Інтенсивні і масові удари приводять до виникнення маленьких заглиблень. Таке "бомбардування" частинками абразиву формує рівномірно спресовану поверхню, створюючи і рівномірно розподіляючи залишкові напруження стиску за всією площею поверхневого шару, що істотно зменшує вірогідність поломки виробів при експлуатації.

Дробеструменеве зміцнення – це відповідальний технологічний процес, який вимагає застосування відповідних по твердості абразивних матеріалів і суворого дотримання технологічних режимів (швидкості та кута атаки) і тривалості дії легко-абразивної суміші на оброблювану поверхню. Надмірне або недостатнє зміцнення може бути причиною передчасного руйнування деталі при експлуатації.

Дробеструменеве зміцнення широко використовується в автомобільному, тракторному, авіаційному, сільськогосподарському та інших галузях машинобудування.

Отже, дробеструменева обробка широко використовується в різних галузях машинобудування завдяки простоті, економічності та незначному забрудненню навколишнього середовища.

1.3 Характеристика оброблюваної поверхні

Перед нанесенням захисних неметалевих покриттів і дробеструменевого очищення сталеві корпусні вироби піддають, як правило, нормалізаційному відпалу для термічного знежирення та зневуглецювання поверхні, в результаті якого поверхня виробу покривається продуктами газової корозії - окалиною [8].

Окалина маловуглецевих сталей, із яких виготовляють корпуси сільськогосподарських резервуарів, біологічних апаратів, складається переважно з трьох послідовно розташованих шарів оксидів заліза: FeO – в'юстит, Fe_3O_4 - магнетит, Fe_2O_3 – гематит. Такий порядок їх розташування по напрямку від металу до вільної поверхні. Оксиди заліза мають різні властивості та будову. Численні металографічні дослідження підтверджують приведені вище дані про порядок розташування оксидних шарів в окалині та свідчать про неоднорідність цих шарів і про відсутність чітких меж між ними [3]. При високотемпературному окисленні сталі на повітрі в зрізах окалини добре розрізняються три шару оксидів: тонкий шар Fe_2O_3 , потім товщий шар Fe_3O_4 і що примикає до металу найбільш товстий шар FeO , в якому при повільному охолодженні виділяється вторинний магнетит Fe_3O_4 .

На товщину окалини впливає цілий ряд чинників: тривалість, окислення, температура і швидкість нагріву, вплив домішок в металі і газовому середовищі, пружність дисоціації оксиду, що утворюється, і парціальне тиск кисню, фізико-хімічні властивості оксидів і стану поверхневих шарів. При окисленні маловуглецевої сталі протягом 60 хв при температурі 900°C товщина шару

окалина досягає близько 250 мкм [9, 10].

Окалина менш щільна, чим основний метал, має помітні порушення однорідності. Зчеплення окалини з окисленою металевою поверхнею грає важливу роль. З одного боку, міцне зчеплення окалини зменшує окислення сталі під час нагріву виробів, з іншого боку утрудняє видалення окалини при очищенні. Із зростанням товщини окалини зчеплення її з металом зменшується, падаючи для чистого заліза від 9,8 МН/м² при товщині $\delta = 325$ мкм. За іншими даними [4], для сталі Сталь 03, окисленої при температурі 1000°C, сила зчеплення і опору зрушенню шару окалини по відношенню до металу майже лінійно падає з 3,23 МН/м² при $\delta = 200$ мкм до 1,96 МН/м² при $\delta = 1000$ мкм. Твердість внутрішнього шару окалини для сталі 20 при індукційному електронагріві складає HRC56 (при цьому $Fe_3O_4 > FeO > Fe_2O_3$). Мікротвердість окалини заліза армко приведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Мікротвердість окалини заліза армко H₅₀, МН/м²

Залізо	Оксиди		
	FeO	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃
1370	5380...6320	~ 6320	~ 11200

Отже, викладене свідчить про те, що окалина значно твердіше і крихкіше сталі і володіє незначною силою зчеплення з окисленою поверхнею в порівнянні з міцнісними властивостями металу.

Фізико-механічні параметри поверхневого шару металу роблять істотний вплив на продуктивність дробеструменевго очищення. Ґрунтуючись на проведених дослідженнях слід зазначити, що однозначній залежності між продуктивністю дробеструменевго обробки і механічними властивостями поверхневого шару металу не виявлено. Разом з тим відомо, що для технічно чистих металів і сталей в стані, що відпалює, абразивний знос назад пропорційний твердості металу до проведення випробувань [11].

Відомо, що деформаційні і міцнісні властивості поверхневих шарів багато в чому визначають продуктивність дробеструменевго очищення. Недостатність

оцінки механічних властивостей поверхневих шарів вимушує пов'язувати продуктивність дробеструменевого очищення з об'ємними механічними показниками оброблюваного матеріалу або з твердістю при втискуванні. Зрозуміло, що фізико-механічні властивості об'ємних і поверхневих шарів металу зв'язані між собою. Проте поверхневий шар знаходиться в особливому стані, що необхідно враховувати, і піддається специфічною зовнішньою дією, що істотно змінює його властивості [12].

Аналіз літературних даних свідчить про те, що оцінка механічних властивостей поверхневого шару методом дряпання дає правильніше і повніше уявлення про можливу зносостійкість матеріалів при абразивному зношуванні, чим твердість при втискуванні інжектора. На опір дряпанню робить вплив вміст вуглецю в сталі і крихкість матеріалів, характер міжатомних зв'язків і спосіб їх зміцнення. По даним [13] для заліза з $H_{100} = 1260 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{ц} = 1700 \dots 1800 \text{ Н/мм}^2$, для сталі 45 з $H_{100} = 3570 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{ц} = 3000 \dots 3200 \text{ Н/мм}^2$.

В зв'язку з цим необхідно відзначити, що дробеструменева очищення є інтенсивним процесом ерозійного зношування матеріалів потоком абразивних частинок.

Різні фізико-механічних властивостей металевих оксидів і основного металу можна виразити у вигляді багатоконпонентної моделі реології, складеної з елементів Гуку і Кельвіна, що володіють пружністю і в'язкістю [7].

1.4 Вимоги до металевої поверхні

Корпуси хімічних, біологічних, сільськогосподарських та інших апаратів виготовляють в основному з листової низьковуглецевої сталі котельно-зварювальним способом. На робочі і вільні поверхні таких корпусів наносять захисні неметалічні покриття (полімерні, склоподібні, керамічні, гумові, фосфатні і так далі) для оберігання від корозії і дії агресивних середовищ. Такий підхід дозволяє істотно зменшити стислість вироблюваних виробів, оскільки дає можливість обійтися без застосування дорогих корозійностійких сплавів і сталей

[14].

Неметалічні покриття пред'являють жорсткі вимоги до металевої поверхні з деталей, на яку вони будуть нанесені. Вироби, що захищаються, повинні мати рівну чисту поверхню полон, міхурів, раковин, тріщин, заходів. Для цього поверхні виробів після виконання котельно-зварювальних робіт ретельно шліфують. Потім їх піддають хімічному або, найчастіше, термічному знежиренню в режимі нормалізаційного відпалення, яке дозволяє не тільки зняти внутрішнє напруження, але і обезвуглеродити поверхневий шар, що сприяє міцному зчепленню неметалевого покриття з металевою основою. Проте в процесі термічної обробки на поверхню виробів утворюється шар окалини. Призначені для нанесення захисних неметалевих покриттів металеві поверхні повинні бути ретельно очищені від окалини, іржі, пригару, формувальної землі, флюсу, що пристав, продуктів термічного розкладання та інших подібних окисних і механічних забруднень. На поверхні повинна бути створена рівномірна шорсткість певних геометричних параметрів. Поверхня повинна бути очищена від металевого пилу і, якщо можливо, активована зміцненням, легуванням, насиченням активним киснем (озоном) [15].

Дробеструменеве очищення є найвідповідальнішою операцією ступінчастого технологічного процесу підготовки металевої поверхні до нанесення захисного неметалевого покриття. Обробка дозволяє не тільки видалити з оброблюваної поверхні окалину, але і створити на ній рівномірну шорсткість та активувати її зміцненням. Проте в процесі дробеобробки оброблювана поверхня шаржується уламками дробу іншого хімічного складу, чим металева підкладка, що, можливо, може привести до виникнення вогнищ електрохімічної корозії виробів при експлуатації. До того ж дробеструменеве очищення унаслідок магнітних явищ сприяє прилипанню металевого пилу (стружки) до обробленої поверхні, яку необхідно видаляти [10].

Фізико-механічні властивості поверхневого шару металевої основи та стан металевої поверхні належить до найважливіших чинників, що визначають якість неметалевого захисного покриття. Тому дробеструменеве очищення сталевих

поверхонь від окалини необхідно приділяти особливу увагу. Дробеструменева очистка, як остання операція підготовки металевої поверхні, перед нанесенням захисного неметалевого покриття повинні забезпечити міцне зчеплення тарівномірну суцільність захисного шару [16].

Існують різні теорії (електрохімічна, хімічна, іонна, електронна та інші), які пояснюють взаємодію неметалевого покриття із металевою основою. Металевій поверхні перед нанесенням захисного неметалевого покриття надають розвинену шорсткість. Висота мікронерівностей залежить від товщини ґрунтового шару захисного покриття та знаходиться таким чином [16]:

$$R_z = K_u \delta_{zp}, \quad (1.1)$$

де R_z – висота мікронерівностей обробленої поверхні за десятьма точками;

$K_u \sim 0,2 \dots 0,25$ – коефіцієнт пропорційності ;

δ_{zp} – товщина ґрунтового шару захисного покриття, мкм.

Роль мікрогеометрії металевої поверхні підтверджується досвідченими даними по безґрунтовому емалюванню сталі, є виразний зв'язок між ступенем шорсткості поверхні виробів з молібдену і вольфраму і міцністю з'єднання їх з склом [12].

Відомо, що шорсткість обробленої металевої поверхні збільшується при зростанні зернистості технічного дробу [11, 12]. Проте в опублікованих результатах проведених досліджень технологічні параметри вказані недостатньо точно, що заважає їх порівняти. Загалом можна записати, що шорсткість обробленої металевої поверхні знаходиться в пропорційній залежності від розміру дробу

$$R_z = \alpha_{dp} d, \quad (1.2)$$

α_{dp} – коефіцієнт пропорційності, $\alpha_{dp} \sim 0,1$;

d – діаметр сфери, описаної навколо дробинки, мкм.

Проте шорсткість обробленої металевої поверхні не завжди є необхідною умовою для формування міцного неметалевого покриття. Відомо, що при емалюванні таких металів, як алюміній, титан, мідь; на яких утворюється міцний оксидний шар, що володіє хорошою розчинністю в багатокomпонентних з

металом, спостерігається хороше зчеплення і на гладкій поверхні [17]. Також не вимагає створення шорсткості і сталеву поверхню, оброблена активним киснем (озоном) [18]. При цьому розпушування поверхні не відбувається як в процесі підготовки, так і в процесі взаємодії металу з склом.

Оскільки при взаємодії неметалевого покриття з металевою основою важливу роль грають процеси дифузії, то має істотне значення тип і параметр кристалічної решітки металу, розмір зерен і будова їх меж, наявність і розподіл дислокацій і іншої недосконалості в кристалічній решітці.

В зв'язку з цим необхідно розглянути вплив дробеструменевої обробки на стан поверхневого шару металу. Відомо, що дія струн абразивних частинок на металеву поверхню носить імпульсний, ударний, характер, в результаті якого утворюється новий мікрорельєф поверхні з пластично деформованим (наклепаним) шаром. Глибина наклепаного шару залежить від зернистості дробинки і часу обробки. Наклеп приводить до структурно нестійкого стану металу у зв'язку з підвищенням енергетичного рівня кристалічної решітки, причому це підвищення зазвичай буває різним, що характеризується неоднорідним розподілом внутрішньої напруги між окремими зернами і навіть цілими ділянками металу [12].

Наклеп не може служити причиною поганого зчеплення склоподібного покриття з металевою підкладкою, оскільки при першому випаленні емальованого виробу, яке проводиться в режимі нормалізації, приходять в рівноважний стан.

Для полегшення виникнення хімічних зв'язків між неметалічним покриттям і металевою основою застосовують спеціальну обробку поверхні – активацію. Відомо, що поверхня металів стає активнішою після дробеструменевої обробки, оскільки вона акумулює частину кінетичної енергії падаючих на неї абразивних частинок. Виявлений прямий зв'язок між міцністю зчеплення напилених покриттів і ступенем наклепу поверхні.

При подальшій мікроударній дії абразивних гранул на наклепану поверхню спостерігається явище перенаклепа, що виникає за відсутності здібності металу до подальшого зміцнення кристалічної решітки. При цьому відбувається

розпушування поверхні металу, з'являються тріщини, відшарування і так далі і спостерігається втомний механізм руйнування поверхневого шару. Перенаклеп – явище необоротне і ніякий нагрів не відновлює якості перенаклепанного металу, тому його необхідно уникати, особливо для металевих поверхонь, що захищаються неметалевими покриттями [19].

Після дробеструменевого очищення в поверхневому шарі металі залишається стискуючі напруження, яке підвищує втомну міцність основи. Досліджень про вплив залишкового напруження на міцність зчеплення неметалевих покриттів з металом виявити не вдалося.

Викладене свідчить про те, що в даний час вплив технологічних параметрів дробеструменевого очищення на якість металевої поверхні вивчений недостатньо, є суперечливі дані, які вимагають експериментальної перевірки.

1.5 Ступені очищення металевої поверхні

У 2007 році міжнародною організацією ISO була опублікована друга редакція стандарту ISO 8501-1:1988 [31], який описує чотири рівні прокатної окалини та іржі на деяких поверхнях сталевих конструкцій, а також описує певні ступені візуальної чистоти сталевих поверхонь.

Ступені окислення сталевих поверхонь наступні:

А – сталева поверхня, покрита у великій мірі міцно прилеглою прокатною окалиною, але майже немає іржі;

Б – сталева поверхня, яка почала іржавіти і з якою починає відставати прокатна окалина;

С - сталева поверхня, із якою прокатна окалина зникла в результаті того, що ржавіє, але на якій спостерігається деякий піттинг при нормальному огляді;

Д – сталева поверхня, із якою прокатна окалина повністю зникла в результаті того, що ржавіє та спостерігається загальний піттинг при нормальному огляді.

Ступені підготовки сталеві поверхні за допомогою дробеструменевої

очищення позначаються буквами *Sa* і мають наступні рівні:

Sa 1 – легке дробеструменеве очищення, під час огляду без збільшення поверхня повинна бути вільною від видимих плям масла, мастила і грязі, а також від слабо пристаючих окалини, іржі, фарби і інших сторонніх частинок;

Sa 2 – ретельне дробеструменеве очищення, під час огляду без збільшення поверхня повинна бути вільною від видимих плям масла, мастила і грязі, а також від великої частини прокатної окалини, іржі, фарби і сторонніх частинок;

Sa 2,5 – дуже ретельне дробеструменеве очищення, під час огляду без збільшення поверхня повинна бути вільною від видимих плям масла, мастила і грязі, а також прокатної окалини, іржі, старої фарби та сторонніх частинок, вона повинна мати однорідне металеве забарвлення;

Sa 3 – дробеструменеве очищення до візуально чистої сталевій поверхні, під час огляду без збільшення поверхня повинна бути вільною від видимих плям масла, мастила та грязі. А також від прокатної окалини, іржі, старої фарби та сторонніх частинок, вона повинна мати однорідний металевий глянець.

Шорсткість сталевій поверхні після дробеструменевого очищення обов'язково контролюють. Оцінка шорсткості може бути здійснена із допомогою:

- компараторів (еталони порівняння) по ИСО 8503-2;
- профілометра-профілографа по ИСО 8503-4;
- мікроскопа по ИСО 8503-3;
- методу реплік по ИСО 8503-5;
- електронних приладів.

Найбільш простим і доступним методом оцінки шорсткості поверхні є використання компараторів, технічні характеристики яких відповідає ИСО 8503-1. Компаратори використовують двох типів і є плоскими пластинами, розділеними на чотири сегменти з різною строго комбінованою шорсткістю.

Організація SSPS («Дослідники захисних покриттів» США) встановлює п'ять ступенів очищення металу при струменево-абразивній обробці, що класифікуються від повного видалення всіх забруднюючих речовин до видалення тільки залишкових матеріалів з оброблюваної поверхні. До даним п'яти ступеням

очищення відносяться: очищення до «білого металу», очищення до «майже білого металу», комерційне очищення, промислове очищення, поверхневе очищення. Вони використовуються як основні принципи оцінки якості струменево-абразивної обробки металевих виробів.

Очистка до «білого металу» – це очистка, видиме без збільшення. Очистка поверхня до «білого металу» є поверхнею, з якою видалені всі видимі забруднення, а саме: іржа, вторинна окалина, фарба та сторонні включення. Зазвичай даний ступінь очищення потрібний при нанесенні складних покриттів (цинковмістні фарби, склоподібні і склокристалічні емалі та ін.) на поверхні, що піддаються агресивній дії корозійного середовища, – хімічні установки, морські бурові комплекси, металоконструкції мостів над водою з підвищеним вмістом солей.

Очистка до «майже білого металу» - це очищення, видиме без збільшення. Це поверхня, вільна від всіх типів видимих забруднень (іржі, вторинної окалини, фарби і сторонніх речовин). Даний вид очистки схожий на очищення до «білого металу». Основна відмінність полягає в тому, що на очищеній поверхні допустимі не більше 5% забруднень. Даний вид очистки застосовується при використанні високоефективних покриттів для сталевих виробів, що піддаються дії жорсткого середовища та інтенсивної експлуатації, наприклад для сільськогосподарської техніки, що працює в польових умовах.

Комерційна очистка – це очистка видима без збільшення. Поверхня очищається від видимих нафтопродуктів, змашувальних матеріалів, пилу, окалини, грязі, вторинної окалини, продуктів корозії і сторонніх речовин. При даному очищенні на поверхні може залишитися не більше 33% забруднених ділянок, полос, знебарвленої поверхні від плям іржі, вторинної окалини і старих покриттів. У більшості випадків на таку поверхню наносять стандартні лакофарбові покриття.

Промислове очистка – це очистка, видима без збільшення. Поверхня звільняється від всіх видів нафтопродуктів, змашувальних матеріалів, пилу та грязі. Проте на обробленій поверхні допускається до 10% площі із щільно

прилиплою вторинною окалиною, іржею та залишків старого покриття, якщо вони рівномірно розподілені. Частина поверхні, яка залишилася, може містити сліди забруднень, смуги і знебарвлення, викликану плямами іржу, вторинної окалини або старого покриття.

Поверхнєве очищення – очищення видима без збільшення. Оброблена поверхня може містити щільно прилиплі залишки вторинної окалини, іржі або старого покриття. Плями металу не голі, якщо субстрат складається з непошкодженого покриття. Даний метод прийнятний в тому випадку, якщо поверхні не схильні до дії суворих умов навколишнього середовища або там, де не очікується тривалий термін служби покриття.

Особливе велике значення для міцності зчеплення захисного покриття з металевою підкладкою профіль обробленої поверхні. Коли профіль поверхні перевищує допустимий рівень, то піки мікронерівностей виступають над поверхнею покриття, що неприпустимо. Якщо профіль поверхні маленький, то відсутнє надійне та міцне зчеплення ґрунтового шару захисного покриття з металевою підкладкою [20].

Для отримання необхідної шорсткості металевої основи потрібне застосування абразивних зерен (дробу) відповідного гранулометричного складу та відповідної форми. Різна форма абразивних частинок (дробу) приводить до різного профілю очищеної поверхні. Гострокутні абразиви краще підходять для видалення товстих шарів фарби і слідів корозії. Округлі зерна ефективніші для видалення прокатної окалини і легких забруднень. Вони дозволяють одночасно з очищенням ущільнити і зміцнити оброблену поверхню.

Щільність абразивних гранул (дробу) є менш важливим показником. Проте, слід зазначити, чим щільніший абразив, тим більше енергії кожна частинка передає поверхні.

Дія абразивного матеріалу на оброблювану поверхню визначається його твердістю. Якщо абразив (дріб) твердіше оброблюваного металу, то він залишає (формує) профіль на поверхні. Якщо він м'якше оброблюваній поверхні, але твердіше за старе покриття, то він видаляє покриття. Якщо абразив (дріб)

м'якший за покриття, то він очищає з поверхні тільки бруд, залишаючи незайманим оброблюване покриття.

Певне значення має ламкість вживаного абразиву (дробу). Під ламкістю розуміють крихкість абразивних зерен, тобто здатність розділятися на декілька частин при ударі об оброблювану поверхню. З одного боку ламкість має позитивне значення, оскільки при цьому оголюються нові ріжучі кромки на частинах зерен, що розкололися, з іншого боку ламкість знижує довговічність (стійкість) абразивних зерен (дробу) [33].

1.6 Аналіз конструкцій установок для дробеструменевого очищення металевих виробів

Сьогодні існує цілий арсенал дробеструменевих установок, призначених для виконання найрізноманітніших операцій - від обробки стін будинків з метою видалення старих покриттів до оздоблювальної обробки деталей приладів з метою надання їм товарного вигляду. Принцип дії дробеструменевого апарату заснований на перетворенні енергії стиснутого повітря в кінетичну енергію потоку абразивних частинок (дробу) [20, 1]. На рис. 1.2 наведено структурну схему класифікації струминно-абразивних пристроїв [Ошибка! Источник ссылки не найден.].



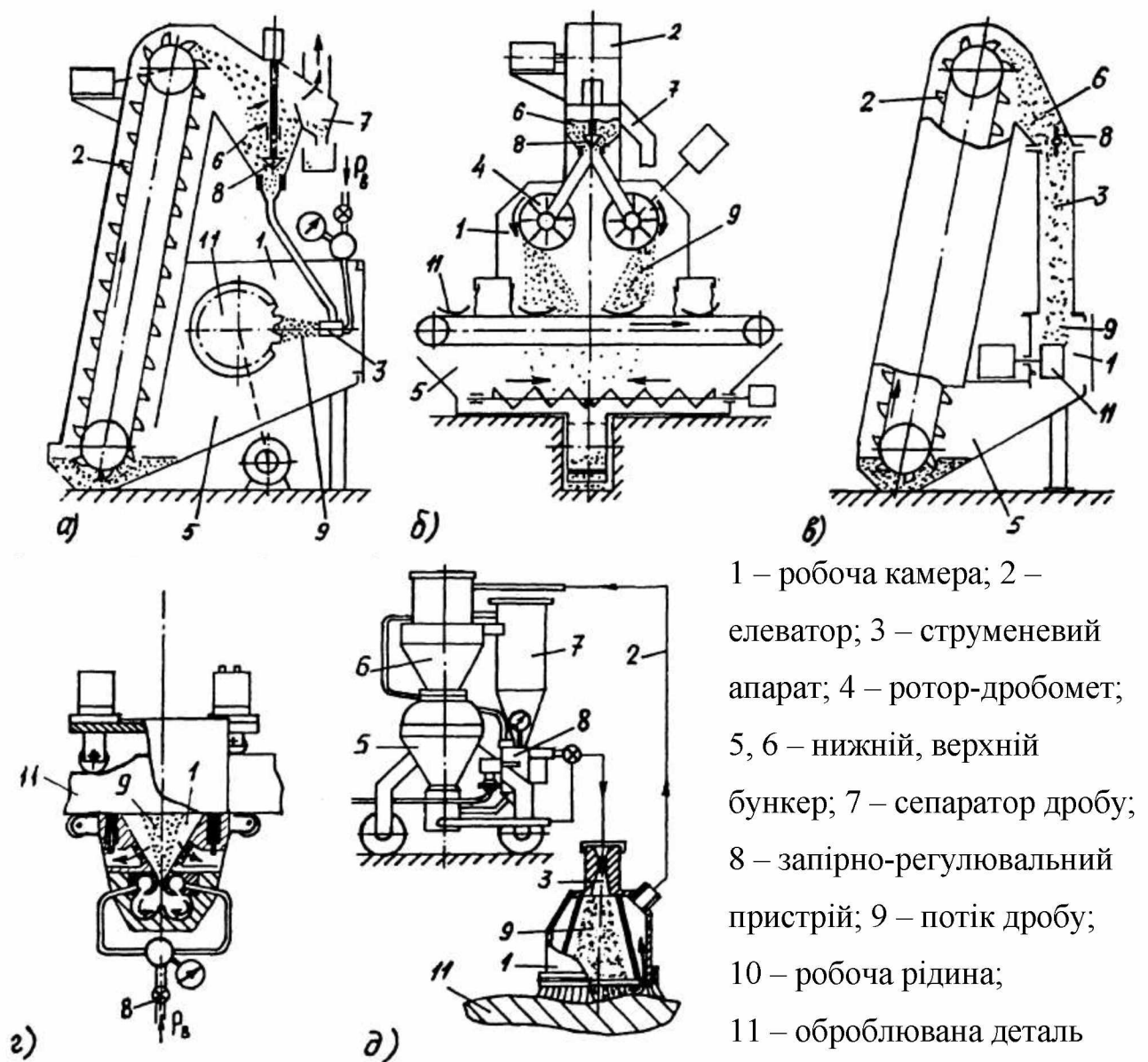


Рис. 1.4 – Принципові схеми пристроїв для здійснення обробки дробом *а)* – дробеструминна; *б)* – дробеметна; *в)* – гравітаційна обробка; *г)* – пневмодинамічна; *д)* – безпильна

Дробеструминна обробка (ДО) здійснюється (рис. 1.4,а) на пневматичних дробеструминних установках, де в якості рушія дробу (РД) використовується стиснене повітря з тиском 0,4-0,7 МПа. Застосовують сталеву (рідше чавунну) литу або рубану з дроту дріб. Основні переваги: простота конструкції дробеструминних установок, можливість використання централізованої подачі стисненого повітря; можливість обробки важкодоступних ділянок деталей; сепарація дробу потоком повітря; відсутність необхідності промивання деталей

після обробки. Недоліки: високі локальні миттєві температури (600 - 750°C), що призводять до створення залишкових напружень, збільшення шорсткості поверхні деталей, прискорений знос сопел, дробу і деталей камери [56].

Дробеметна обробка (ДМО) здійснюється (рис. 1.4, б) на установках, в яких в якості РД застосовується ротор-дробомет, що обертається зі швидкістю 40-100м/с. У серійному і масовому виробництвах листових ресор, кручених пружин, шестерень коробок передач та інших деталей автомобілів застосовуються установки прохідного або карусельного типу. Дріб застосовується така ж, як при ДО. Дробеметні установки більш продуктивні і економічні, ніж дробеструминні установки [103]. Якість поверхневого шару у деталей після ДМО, таке ж, як після дробеструменевій обробці.

Гравітаційна обробка дробом (ГОД) - це метод, в якому (рис. 1.4, в) здійснюється підйом дробу елеватором в верхній бункер і вільне падіння цього дробу на деталь. Через низьку швидкість дробу (не більше 8 м/с) і продуктивності застосовується вкрай рідко [108]. У той же час ГОД набула широкого поширення в установках барабанного типу.

Пневмодинамічна обробка (ПДО) - це метод, в якому в якості дробу застосовуються сталеві кульки діаметром 2 -3 мм, розміщені в замкнутій камері, обмеженою бічними стінками з отворами для відводу повітря, зверху - оброблюваної поверхнею деталі, знизу - пристроєм для подачі стисненого повітря, що розганяє кульки до швидкості 12...15 м/с (рис. 1.4, г). Камера переміщається з подачею 10...100 мм/хв уздовж деталі [56]. Тиск повітря змінюється в межах 0,3...0,6 МПа. ПДО застосовується для обробки плоских ділянок поверхні деталей, радіусних сполучень поверхонь, галтелі, а також поверхонь отворів.

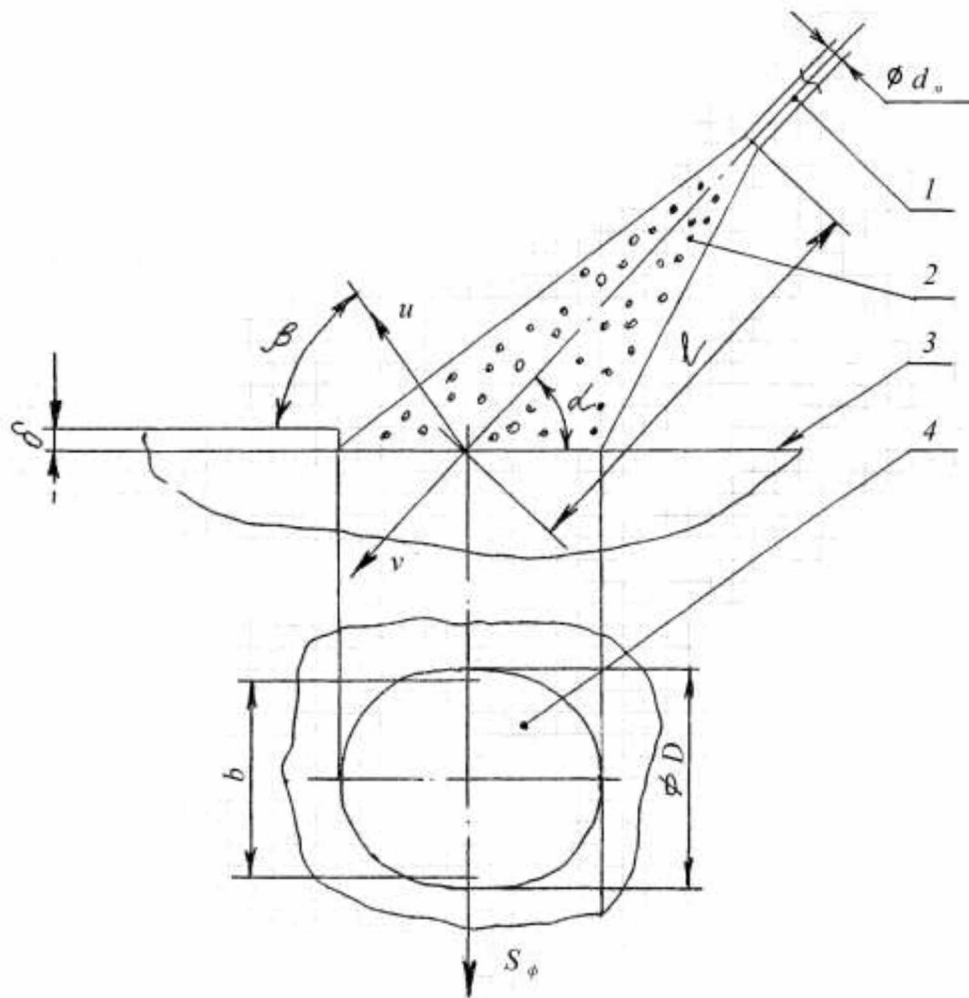
Безпилова дробоструминна обробка (БДО) здійснюється на установках типу шляхом подачі в дробоструминне сопло дробоповітряної суміші, підготовленої поза робочою камерою (рис. 1.4, д). Камера переміщається вручну щодо поверхні деталі, не відриваючись від неї. В камері передбачається відсмоктування дробу, металевих частинок і відпрацьованого повітря [54].

БДО застосовується в різних типах виробництв для обробки локальних ділянок деталей, а також для формоутворення (за рахунок залишкових напружень) великогабаритних деталей з листа, наприклад, панелей літаків [22]. Сучасне обладнання для дробеструменевої обробки мають великий вибір типорозмірів (від ручного, до встановленого на базі вантажного автомобіля), у залежності від поставлених завдань.

Провідними світовими виробниками дробеструминної техніки є компанії C.M. SURFASE TREATMENT S.p.A (Італія), BLASTRAC (Канада), SAPI (Німеччина) та Airblast (Нідерланди), що протягом багатьох років успішно постачають вироблене устаткування по всьому світу [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

1.7 Суть дробеструменевої обробки. Виникнення шаржування

Дробеструменова обробка це процес масової швидкісної дії на оброблювану поверхню потоку металевих гранул – дробинок, в результаті якого руйнується і зміцнюється поверхневий шар оброблюваної деталі (рис. 1.5). Потік металевих гранул розганяється до необхідної швидкості за допомогою енергоносія – стислого газу (переважно повітря) через спеціально спрофільовані канали – сопла і прямує на оброблювану поверхню у вигляді факела. Характер імпульсної дії дробу на оброблювану поверхню залежить від багатьох чинників: форми та розміру гранул, фізико-механічних властивостей дробу і оброблюваного матеріалу, технологічних режимів дробеструменевого очищення, які визначаються в першу чергу кутом α і швидкістю атаки v дробинками оброблюваної поверхні; параметрів стислого енергоносія [3, 10, 11].



1 – сопло, 2 – факел, 3 – оброблювальна поверхня, 4 – відбиток факелу

(α – кут атаки, β – кут рекошетування, v – швидкість атаки, u – швидкість рекошетування, S – подача, δ – товщина знімаючого шару, D – середній діаметр відбитку, b – розрахункова ширина відбитку)

Рис. 1.5 – Схема впливу дробеструменевого факелу на оброблювану поверхню

Переважно, зміцнення поверхні відбувається при використанні міцного і твердого дробу сферичної форми. Головним чином, до руйнування поверхневого шару приводить використання міцного і твердого коленого рубаного дробу, який володіє хорошою ріжучою здатністю і прийнятною довговічністю.

У процесі дробеструменевого очищення дріб інтенсивно подрібнюється внаслідок ударно-абразивного зношування. Зношування дробу відбувається внаслідок різних чинників. До них можна віднести: розколювання дробинки на

кілька частинок, відколювання дрібних осколків від дробу, відрив різальних крайок дробинок, що застрягли в поверхневому шарі деталі, оплавлення мікрорельєфу дробинок при ковзанні по оброблюваній поверхні, схоплювання матеріалів дробинок і оброблюваного виробу при високому тиску контактування.

Уламки дробу не тільки залишаються на поверхні, але і впроваджуються всередину поверхневого шару, де закриваються в пластично-деформованому мікрообсязі металу. Вони відламуються при хаотичному рикошеті дробу і залишаються у поверхневому шарі, таким чином, шаржуючи оброблювану поверхню.

Уламки дробу, які залишилися в поверхневому шарі, представляють серйозну небезпеку для подальшого неметалевого захисного покриття, приводячи до виникнення вогнищ електрохімічної корозії.

Висновки до розділу

Викладені результати інформаційного пошуку та вивчення стану питання дозволяють зробити наступні висновки:

- дробеструменева обробка застосовується з метою очищення металеві поверхні від іржі, пригару, формувальної землі, флюсу, механічних забруднень, що досягається в процесі руйнування поверхневого шару. При цьому відбувається утворення рівномірної шорсткості оброблюваної поверхні, що забезпечує міцне і суцільне зчеплення металеві основи з ґрунтовим шаром подальшого захисного неметалічного покриття.

- незважаючи на широке поширення в різних галузях машинобудування дробеструменеве очищення технічної дробом залишається найменш вивченим технологічним процесом. Одним із негативних наслідків та проблемою дробеструменевого очищення є шаржування оброблюваної поверхні осколками дробу, що призводить до виникнення на межі метал-покриття вогнищ електрохімічної корозії.

Виходячи із аналізу літературних джерел, для вирішення поставленої задачі, що стосується дробеструменевої обробки сталевих деталей для машин

сільськогосподарського призначення, необхідно дослідити в першу чергу вплив режимів дробеструменевого очищення на ступінь шаржування обробленої поверхні уламками дробу.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Описання лабораторної установки

Дробеструменева абразивна установка застосовується для очищення поверхні знежирених металевих виробів від окалини, іржі, пригару, формувальної землі і тому подібне металевих забруднень і окисних пошкоджень і для формування на очищеній поверхні рівномірної шорсткості.

Дана робота присвячена дослідженню процесу дробеструменеве очищення від окалини та механічних забруднень поверхні сталевих деталей, що пройшли нормалізаційний відпал. Дробеструменеве очищення є фінішною операцією технологічного процесу підготовки поверхні сталевих виробів під захисне покриття, в результаті проведення якої отримують чисту, вільну металеву поверхню необхідної шорсткості [3].

Для дослідження процесу дробеструменеве очищення від окалини поверхні сталевих деталей використовували лабораторну установку власної розробки, яка побудована за блоково-модульним принципом.

На рис. 2.1 представлена технологічна схема лабораторної установки, що складається з наступних частин: блоку підготовки стислого повітря 1; дробеструменеве апарату нагнітального типу 2; захисної камери для ізолювання зони очищення 3; механізму пересування оброблюваного виробу 4; агрегату утилізації відходів 5; система керування 6.

Складові частини установки сполучені між собою лініями зв'язку 7.

Дослідження проводили на плоских прямокутних зразках (рис. 2.2), вирізаних із сталевого листового прокату завтовшки $\delta=4$ мм, в яких вирізували центральний отвір діаметром 80 мм. При деяких випробуваннях, коли було потрібне зважування зразків на аналітичних вагах для визначення втрати маси після дробеструменеве очищення, використовували дискові зразки завтовшки $\delta = 4$ мм, які вставляли в центральний отвір плоского прямокутного зразка (рис. 2.3). Матеріал зразків – маловуглецеві сталі, які в основному застосовуються в котельно-зварювальному виробництві хімічних апаратів із

захисними неметалічними покриттями.

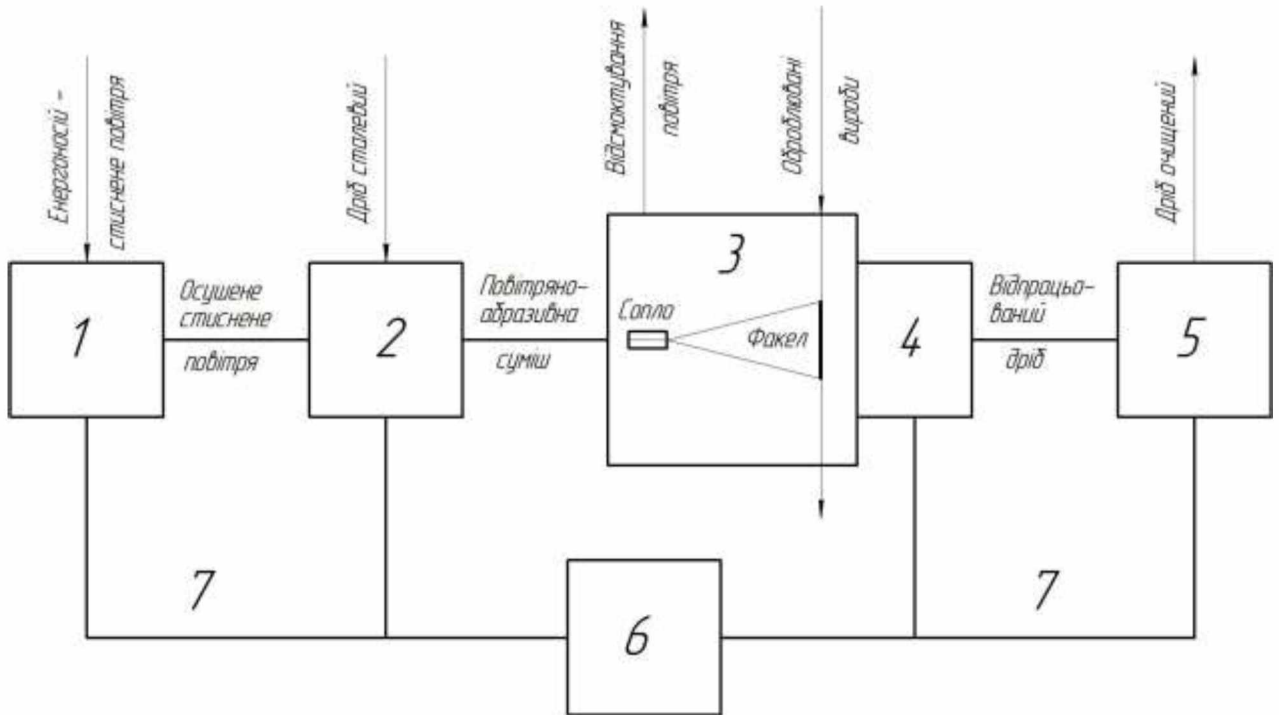


Рис. 2.1 – Технологічна схема лабораторної дробеструменевої установки

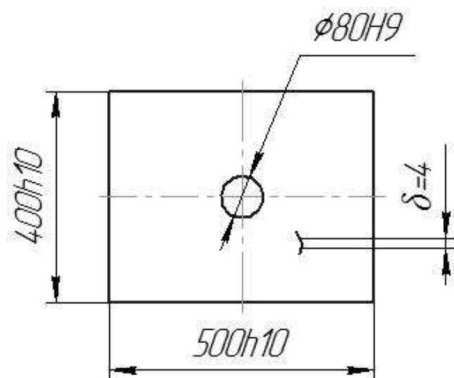


Рисунок 2.2 – Зразок прямокутний

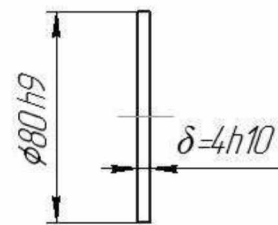
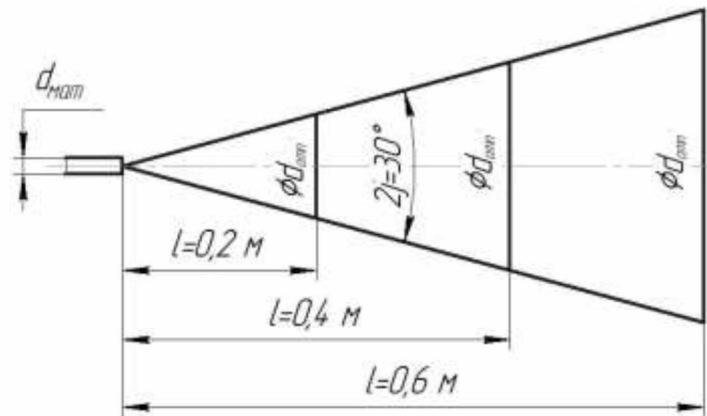


Рисунок 2.3 – Зразок дисковий

Відповідно до прийнятому у хімічному машинобудуванні технології підготовки металевої поверхні хімічного обладнання перед нанесенням захисних покриттів зразки піддавали термічній обробці у режимі нормалізаційного відпалювання, яке є найбільш економічною і екологічною технологічною операцією, що дозволяє знежирити оброблювану поверхню, зняти внутрішню напругу у виробі і обезвуглеродити поверхневий шар. Останній чинник є одним з найбільш важливих фізичних показників, який

сприяє міцному зчепленню ґрунтового шару захисного, зокрема склоподібного, покриття з металевою основою в процесі високотемпературного формування покриття.

Дробеструменеве очищення в переважній більшості випадків застосовується як завершуюча технологічна операція достатньо складного багатоступінчатого технологічного процесу підготовки металевої поверхні перед нанесенням захисного покриття. Мета дробеструменевого очищення полягає в тому, щоб отримати чисту металеву поверхню, вільну від окисних забруднень, з певними параметрами шорсткості. Така мета визначається вимогами міцного зчеплення захисного покриття з металевою підставою.



$$j = 15^\circ \quad \operatorname{tg} j = 0,26795 \quad d_{\text{отп}} = 2 l \operatorname{tg} j;$$

$$l = 0,2 \text{ м} \quad d_{\text{отп}} \approx 0,107 \text{ м};$$

$$l = 0,4 \text{ м} \quad d_{\text{отп}} \approx 0,214 \text{ м};$$

$$l = 0,6 \text{ м} \quad d_{\text{отп}} \approx 0,321 \text{ м}$$

Рисунок 2.4 – Дробеструменевий факел циліндричного сопла

Ширина прямокутного зразка $b=400\text{мм}$ диктується можливістю повного розміщення відбитку дробеструменевого факела $d_{\text{отп}} \approx 100 \dots 320\text{мм}$ на оброблюваній поверхні при досліджуваних відстанях від сопла до оброблюваної поверхні l від 0,1 до 0,6 м. Для цього на рис. 2.4 показані габарити дробеструменевого факела циліндрового сопла, який має форму усіченого корпусу з кутом розкриття $2j \approx 30^\circ$. Враховуючи, що досліджувані діаметри матеріального отвору дробеструменевого сопла $d_{\text{мат}} = 6 \dots 10\text{мм}$ істотно

менше діаметру відбитку факела на оброблюваній поверхні $d_{\text{отп}}=100\text{...}320$ мм, то форму дробеструменевого факела приймаємо у вигляді повного корпусу. Довжина зразка $l = 500$ мм узята для можливості здійснення подовжньої подачі дробеструменевого факела в межах $S = 0,1\text{...}0,4$ м.

За результатами інформаційного пошуку встановлені наступні основні технічні показники лабораторної установки для дослідження процесу дробеструменевого очищення від окалини поверхні сталевих деталей, що пройшли нормалізаційний відпал.

Технічна характеристика лабораторної установки:

1. Призначення – дослідження процесу дробеструменевого очищення від окалини поверхні плоских сталевих зразків, що пройшли нормалізаційний відпал.

2. Мета дробеструменевого очищення – отримання чистої металевої поверхні, вільної від окисних пошкоджень, і формування на ній рівномірної шорсткості.

3. Геометричні розміри оброблюваних зразків, вирізаних з листової сталі:

- плоскі прямокутні $400 \times 500 \times 4$ мм з центральним отвором діаметром 80мм;

- плоскі дискові діаметром 80 мм, $\delta=4$ мм.

4. Матеріал зразків – сталь 08.

5. Термічна обробка зразків перед очищенням – нормалізаційний відпал.

6. Дробеструменевий апарат – нагнітального типу корисним об'ємом $0,12\text{м}^3$ і одноразово завантажувальною масою дробу ~ 500 кг.

7. Конфігурація дробеструменевих сопел – циліндрова.

8. Діаметр матеріального отвору сопел, мм – 6, 8, 10.

9. Енергоносій – стисле повітря з надлишковим тиском 0,6 МПа 3-го класу забрудненості згідно ГОСТ 17433-80

10. Максимальна витрата стислого повітря, приведеного до нормальних умов ($p = 101325$ Па і $t = 20^\circ\text{C}$), $\text{нм}^3/\text{хв} \sim 6,5$.

11. Використовуваний абразивний матеріал – дріб сталева колена високо кремениста марки ДСК-17, фракція №1.

12. Максимальна подача дробу до сопла, кг/хв – 30.

13. Кут атаки оброблюваної поверхні зразків дробеструменевим факелом, град –15...90.

14. Відстань від дробеструменевого сопла до оброблюваної поверхні, мм – 100...600

15. Форма дробеструменевого факела – конічна з кутом розкриття ~30°.

16. Швидкість вильоту дробу з сопла, м/с <200.

17. Швидкість пересування відбитку дробеструменевого факела по оброблюваній поверхні, м/хв – 0,2...2,0.

18. Діаметр умовного проходу трубопроводу, що подає стисле повітря до установки, мм – 40.

19. Здійснення очищення – в спеціальній ізольованій камері.

20. Видалення відпрацьованого дробу із зони очищення – під дією сили тяжіння через конічні бункери в закриту тару.

21. Регенерація відпрацьованого дробу – на спеціальній автономній установці.

22. Кількість повітря, що відсисається з камери, в процесі здійснення очищення, м³/с – 3,5.

Як енергоносії при дробеструменевому очищенні використовують стиснуте повітря, яке поступає до дробеструменевому апарату від заводської магістралі. Він містить дрібнодисперсні крапельки води і компресорного масла, а також тверді частинки, які на 95...98% складаються з іржі і окалини, і відповідає 12...14 класам забрудненості відповідно до ГОСТ 17433-80. Для дробеструменевого очищення рекомендується згідно ГОСТ 17433-80 стисле повітря 3-го класу забрудненості. Тому стисле повітря, що поступає від заводської магістралі, повинне бути осушений і очищений від крапельок масла і твердих частинок. Ефективність дробеструменевого очищення може бути покращена, а витрата стислого повітря зменшена, якщо його підігріти до

$t=50^{\circ}\text{C}$.

Тому у складі лабораторної установки передбачений блок підготовки стислого повітря, пневматична примусова схема якого показана на рис. 2.5. Блок підготовки включає: УО – пристрій осушення; ФМ – фільтр-масловіддільник; ПЕ – пневмоємність-ресивер з підігрівом $d=0,6$ м, $h=1,5$ м, $V=0,36\text{м}^3$; КР – клапан редукційний моделі П-КАП 25-2, $d_v=25\text{мм}$; ОК – напіваавтоматичний відвідник конденсату; ЕН – електронагрівач.

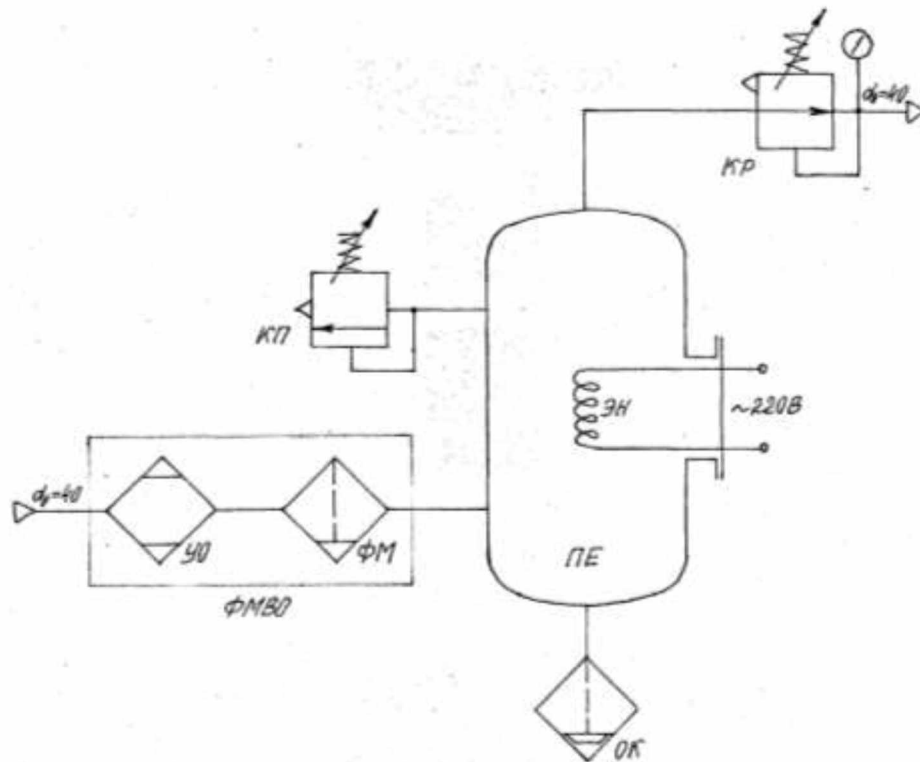


Рисунок 2.5 – Схема пневматична принципова блоку підготовки стислого повітря

Враховуючи те, що в дробеструменевому факелі дробинки рухаються з швидкостями, які небезпечні для здоров'я людини, дробеструменеве очищення поверхні зразків від окалини проводили в спеціальній захисній камері. На рис. 2.6 представлено схематичне зображення в ізометрії захисної камери. Камера складається з трьох складових частин, розділених для наочності на подвійними лініями, а саме: підстава 1; корпус 2; парасолька 3.

Складові частини сполучені між собою за допомогою болтових кріплень.

Розміри камери $L=1600\text{мм}$, $B=1200\text{мм}$, $H=2400\text{мм}$, $h_0=h_k=1200\text{ мм}$ обумовлені необхідністю досліджувати технологічні режими дробеструменевого очищення на різних відстанях l від дробеструменевого сопла до оброблюваної поверхні ($l=0,1\dots 0,6\text{ м}$), а також можливістю установки в корпусі 2 пристосування для визначення швидкості руху дробу в атмосфері спокійного повітря, про що буде описано нижчим.

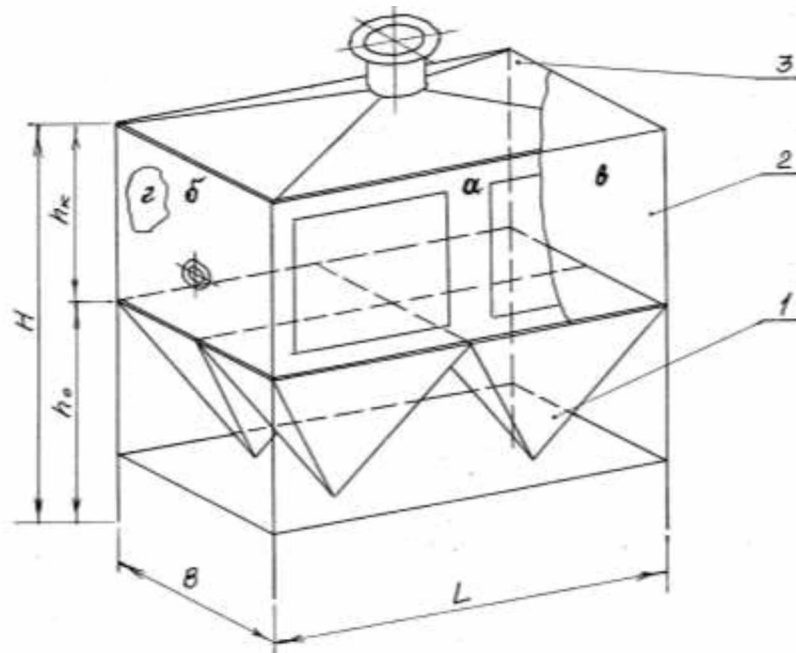


Рисунок 2.6 – Камера захисна

Для поглинання шуму, що виникає при дробеструменевому очищенні всю внутрішню поверхню камери облицьовували листовою гумою завтовшки $\delta=6\text{мм}$.

2.2 Описання дробеструменевого пристрою

Очищене, а якщо необхідно, то і підігріте, стисле повітря через редукційний клапан з надмірним тиском $0,6\text{ МПа}$ прямує до дробеструменевому апарату, схематичне креслення якого приведене на рис. 2.7.

Корпус дробеструменевому апарату виконаний з відрізанню циліндрової труби 1 з привареним конічним днищем 2 і встановлений за допомогою лап на рамі 3 так, щоб вісь симетрії була вертикальною. Порожнина корпусу

заповнюється дробом. Зверху корпус закритий знімною кришкою, яка складається з еліптичного днища 5 і привареної до нього завантажувальної воронки 6 з опорним сидлом 7 для кульової тарілки 8. Тарілка 8 і сидло 7 утворюють шаровий затвор для дробу. Тарілка розташована на осі воронки і шарнірно підвішена до гвинта 9, який зчленований з гайкою 10, прикріпленою до воронки 6.

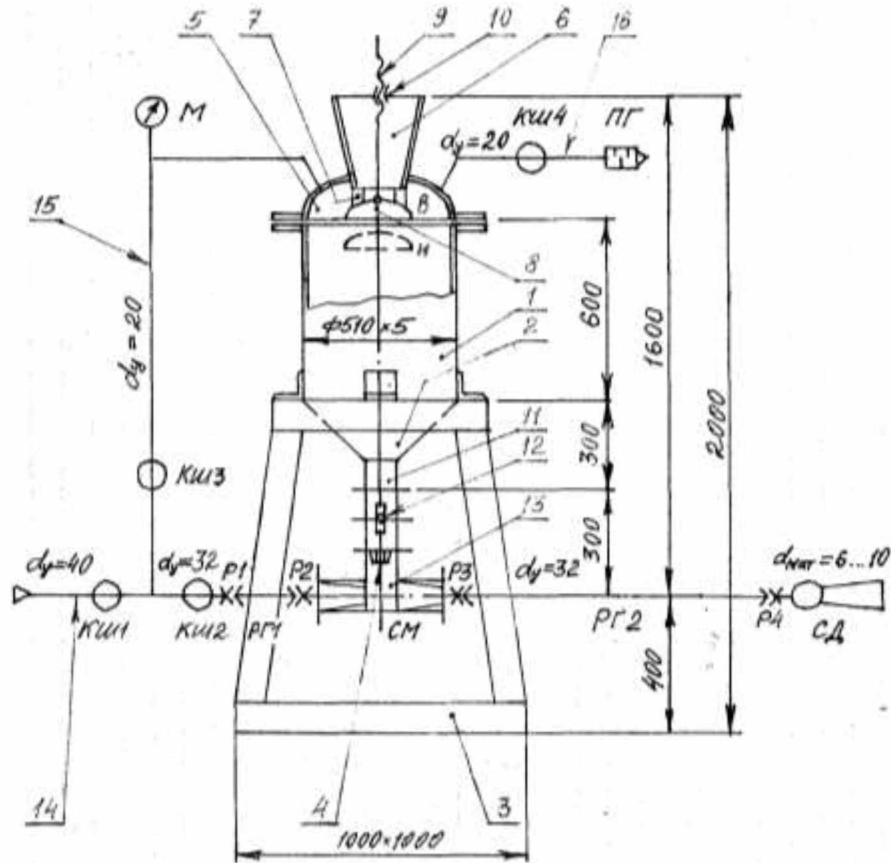


Рисунок 2.7 – Апарат дробеструменевий

Довжину l_0 вхідного конічного отвору в корпусі 1 брали в межах 80...120мм, а вихідного циліндрового – по довжині набору зносостійких втулок 2 $l = 100...120$ мм. Матеріальний отвір втулок 2 змінювали в межах $d_{\text{мат}} = 6...10$ мм.

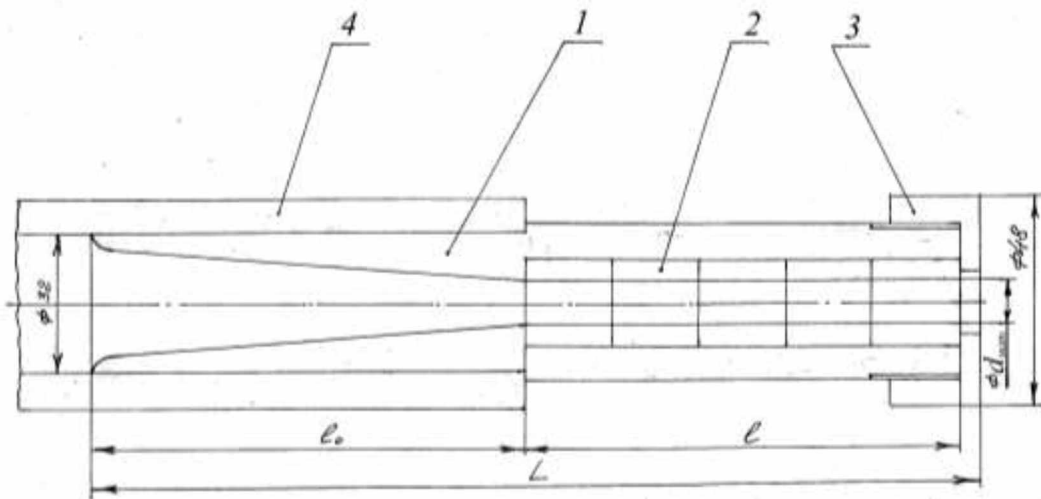


Рисунок 2.8 – Сопло дробеструменеве

Легко-абразивна суміш поступає в сопло через конічний отвір корпусу 1 і, розгоняючись через набір зносостійких втулок 2, викидається у вигляді конічного факела, який направляють на оброблювану поверхню.

2.3 Дослідження впливу технічних режимів на шаржування дробеструменевої поверхні

Для дослідження впливу режимів обробки на шаржування дробеструменевої поверхні, вивчали структуру поверхневого шару сталевих зразків, оброблених струменем дробу, використовуючи методи оптичної і електронної мікроскопії. Дослідження проводили на плоских зразках розмірами із сталі марки 08, які вирізували механічним способом з листового прокату. Як абразивний матеріал для обробки зразків використовували дріб сталеву колену марки ДСК-17 фракція №1 по ТУ 24-8-708-92 наступного хімічного складу: Si - 14,20%; C - 0,5%; Mn - 0,55 %; P - 0,035%, S - 0,014% решта залізо [35].

Дробеструменеве очищення проводили в спеціальній захисній камері, оснащений дробеструменевим апаратом нагнітального типу із змішувальною камерою, яка закінчується штуцером для резино-тканевого рукава з умовним проходом діаметром 32 мм.

Перед дробеструменевою обробкою зразки готували по прийнятій в хімічному машинобудуванні технології: піддавали термічній обробці в режимі нормалізаційного віджимання в муфельній печі. Для цього зразки уклали на печі так, щоб їх поверхні не стикалися, нагрівали до температури $850 \pm 20^\circ\text{C}$ із швидкістю 300 град/год, витримували при цій температурі протягом 20 хв і потім охолоджували в атмосфері спокійного повітря при температурі $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Далі зразки встановлювали в магазин лабораторної установки, де проводили дробеструменеве очищення цих поверхонь.

Виготовлення шліфів проводили відповідно до існуючої методики [26].

Дослідні шліфи вивчали під оптичним металографічному мікроскопом МИМ – 7 при різному збільшенні. Вивчення оброблених поверхонь шліфів під оптичним мікроскопом не давало повного уявлення про мікро механізм руйнування поверхневих шарів у зв'язку з тим, що граничне корисне збільшення його складало лише 800 крат. Отже, суб-мікрорельєф поверхні, який пов'язаний із механізмом пластичної деформації та руйнуванням і надає вирішальний вплив на технологічні властивості оброблених поверхонь та продуктивність процесу, не може бути вивчений у такий спосіб. Тому для вивчення характеру деформації та руйнування поверхневого шару металевих деталей за різних умов дробеструменевої обробки був використаний метод електронної мікроскопії. Перевага електронної мікроскопії полягає не тільки у великій роздільній здатності, оскільки мінімальна дозволяюча відстань становить 0,005...0,0008 мкм, але і великому корисному збільшенні (до 200 тис. разів), але і збільшеній глибині різкості, яка дозволяє спостерігати деталі виробу, відстань між якими по висоті доходить до 2 мкм.

Поверхня сталевих зразків, оброблених струменем дробу, досліджували за допомогою універсального електронного мікроскопа УЭМВ-100К. Для вивчення структури оброблених поверхонь використовували метод реплік.

Кут атаки α – це кут між центральною віссю дробеструменевого факела та дотичної до оброблюваної поверхні. Від правильного вибору кута атаки α залежить продуктивність дробеструменевого очищення, глибина профілю та

ступінь шаржування обробленої поверхні уламками дробу, тобто якість обробки, а також довговічність металевих гранул (дробу).

Впливи кута атаки на ступінь шаржування дробеструменевого очищення і якість обробленої поверхні вивчали при наступній налазці лабораторної дробеструменевої установки (рис. 2.9).

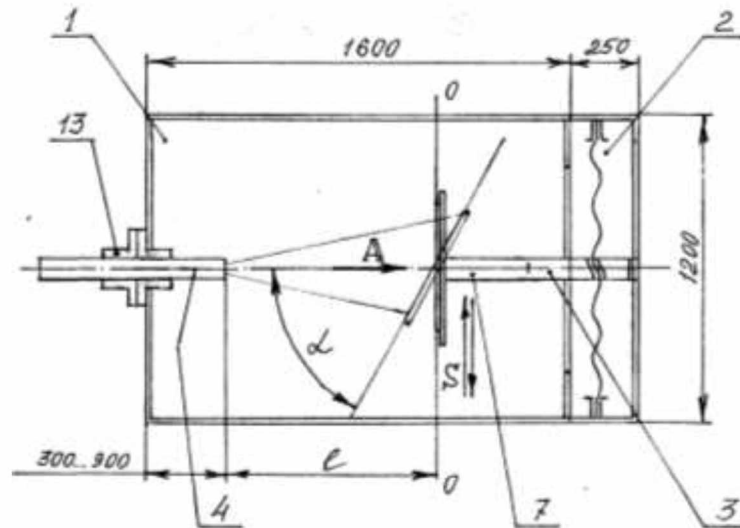


Рисунок 2.9 – Схема налаздки №1 лабораторної установки

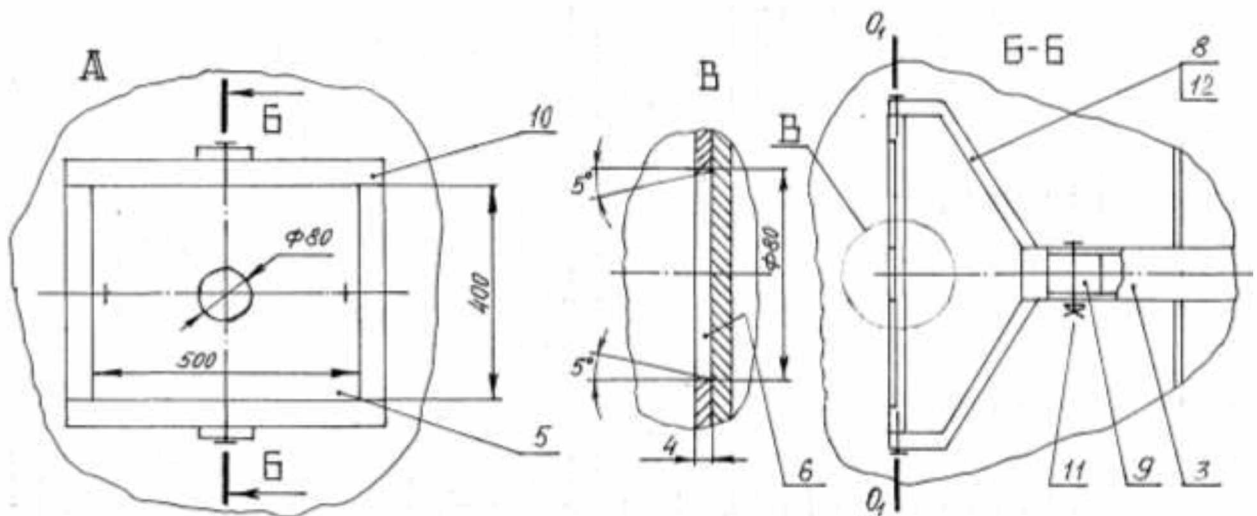


Рисунок 2.9 (продовження) – Схема налаздки №1 лабораторної дробеструменевої установки

Захисна камера 1 зображена в плані без витяжної парасольки. З правого боку до камери примикає механізм пересування оброблюваного виробу 2, який несе державку 3. Дробеструменеве сопло 4 введено в захисну камеру 1 по осі симетрії і розміщено на певній відстані l від поверхні досліджуваних зразків: плоского прямокутного 5 і дискового 6, закріплених на кронштейні 7.

Кронштейн 7 виконаний у вигляді скоби 8 з привареною цапфою 9, за допомогою якої приєднується до державки 3 і затискається болтовим з'єднанням 11. До скоби 8 двома гвинтами 12 по осі 01-01 прикріплена поворотна плита 10, що має паз, що профрезерується, для установки прямокутного зразка. Початкове положення плити 10 площина 0-0, перпендикулярна центральній осі дробеструменевого сопла 4. Якщо відпустити гвинти 12, то плиту 10 можна повертати навколо вертикальної осі O_1-O_1 .

Перед початком дробеструменевого очищення прямокутний плоский зразок 5, в отвір якого вставлений зважений дисковий зразок 6, розміщували в позі поворотної плити 10 і прикріплювали до неї двома болтами, як показано на рис. 2.10. Повертаючи плиту 10 навколо вертикальної осі O_1-O_1 встановлювали необхідний кут атаки α і потім затягували гвинти 12, жорстко прикріплюючи плиту 10 до скоби 8.

Дослідження проводили на наступних технологічних режимах дробеструменевого очищення:

- технологічний дріб – сталеве колена марки ДСК-17, фракція №1;
- кут атаки дробеструменевим факелом оброблюваної поверхні $\alpha = 30, 45, 60, 75, 90^\circ$;
- дробеструменеве сопло – циліндрове з діаметром матеріального отвору $d_{\text{мат}} = 8,0$ мм;
- відстань від сопла до оброблюваної поверхні $l = 300$ мм;
- швидкість пересування відбитку дробеструменевого факела щодо оброблюваної поверхні $S = 0,01$ м/хв;
- подача дробу до дробеструменевому сопла за одиницю часу $D_p = 25,0$ кг/хв.;
- надмірний тиск стислого повітря, яке подається на дробеструменевий апарат $p_{\text{изб}} = 0,6$ МПа.;
- витрата стислого повітря, приведена до нормальних умов $Q_B = 6$ нм³/хв;
- оброблювані вироби – плоскі прямокутні плитки розмірами 500x400

х4мм в центральний отвір яких вставлені плоскі диски діаметром 80 мм і товщиною 4 мм;

- матеріал зразків – листовою маловуглецева сталь 08;

- термічна обробка зразків перед дробеструменевим очищенням – нормалізаційне віджимання ;

- час обробки $\tau=20\ldots120$ с.

Таким чином, дробеструменеве очищення поверхні зразків проводили на змінних кутах атаки α , різному технологічному часі τ і при пересувних оброблюваних виробках.

Після проведення дробеструменевим очищення дискові зразки обдували теплим повітрям для видалення металевих пилю, що пристав, і зважували на аналітичних вагах для визначення втрати маси, а з обробленої поверхні знімали профілограми за допомогою профілометра-профілографа мод. 201. Ступінь шаржування обробленої поверхні уламками дробу визначали під оптичним мікроскопом. Втрату маси дробу перед очищенням і після очищення поверхні досліджуваних зразків від окалини і сепарації дробу, а також шляхом гранулометричної класифікації під оптичним мікроскопом.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз мікроструктури поверхневого шару обробленої поверхні

Якість захисного покриття в значній мірі залежить від стану таких поверхневих шарів деталі, які служать основою для захисного покриття [26].

Далі викладені результати металографічних досліджень, які істотно доповнюють і збагачують розглянуті раніше фізичні основи процесу дробеструменевого очищення, знання яких дає можливість впливати на якість оброблених поверхонь металевих деталей шляхом зміни технологічних режимів.

Результат металографічних досліджень поверхневого шару зразків із сталі 08, оброблених струменем дробу при різних режимах, говорять про те, що технологічні параметри дробеструменевого очищення впливають на мікроструктуру, мікротвердість та шаржування оброблюваної поверхні осколками дробу.

Із збільшенням кута атаки α від 30 до 90 (рис. 3.1) при постійній швидкості атаки $v=100$ м/с, часі дії струменя дробу $t=10$ с і подачі дробу через сопло $Q_c=30$ кг/хв рельєф обробленої поверхні змінюється досягаючи найбільшої розвиненості при $\alpha=45..75^\circ$. При цьому кількість заглиблених уламків дробу також змінюється. Найбільшому шаржуванню піддається поверхня, атакована під кутом $\alpha=75...90^\circ$. При таких кутах таки відбувається зміни механізму руйнування поверхневого шару – стружко утворення, який характеризується переважанням мікро різання при малих кутах атаки і втомного руйнування при великих кутах атаки. Це приводить до того, що осколки окремих дробинок не тільки залишаються на поверхні, але заглиблюються у глиб поверхневого шару, де закриваються пластичним мікро об'ємами металу, що деформуються.

Збільшення швидкості різання v від 40 до 100 м/с при постійному часі дії струменя дробу $t = 10$ с, подачі дробу $Q_c = 20$ кг/хв і кутах атаки $\alpha = 30$ і 60 град приводять до більшого розвиненого мікрорельєфу обробленої поверхні (рис. 3.2) і величини проникнення уламків дробу в глиб металу. При цьому вирішальне

значення має кут атаки α .

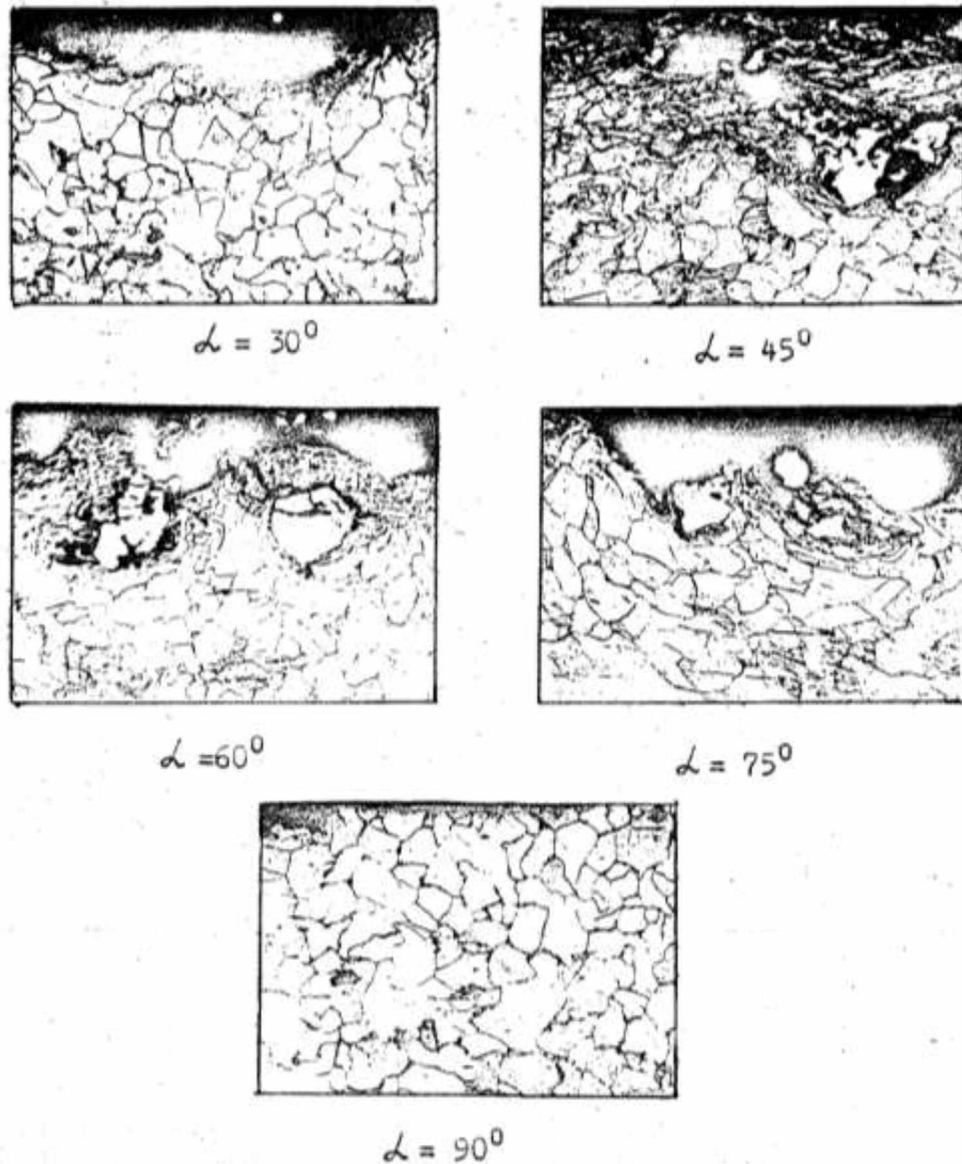


Рисунок 3.1 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 08 після нормалізаційного віджигу і дробеструменевої обробці при швидкості атаки $v=100\text{м/с}$, часу дії струменя $\tau=10\text{с}$, подачі дробу $Q_c=30\text{кг/хв}$ і різних кутах атаки α

Після закінчення 10 с дії струменя абразивних частинок (дробинок), що викидаються дробеструменевим соплом в кількості $Q_c = 20 \text{ кг/хв}$ під кутом атаки $\alpha = 30^\circ$ із швидкістю атаки $v = 100 \text{ м/с}$, подальший час обробітку помітного впливу на мікрорельєф поверхні, мікротвердість і шаржування поверхні уламків дробу не надає. Шорсткість поверхні, досягнута після 10 с обробки практично зберігається при подальшій обробці дробом (рис. 3.3).



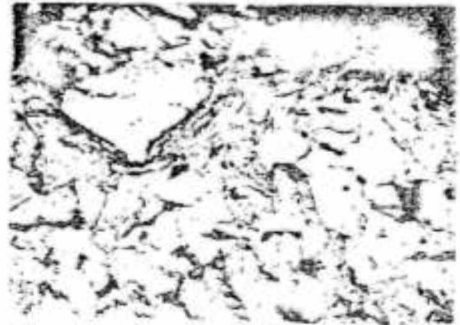
$\alpha = 30^\circ$



$\alpha = 45^\circ$



$\alpha = 75^\circ$

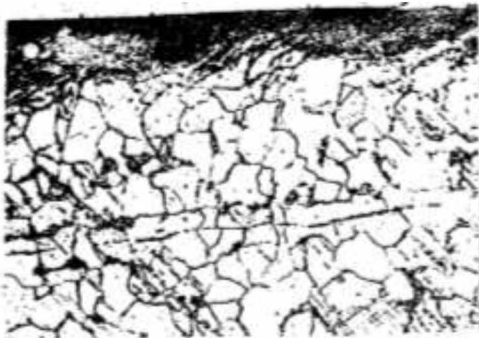


$\alpha = 60^\circ$

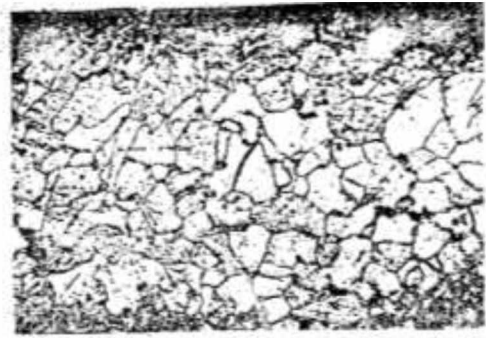


$\alpha = 90^\circ$

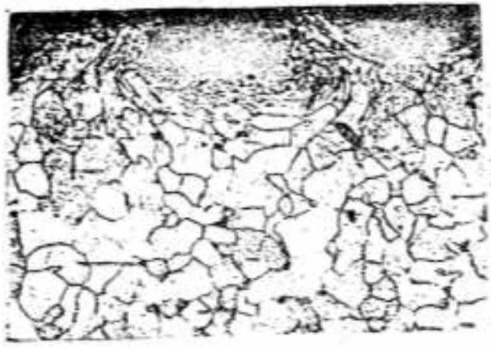
Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 08 після нормалізаційного віджигу і дробеструменевої обробці при швидкості атаки $v=100\text{м/с}$, часу дії струменя $\tau=10\text{с}$, подачі дробу $Q_c=20\text{кг/хв}$ і різних кутах атаки α



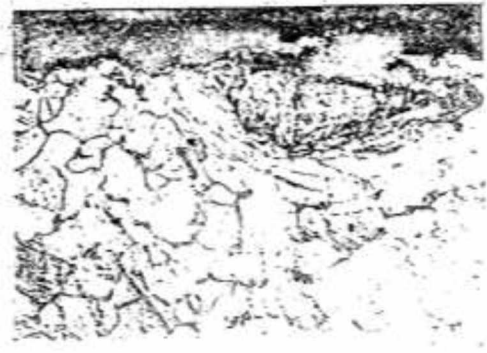
$t = 10\text{с}$



$t = 20\text{с}$



$t = 30c$



$t = 40c$

Рисунок 3.3 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 08 після нормалізаційного віджигу і дробеструменевої обробки при швидкості атаки $v=100\text{м/с}$, куті атаки $\alpha=30^\circ$, подачі дробу $Q_c = 20\text{кг/хв}$ і різному часі дії струменя t на оброблювану поверхню

Електронно-мікроскопічні дослідження поверхні дробеструменевих зразків свідчить про те, що на характер руйнування поверхневого шару основний вплив здійснює кут атаки та швидкість атаки (рис. 3.4 – 3.5).

При малих кутах атаки $\alpha \leq 30^\circ$ спостерігається пластична деформація поверхневого шару, проорювання абразивом (дробинками) борозенок у металі, відтиснення металу по краях подряпин і відділення частинок металу, яке характерний для мікро різання. Більшість дробинок при цьому змінюють свою траєкторію та обертаються навколо власної вісі.

Великі кути атаки $\alpha = 75 \dots 90$ сприяють значним пластичним деформаціям поверхневого шару, зсуву окремих кристалічних блоків металу по нормалі до оброблюваної поверхні та виникнення, за нашими спостереженнями, високих локальних температур, оскільки на фотографіях оброблюваної поверхні виразно видно оплавлені ділянки у місцях контакту дробу із оброблюваною поверхнею. Відділення частинок металу відбувається внаслідок багатократної пластичної деформації мікроділянок поверхні металу.

При середніх кутах атаки $\alpha=45 \dots 75$ разом із мікро різанням поверхня піддається істотній пластичній деформації. Це сприяє утворенню добре розвиненого мікрорельєфу обробленої поверхні. Це позитивно відбивається на

міцності зчеплення захисного неметалевого покриття із підкладкою, і великому зануренню уламків дроби, що негативно впливає на суцільність захисного неметалевого покриття. При цьому спостерігається значне шаржування поверхні осколками дроби в порівнянні з малими кутами атаки $\alpha \leq 30^\circ$.



1



2



3



4

1, 2 – $\alpha=30$, $v=40\text{м/с}$

3, 4 – $\alpha=45$, $v=50\text{м/с}$

Рисунок 3.4 – Електро-мікроскопічні фотографії поверхні сталі 08 після нормалізаційного віджигу і дробеструменевої обробки при куті атаки α і швидкості атаки v (збільш. $\times 1500$)



1



2



3

1, 2 – $\alpha=60^\circ$, $v=60\text{м/с}$,



4

3, 4 – $\alpha=90^\circ$, $v=100\text{м/с}$

Рисунок 3.5 – Електромікроскопічні фотографії поверхні сталі 10сп після нормалізаційного віджигу і дробеструменевої обробки при куті атаки α і швидкості атаки v (збільш. $\times 1500$)

Проведені металографічні і електронно-мікроскопічні дослідження свідчать про те, що технологічні режими дробеструменевої обробки з метою очищення поверхні сталевих зразків, підданих термічній обробці в режимі нормалізаційного віджимання, роблять істотний вплив на якість обробленої поверхні (шорсткість, структуру, твердість та шаржування поверхневого шару осколками дробу).

3.2 Експериментальні дані кількості занурених уламків дробу

У процесі дробеструменевої обробки дробинки постійно подрібнюється унаслідок ударного та абразивного зношування. Високі швидкості атаки оброблюваної поверхні $v=100\dots 200$ м/с пред'являють до дробу вельми жорсткі вимоги до його зносостійкості.

Технічний дріб повинен бути достатньо міцним, твердим та довговічним, щоб проводити обробку поверхні певний проміжок часу, та в той же час бути в міру крихким, щоб у процесі зношування постійно оновлювати свої ріжучі мікро-кромки. Підтримувати такий динамічний баланс за інтенсивних умов

очищення є достатньо не простим технологічним завданням.

Оскільки зношування дробинок відбувається внаслідок розколювання їх під час удару по оброблюваній поверхні на декілька частинок; внаслідок відколювання дрібних уламків дробу; внаслідок відламування ріжучих кромek дробинок, що застрягли в оброблюваній поверхні; внаслідок тертя дробинок по оброблюваній поверхні, яка викликає високі контактні температури в локальних мікро об'ємах поверхні; внаслідок оплавлення мікрорельєфу дробинок при ковзанні.

Велика частина уламків дробу, що утворюються в процесі дробеструменевого очищення, віддаляється із зони обробки разом з відпрацьованим дробом та потім відділяється від неї сепарацією. Проте деяка кількість уламків (осколків) залишаються заглибленими в оброблену поверхню, тобто шаржують оброблювану поверхню. Вони представляють серйозну небезпеку для майбутнього захисного покриття з наступної причини. Хімічний склад матеріалу поверхневого шару оброблюваної деталі та уламків дробу різний. Різні електродні потенціали двох різнорідних матеріалів приводять до виникнення вогнищ електрохімічної корозії, що згодом стають місцями втрати схильності захисного покриття. Добитися технологічної відповідності (однакового хімічного складу) оброблюваного і обробляючого матеріалів не представляється можливим, тому що тільки інший хімічний склад забезпечує дробу необхідну ріжучу здатність. Тому перед нанесенням ґрунту захисного покриття удаються до додаткової обробки продробеструменевої поверхні абразивним матеріалом – вторинним дробом, хімічний склад якої ідентичний хімічному складу покриття, а ріжучі здібностями істотно гірше, ніж у первинного дробу, з метою видалити з поверхні вкраплені осколки первинного дробу. Це підвищує технологічну собівартість очищення, проте гарантує високу якість захисного покриття.

Результати металографічних досліджень поверхневого шару плоских зразків із сталі марки 08, підданих нормалізаційному відпалюванню, а потім оброблених струменем дробу, свідчить про те, що технологічні параметри

дробеструменевого очищення впливають на ступінь шаржування оброблюваної поверхні осколками дроби. В табл. 3.1 – 3.4 наведені дані про кількість заглиблених уламків дроби на одиницю площі 1мм^2 залежно від швидкості атаки дробом оброблюваної поверхні, кута атаки, фракційного складу, маси дробинки і часу відробітку. Зразки обробляли за допомогою дробеструменевого апарату нагнітального типу, в якому підтримували абсолютний тиск стислого повітря $p_a=0,6$ МПа.

Таблиця 3.1 – Кількість впроваджених уламків дроби ДСК-17, фракція №1 на 1мм^2 очищеної від окалини поверхні зразка із сталі 08 при різних швидкостях атаки v

Кут атаки α , град	Швидкість атаки v , м/с				
	50	80	100	120	160
60	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5

Таблиця 3.2 – Кількість заглиблених уламків дроби ДСК-17, фракція №1 на 1мм^2 очищеної від окалини поверхні зразка із сталі 08 при різних кутах атаки α

Швидкість атаки v , м/с	Кут атаки α , град				
	30	45	60	75	90
100	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5

Таблиця 3.3 – Кількість заглиблених уламків дроби ДСК-17, фракція №1 на 1мм^2 очищеної від окалини поверхні зразка із сталі 08 при $\alpha = 60$ град і різному фракційному складі дроби d

Швидкість атаки v , м/с	Діаметр сфери, описаної навколо дроби d , мм				
	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
100	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5

Таблиця 3.4 – Кількість заглиблених уламків дроби ДСК-17, фракція №1 на 1мм^2 очищеної від окалини поверхні зразка із сталі 10 при $\alpha = 60$ град і

різному часу обробки t

Швидкість атаки $v, \text{м/с}$	Час обробки $t, \text{с}$				
	3	5	8	10	16
100	1,0	1,5	2,0	2,0	2,0

При обробці використовували циліндрове дробеструменеве сопло з мінерало-кераміки з діаметром матеріального отвору $d_m = 10$ мм, яке забезпечує подачу дробу в кількості $Q_c = 20$ кг/хв. Необхідну швидкість атаки досягали шляхом зміни відстані від сопла до оброблюваної поверхні. Застосовували найбільш розповсюджений сталевий колений дріб марки ДСК- 17 фракцій від 0,5 до 2,0.

На основі проведених металографічних досліджень вдалося встановити, що геометричні розміри уламків дробу діаметру описаної сфери, коливаються від декількох до десятків мкм. Максимальні розміри уламків складають $d_o = 50$ мкм. Співвідношення дрібних і крупних уламків становить 5:1. Було також встановлено, що приблизно 20 % дрібних уламків дробу є повністю замуrowаними в поверхневому шарі і не стирчать назовні. уламки вдалося виявити тільки на шліфах, вирізаних із оброблених зразків.

3.3 Теоретичні залежності ступеня шаржування обробленої поверхні

Розглянемо експериментально-теоретичні залежності, за допомогою яких можна оцінити ступінь шаржування обробленої поверхні осколками дробу.

При поверхневій продуктивності дробеструменевого сопла Q_f , коли повністю віддаляється дефектний шар завтовшки δ , час t на очищення оброблюваної поверхні складемо [29]:

$$t = \frac{1}{Q_f}. \quad (3.1)$$

За час t дробеструменеве сопло викине на оброблювану поверхню N_t

дробинок

$$N_t = \frac{tQ_c}{m}, \quad (3.2)$$

де t - час обробки 1 м^2 за с;

Q_c - подача дробеструменевого сопла, кг/с;

m - маса однієї дробинки, кг/ шт.

Якщо прийняти, що при ударі об поверхню від дробу відділяються Z уламків, то загальна кількість уламків N_z , що утворюються, які потенційно можуть шаржувати оброблювану поверхню площею 1 м^2 , буде пропорційна кількості дробинок N_t , тобто

$$N_z = zN_t = \frac{ztQ_c}{m}. \quad (3.3)$$

4 РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1 Екологічна експертиза

Всі відомі методи та способи підготовки поверхні сталевих виробів та деталей машин під захисні неметалеві покриття можна розділити на три основні групи [44]:

- хімічні;
- фізичні;
- механічні.

Розглядаючи наведені способи очищення металевої поверхні із погляду екологічної безпеки можна відзначити наступне [36, 37].

Хімічні методи передбачають знежирення у лужних розчинах або органічних розчинниках із послідувальним травленням у розчинах мінеральних кислот, промивку, нейтралізацію та сушку виробів. Для їх здійснення застосовують водні розчини лугів та кислот, а також і органічних розчинників різного складу. Хімічні способи дозволяють повністю автоматизувати процес очищення металевих виробів. Проте вони мають істотні недоліки – робота з вогнебезпечними, легко летучими, отруйними органічними рідинами і з агресивними кислотами і лугами приводить до забруднення навколишнього середовища. Це вимагає додаткових заходів щодо охорони праці, очисних споруд, а також спеціальних конструкційних матеріалів для ванн травлення. Тому, як у нас в країні, так і за кордоном, спостерігається стійка тенденція по заміні хімічних способів іншими менш шкідливими для навколишнього середовища.

4.1 Охорона праці та безпека з надзвичайних ситуацій

Обробка дробом сталевих деталей типу тіл обертання, тобто сталевих циліндрових деталей, на які нанесено силікатне покриття, здійснюється на дробеструминних пристроях. Тому розглянемо основні правила техніки безпеки, яка стосується дробеструменевих робіт [7].

Робота на дробеструменевих апаратах може супроводжуватися наявністю ряду шкідливих і небезпечних виробничих чинників, зокрема:

- електричний струм;
- абразивний пил;
- аерозолі змащувально-охолоджуючих рідин;
- відлітаючі шматочки абразивного матеріалу і оброблюваних деталей;
- висока температура поверхні оброблюваних деталей і інструменту;
- підвищений шум вібрації;
- рухомі механізми, заготовки, що пересуваються, вироби, матеріали;
- недостатня освітленість робочого місця;
- наявність прямої і відбитої блекості;
- підвищена пульсація світлового потоку.

Загальні вимоги безпеки.

До самостійної роботи на дробеструменевих апаратах допускається навчений персонал, що пройшов медичний огляд, інструктаж по охороні праці на робочому місці, ознайомлений з правилами пожежної безпеки і такий, що засвоїв безпечні прийоми роботи.

Робітникам дозволяється працювати тільки на дробеструменевих апаратах, до яких він допущений, і виконувати роботу, яка доручена йому керівником ділянки або цеху.

Робочий, який обслуговує шліфувальні верстати, повинен мати: костюм бавовняний або напівкомбінезон, окуляри захисні, черевики.

Якщо підлога слизька (облита маслом або емульсією), робочий зобов'язаний вимагати, щоб підлогу посипали тирсою, або зробити це самому.

Оператору забороняється:

- використовувати несправні абразивні інструменти;
- працювати за відсутності на підлозі під ногами дерев'яних ґрат по довжині верстата, що виключає попадання взуття між рейками і забезпечує вільне проходження стружки;
- працювати на верстаті з обірваним заземлюючим дротом, за

відсутності або несправності блокуючих пристроїв;

- стояти і проходити під піднятим вантажем;
- проходити в місцях, не призначених для проходу людей;
- заходити без дозволу за огорожі технологічного устаткування;
- знімати огорожі небезпечних зон;
- мити руки в емульсії, маслі, тощо і витирати їх обтиральними кінцями,

забрудненими стружкою.

Про будь-який нещасний випадок негайно повідомити майстра і звернутися в медичний пункт.

4.2 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Пристрої, що перемішують, тобто мішалки, ємкісних апаратів, є одним з найважливіших вузлів, які забезпечують надійність і довговічність роботи не тільки окремого апарату, але і всієї технологічної лінії того, що переробляє виробництв. Використання високолегованих сталей і сплавів для виготовлення мішалок економічно невигідно і невиправдано, оскільки мішалки з цих матеріалів вельми дорогі і менш довговічні, чим емальовані мішалки із звичайних вуглецевих сталей. До того ж сталі приводять до забруднення продукту, що переробляється, корозійним шламом, що неприпустимо [5].

Проведені дослідження процесу очищення емальованих валів показали технічну можливість і економічну доцільність застосування абразивно-алмазного інструменту для механічної обробки шийок валів мішалок.

Для розрахунку приймаємо очищену мішалку середніх розмірів ємнісного апарату РС-3200, який серійно виготовляються машинобудівними заводами.

Загальний річний економічний ефект визначається за формулою [6]:

$$\mathcal{E} = B[C_1(T_2/T_1) - C_2], \quad (4.1)$$

де B – річна потреба переробних підприємствах в ємнісних апаратах, тобто в емальованих мішалках, $B=109$ шт;

C_1 – фактична собівартість емальованих мішалок з нешліфованими

шийками валів, $C_1=2010$ грн;

C_2 – фактична собівартість емальованих мішалок з шліфованими шийками валів, $C_2=2150$ грн;

T_1 – термін служби опор ковзання для апаратів, на яких встановлені емальовані мішалки з нешліфованими шийками валів, $T_1= 900$ годин;

T_2 – термін служби опор ковзання для апаратів, на яких встановлені емальовані мішалки з шліфованими шийками валів, $T_2=1200$ годин.

Після підстановки числових значень отримуємо

$$\dot{Y} = 109[2010(1200/900) - 2150] = 57770 \text{ грн.}$$

Умовно - річна економія складає

$$\dot{Y}_{\bar{\alpha}} = \dot{Y} - \dot{A}_i \hat{e}, \quad (4.2)$$

де E_H – нормативний коефіцієнт капітальних витрат, $E_H=0,33$;

κ – капітальні витрати машинобудівного заводу на розробку, виготовлення і монтаж токарно-гвинторізного верстата для механічної обробки шийок валів емальованих мішалок $\kappa=82000$ грн.

Тоді

$$\dot{Y}_{\bar{\alpha}} = 57770 - 0,33 \cdot 82000 = 30710 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних витрат

$$\dot{O}_{ie} = \frac{\hat{e}}{\dot{Y}_{\bar{\alpha}}} = \frac{82000}{30710} = 2,7 \text{ року.} \quad (4.3)$$

Розрахунок не враховує економію від випуску емальованими апаратами продуктів, що переробляються, за рахунок зменшення часу простоїв.

ВИСНОВКИ

Теоретичні та практичні результати, які отримані в результаті виконання магістерської роботи зводяться до слідуючого:

1. В роботі розглянуто особливості використання та проведено аналіз операцій дробоструминної обробки для застосування в технологічному процесі виготовлення металевих деталей машинобудівного виробництва.

2. Досліджено технологічний процес виготовлення замка з'єднувального головки пневматично гальмівної системи з метою впровадження абразиво-струменевої операції для заміни існуючої. Дана операція підвищить ефективність технологічного процесу обробки шляхом зменшення часу її виконання у 1,8 рази.

3. Проведений аналіз стану металевих поверхонь деталей на прикладі замка з'єднувальної головки пневматичної гальмівної системи, до і після абразиво-струменевої обробки, показав, що в процесі виконання даної операції спостерігається зміна шорсткості поверхні, що обробляється із R_a 45 на необхідну R_a 12,5. При зміні технологічних режимів таких як тиск надлишкового потоку суміші повітря з абразивом, гранулометричного складу абразиву та тривалості обробки забезпечується зміна якості оброблених поверхонь.