

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

« магістр »

бакалавр, магістр

на тему: «Дослідження швидкісних показників процесу струминно-абразивної обробки металевої поверхні»

КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-професійною програмою

Машини і засоби механізації

сільськогосподарського виробництва

спеціальності 133 Галузеве

машинобудування

ступеня вищої освіти «магістр» групи

133ГМмд_23

Рудченко Олексій Олексійович

Керівник: д.т.н., професор Горик О.В.

Полтава – 2023 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 5 розділів, 21 рис., 8 табл., 42 літературних джерел, 66 сторінок.

Об'єкт дослідження – технологічний процес струминно-абразивної обробки металевих зразків.

Предмет розробки – взаємозв'язки та закономірності руху технічного дробу від дробоструменевого сопла до оброблюваної поверхні.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – встановити залежності пересування сталевих колених дробу в атмосфері спокійного повітря, який широко використовується в якості абразивних частинок при струминно-абразивній обробці поверхні алюмінієвих виробів в машинобудуванні.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра – полягає у можливості в заводських умовах визначати швидкісні показники технічного дробу від струминного сопла до оброблюваної металевої поверхні.

У **першому розділі** розглянуті можливості застосування технології струминно-абразивної обробки, приведений аналіз методів оздоблюваної обробки виробів.

У **другому розділі** визначені технологічні параметри струминно-абразивної обробки та запропоновано математичну модель руху сталевих колених дробинок в атмосфері спокійного повітря.

У **третьому розділі** представлена загальна методика проведення експериментів, що проводилися в заводських умовах на базі ВАТ «Полтавський автоагрегатний завод», прилади та вимірювальна апаратура, що використовуються при дослідженнях, викладені методики досліджень та обробки експериментальних даних.

У **четвертому розділі** викладено результати експериментальних досліджень та перевірки відповідності теоретичних залежностей отриманим даним.

У **п'ятому розділі** розглянуті питання екологічної безпеки та запропоновані заходи з охорони праці, зроблений аналіз техніко-економічного обґрунтування струминно-абразивного модуля.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичні результати роботи – полягають у забезпеченні можливості, на основі отриманих експериментальних даних, комплексно оцінювати швидкісні показники струминно-абразивної обробки.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – використання запропонованого технічного рішення на струминно-абразивний модуль, може бути використане механічними майстернями при ремонті сільськогосподарської техніки.

Сфера застосування результатів роботи – агропромислове і машинобудівне виробництво.

Основні результати роботи обговорювалися на студентських наукових конференціях Полтавського державного аграрного університету.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 8 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу Unicheck: унікальність тексту – 91,81%.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена прикладним дослідженням швидкісних показників технологічного процесу струминно-абразивної обробки металевих деталей.

СТРУМИННО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА, ШВИДКІСТЬ ВИТІКАННЯ, КОЛЕНИЙ ДРІБ, УСТАНОВКА. ДОСЛІДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, МОДУЛЬ.

ANNOTATION

The master's qualification work is devoted to applied studies of speed indicators of the technological process of jet-abrasive processing of metal parts.

ABRASIVES BLASTING, LEAK VELOCITY, KNEE FLASH, INSTALLATION. RESEARCH, LABOR PROTECTION, MODULE.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1 Огляд струминно-абразивних методів обробки виробів та деталей.....	8
1.2 Обробка поверхні дробом. Класифікація та виробництво дробу	15
1.3 Сутність струминної обробки.....	19
1.4 Струминні сопла.....	20
Висновки до розділу	20
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
2.1 Технологічні параметри абразивоструминної обробки.....	22
2.2 Математична модель руху дробинки в атмосфері спокійного повітря	24
3 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	29
3.1 Описання лабораторної установки	29
3.2 Визначення швидкості руху дробу у факелі.....	32
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	37
4.1 Дослідження швидкості вильоту дробинок.....	37
4.2 Результати експериментальних досліджень швидкості руху дробу в струменевому факелі	39
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45
5.1 Екологічна експертиза	45
5.2 Охорона праці	46
5.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки.....	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
Список джерел посилання.....	54

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Обробка абразивом – найбільш досконалий із існуючих сьогодні способів очистки металу: за продуктивністю установок, умовами працівників, області застосування і якості очищеної металевої поверхні. Його застосовують для руйнування поверхневого шару від іржі, окалини, пригару, окису, формувальних сумішей, лакофарбових покриттів та ін.

Струминно-абразивний процес обробки поверхні окрім очищення поверхні задає їй певної необхідної шорсткості перед нанесенням захисних покриттів, крім того ще й може виконувати функцію поверхневого зміцнення поверхні металів.

При струминно-абразивній обробці абразивні частинки (дробинки) розганяються до необхідної швидкості через спрофільовані спеціальні канали, що називаються соплами за допомогою енергії стиснутого повітря. Щоб завдяки повітряно-абразивному факелу, який вилітає із сопла, забезпечити ефективність обробки, вимагається професійна майстерність, сучасне обладнання і прилади для перевірки якості оброблюваної поверхні. Кожний елемент впливає на результат всієї роботи технологічної технічної системи струминно-абразивної обробки.

Одним із головних параметрів струминно-абразивної обробки є швидкість атаки дробинок оброблюваної поверхні. Досягнення максимальної продуктивності обробки, яка забезпечує найбільшу стійкість та довговічність дробу, що використовується, і необхідні параметри якості оброблюваної поверхні, можливе лише при раціональній швидкості атаки.

Для цього необхідно знати закон зміни швидкості руху дробинок в атмосфері навколишнього повітря у залежності від швидкості вильоту дробинок із струминного сопла та пройденої відстані до оброблюваної поверхні деталі. Це дає можливість встановити необхідну відстань від струминного сопла до оброблюваної металевої поверхні, яка забезпечує оптимальну швидкість атаки v . Проте характер зміни швидкості руху дробинок недостатньо досліджений.

Мета роботи – встановити залежності пересування сталевого коленого дробу в атмосфері спокійного повітря, який широко використовується в якості абразивних частинок при струминно-абразивній обробці поверхні алюмінієвих

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробів в машинобудуванні.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні задачі:

- Розглянути можливості застосування технології струминно-абразивної обробки.
- Встановити особливості впливу витікання повітря з циліндричного сопла на швидкість вильоту дробинок.
- Розробити математичну модель руху дробинки в атмосфері спокійного повітря.
- Провести експериментальні дослідження швидкості руху технічного дробу в атмосфері навколишнього повітря, в залежності від пройденої відстані.
- Розробка практичних рекомендацій щодо реалізації результатів роботи.

Об'єкт дослідження – технологічний процес струминно-абразивної обробки металевих деталей.

Предмет дослідження – взаємозв'язки та закономірності руху технічного дробу від струминного сопла до оброблюваної поверхні.

Наукова новизна:

Встановлений характер зміни швидкості руху дробинок в атмосфері навколишнього повітря в залежності від пройденої відстані.

Теоретична та практична значущість:

1. Результати обґрунтування вибору технологічних режимів струминно-абразивної обробки для забезпечення якісної підготовки металевої поверхні алюмінієвих виробів під захисне неметалеве покриття.

2. Запропоноване технічне рішення на струминно-абразивний модуль, що може бути використаний механічними майстернями при ремонті сільськогосподарської техніки.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд струминно-абразивних методів обробки виробів та деталей

Технологія струминного оброблення різноманітних виробів абразивом характеризується великими можливостями в порівнянні із існуючими класичними методами абразивного оброблення [1].

При виготовленні деталей та виробів різної форми виникають певні дефекти, наприклад, окалина, задирки, припіки, зварювальний флюс, велика пористкість поверхні після лиття, гострі кромки. Ці недоліки та дефекти необхідно усувати, оскільки вони можуть спричиняти значні проблеми в подальшій технологічній обробці або ж експлуатації. Як приклад, подальша обробка деталей та виробів – це фарбування або лакування підготовленої поверхні, гальванічна обробка та багато ін. Також, вироби, що будуть експлуатуватися з вище вказаними дефектами, будуть працювати неефективно і не надійно.

Технологія струминно-абразивної обробки поверхонь відома та використовувалась в автомобільній та авіаційній промисловості для покращення довговічності деталей ще в 30-40 роках ХХ століття [2]. Перша згадка про струминну обробку з'явилася в 1943 році коли Алмен в дослідній лабораторії Дженерал Моторс розробив метод контролю. Проте певний час його важко було довести до широкого використання в промисловості. Лише відносно недавно в 1980-90 роках даний метод обробки набув широкого використання та популярності. Абразиво-струминна обробка застосується в тих випадках, де необхідно з малими затратами, якісно та ефективно провести підготовку металевої поверхні, а саме очистити її від іржі, окалини, старих лакофарбових покриттів, залишків формувальної землі на відливках, припиків, задирків, різного роду забруднень, очищення зварних швів, створення мікрокишень для змащення та ін. На рисунку 1.1 приведено класифікація схему, що демонструє різноманітність методів абразиво-струминного оброблення деталей та виробів різноманітної форми [3].

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

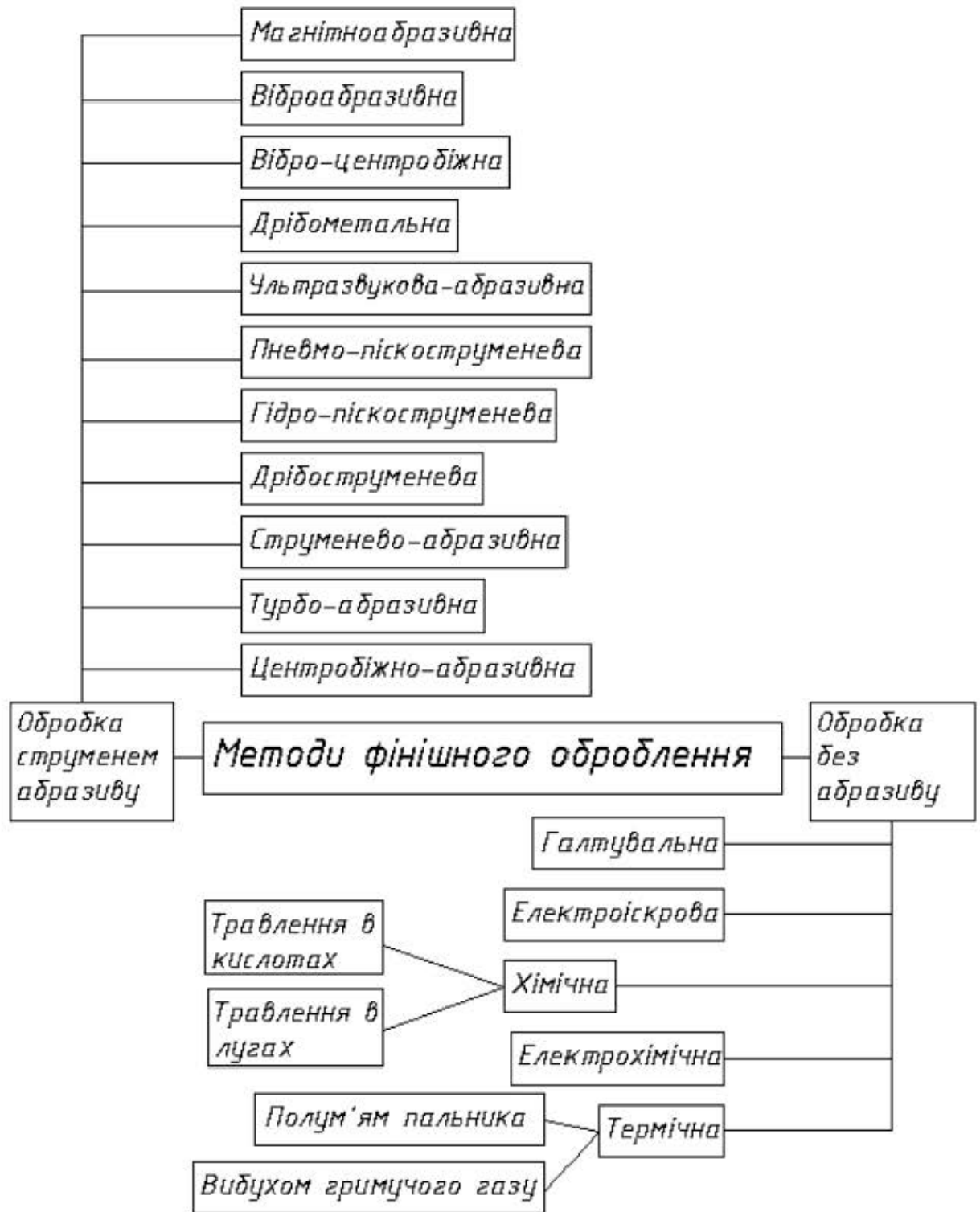


Рисунок 1.1 – Методи оздоблюваної (фінішної) обробки виробів

Процеси, які використовують ефект удару частинок абразиву об поверхню виробів, що обробляється, здійснюються наступними способами: удар абразивною часткою; удар абразивно-рідинним струменем; вплив на оброблювану поверхню частинок абразиву, що знаходяться під підвищеним статичним

рахунок кінетичної енергії частинок абразиву. Абразивні частинки (дробинки) в процесі ударного взаємодії з оброблюваною поверхнею зношуються, їх робочі грані округляються, що призводить з часом до зниження загальної абразивної здатності [4-6].

Ультразвукова обробка [7, 8] поверхні заснована на ефекті збільшення ерозійної і кавітаційної активності звукового поля при додаванні в рідину дрібних абразивних зерен, розмір яких можна порівняти з радіусом дії ударної хвилі, що виникає при закритті кавітаційної порожнини (2 - 90 мкм). Крім чисто кавітаційного руйнування найбільш слабких ділянок деталей відбувається додаткова їх обробка абразивними зернами.

Продуктивність ультразвукової обробки в значній мірі залежить від частоти і амплітуди коливань, фізико-механічних властивостей матеріалів, робочого інструмента, зернистості абразиву, циркуляції і зміни абразиву в робочій зоні і навантаження на інструмент. Основний недолік ультразвукового способу обробки згідно [9] – істотне зменшення продуктивності процесу в міру збільшення глибини обробки, великий знос інструменту і невелика продуктивність при обробці заготовок з твердих міцних сплавів.

Віб्रोабразивне оброблення деталей використовується для обробки виробів широкої номенклатури і розмірів і застосовується для виконання таких операцій, як очищення литих заготовок; видалення облою; очищення від окалини і корозії заготовок; округлення і полірування гострих кромки; очищення і обробка поверхні для підготовки її під гальванічне і лакофарбове покриття; поверхневий наклеп; зміна залишкових напружень; обробка деталей після певного періоду їх експлуатації (очищення від нагару, налиплого формувального ґрунту) [10].

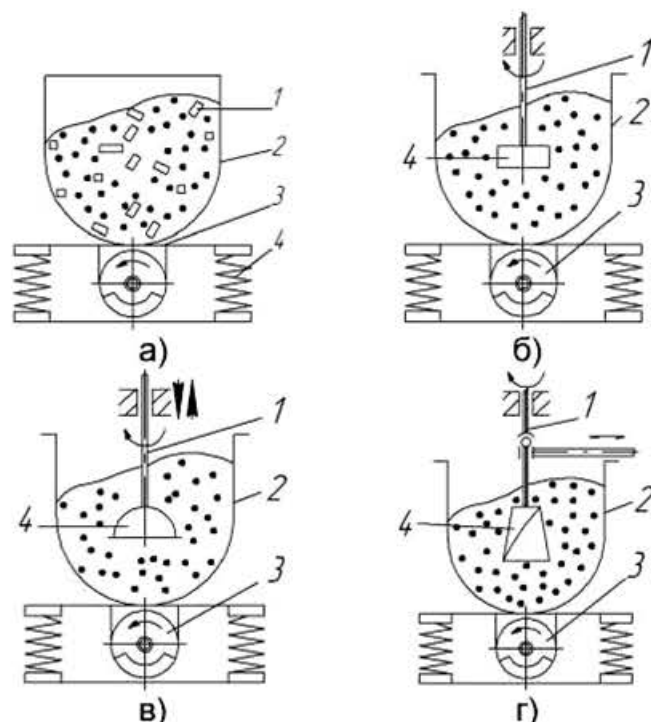
Сутність вібробразивної обробки полягає в послідовному нанесенні на поверхню оброблюваних виробів великого числа мікроударів гранулами шліфматеріалу під дією спрямованих вібрацій, що надаються робочій камері [11].

Знімання металу проводиться внаслідок механічного або механо-хімічного диспергування найдрібніших частинок металу і його окислів з оброблюваної поверхні абразивними гранулами.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Схема вібраційної обробки представлена на рис. 1.3, а. Оброблювані деталі 1 завантажують в робочу камеру 2, яка заповнена шліфувальним матеріалом і встановлена на підставі 3, що підвішений на пружинах 4. Робочій камері надають від вібробудника осцилюючого руху. Під дією вібрації деталі і шліфувальний матеріал приходять в інтенсивне відносне переміщення, здійснюючи два види рухів: коливання, а також повільне обертання масиву завантаження. В процесі обробки вироби переорієнтуються і проходять різні зони робочої камери, що забезпечує досить рівномірну обробку всіх поверхонь [12].

До теперішнього часу розроблено та впроваджено безліч різних за конструкцією вібраційних агрегатів. В якості робочого середовища застосовують подрібнені відходи шліфувальних кругів, гальку, деревина або дріб розмірами (фракції) 3-5 мм [13].



а – обробка деталей в навал; б, в, г – шпиндельна віброабразивна обробка

Рисунок 1.3 – Схеми вібраційної обробки деталей та виробів

Процес вібраційного оброблення деталей, що мають форму тіл обертання (втулок, кілець, зубчастих коліс), здійснюється за допомогою пристосувань. Деталь закріплюють на шпинделі верстата і надають йому обертання із зануренням в шліфувальний матеріал робочої камери установки. Подібна обробка

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

отримала назву шпиндельного вібраційного оброблення. Схеми зазначеної обробки наведені на рис. 1.3, б, в, г [12].

У шпинделі верстата закріплюють оправу 1 з деталями і занурюють в камеру 2, яка отримує вібрації від приводу 3. Оброблювані деталі 4, встановлені на оправці обертаються, а на шліфувальний матеріал, який знаходиться в камері, впливають вібраціями. Внаслідок високих відносних швидкостей деталей і шліфувального матеріалу продуктивність шпиндельної віброабразивної обробки в десятки разів перевищує звичайний процес віброобробки [14].

Абразивні частки в процесі ударного взаємодії з оброблюваною поверхнею зношуються, їх робочі грані округляються. А це призводить з часом до зниження загальної абразивної здатності. Хоча руйнування абразивних частинок при гідроструминній обробці протікає в десятки разів повільніше, ніж при пікоструминній обробці, що пояснюється демпфіруючою дією робочого середовища, термін служби суспензії невеликий і становить до 10 циклів або до 100 годин роботи [15]. Невеликий час та незначні контактні зусилля ударної взаємодії зерен з оброблюваною поверхнею під час гідро струминній обробці, а також винесення тепла із зони обробки потоком рідини обумовлюють низькотемпературний характер процесу. При цьому повністю виключається можливість теплових і механічних деформацій деталі [16].

Стан поверхневого шару після оздоблюваних та фінішних методів обробки характеризується в основному параметрами шорсткості R_a або R_z , залишковими напруженнями σ і наклепом - глибиною і ступенем зміцнення.

Шорсткість поверхні після струминної обробки головним чином залежить від вихідної шорсткості; швидкості та кута атаки і розміру абразивних частинок; часу процесу обробки. Роботи авторів [17, 18] показали, що залежність шорсткості обробленої поверхні від розмірів абразивних частинок є лінійною. Зі збільшенням тиску повітря на вході в активне струминне сопло від 0,1 до 0,6 МПа значення параметру R_a збільшуються приблизно на 35 - 60% незалежно від зернистості частинок абразиву. Зі збільшенням відстані від зрізу струминного сопла до оброблюваної поверхні в інтервалі 30 – 160 мм шорсткість R_a

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшується десь приблизно на 35 - 45%. Це пояснюється зниженням швидкості руху абразивних частинок. Залежність шорсткості поверхні R_a від кута атаки α носить ступінчастий характер. Зі збільшенням кута атаки α від 15 до 45 градусів шорсткість поверхні R_a збільшується, а потім не змінюється.

Проведені дослідження в роботі [19] показали, що при будь-якому поєднанні варійованих технологічних параметрів в поверхневому шарі оброблюваного виробу формуються залишкові напруження стиску без підшарового максимуму.

Наявність значних залишкових напружень стиску при малому ступені деформаційного зміцнення обумовлює підвищену стійкість поверхневого шару виробів до утворення мікротріщин в умовах підвищених температур і знакозмінних навантажень [20].

Продуктивність піскоструминного очищення залежить від об'єму повітря і тиску в соплі, а також від характеристик і властивостей абразивного матеріалу.

Прагнення до інтенсифікації та підвищення продуктивності процесу очищення змушує застосовувати струминні сопла більшого діаметру і більш високий тиск суміші [21]. При цьому збільшення діаметра сопла і витрати при збереженні тиску призводить головним чином до збільшення продуктивності очищення, а збільшення тиску і витрати – до підвищення якості очищення.

Необхідно підтримувати оптимальне дозування абразиву частинок. Проте така інтенсифікація процесу веде до підвищення шорсткості і швидкого зношування обладнання, тому матеріали, із яких виготовляють сопла, повинні мати підвищену зносостійкість і довговічність. В даний час для виготовлення сопел струминних апаратів широко використовують тверді сплави і металокераміку. Стійкість таких сопел становить близько 100-120 годин [22]. У кілька разів більшу стійкість мають сопла з карбіду бору або карбіду вольфраму, проте їх вартість значно висока.

Для перетворення потенційної енергії стисненого повітря на кінетичну енергію потоку абразивних частинок (дробу) використовують апарати двох систем - всмоктувальної та нагнітальної.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

В обох системах кількість абразиву, що подається до поверхні, що очищається в одиницю часу, не регулюється і в основному залежить від тиску повітря в магістралі, конструкції і діаметра проточної частини сопла і типу абразиву. У табл. 1.1 представлені дані, що характеризують вплив діаметра сопла на витрату абразиву.

Таблиця 1.1 – Витрата абразиву (кг/год) при тиску повітря 4-6 кгс/см²

Абразив - дріб, пісок	Діаметр сопла, мм								
	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Чавунний	100	135	185	230	280	345	400	460	530
Кварцевий	40	55	75	95	115	140	160	185	215

1.2 Обробка поверхні дробом. Класифікація та виробництво дробу

Основні характеристики дробу, що застосовується для обробки, ділять на технологічні та експлуатаційні. До технологічних характеристик відносяться продуктивність і здатність дробу забезпечувати необхідну якість оброблюваної поверхні; до експлуатаційних - довговічність, обумовлена опором дробу на розколювання і абразивного зношування, вплив на зношування деталей очисних апаратів.

Технологічні характеристики дробу визначаються її фізико-механічними властивостями, розмірами і формою. Експлуатаційні характеристики залежать від матеріалу дробу, його мікроструктури, форми, розмірів та надають певний вплив на продуктивність процесу обробки та якість оброблюваної поверхні [8].

Згідно з ГОСТ 11964-81, дріб поділяють на чавунний литий (ДЧЛ) розміром 0,4-8,0 мм (номери 0,5 - 6), чавунний колотий (ДЧК) - 0,1-2,7 мм (номери 0,1-2,5), сталевий литий (ДСЛ) - 0,7-4,5 мм (номери 0,8-3,5), сталеву колоту (ДСК) - 0,1-2,7 мм (номери 0,1 -2,5), сталеву рубану (ДСР) - 0,8-4,0 мм (номери 0,8 -4) і сталеву литу бурову (ДСЛБ) - 3,5-4,5мм (номери 2,5-3,5). Під розмірами дробу слід розуміти їх дійсний або умовний діаметр.

Існують різні пристрої для грануляції рідкого металу при виробництві

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

литого металевого дробу, засновані на принципах дроблення струменя розплавленого металу ударом об тверду поверхню (при цьому поверхня може бути нерухомою, віброуючою і обертовою); відцентрового розпилення розплаву; розсікання струменя металу; розпилення струменя розплавленого металу повітрям, газом, парою чи водою; використання сил електричного, магнітного або електромагнітних полів.

У промисловості ДЧЛ отримують в основному дробленням струменя рідкого металу, що падає з певної висоти, об поверхню обертового барабана, зануреного в охолоджуючу рідину (воду); ДСЛ - розпиленням рідкого металу струменем води, яка подається під тиском і розбиває струмінь металу на краплі, які завдяки поверхневому натягу приймають круглу форму і охолоджуються в басейні.

Грануляцію ДЧЛ на Полтавському автоагрегатному заводі здійснюють за наступною схемою. Чавун із вагранки надходить у розливний ківш. Призначення ковша - сформувати струмінь діаметром 8 - 12 мм і створити рівномірну подачу металу на обертовий барабан, занурений в воду на 1/3 його діаметра. Струмінь металу, б'ючись об барабан, змочений водою, ділиться на безліч дрібних часток (дробів), які, пролетівши по певній траєкторії, потрапляють в охолоджуюче середовище басейну - воду.

Основні параметри при грануляції чавуну - температура, його хімічний склад, висота падіння струменя, діаметр і частота обертання барабана, глибина занурення барабана в охолоджуючу рідину і її температура. Оптимальна температура чавуну за ступенем евтектичності 0,9 дорівнює 1260 - 1300°C. Зниження температури веде до підвищення виходу великої фракції, підвищення - дрібної фракції. Найбільш високими механічними властивостями володіє ДЧЛ при масовому вмісті у ньому 2,9% С і 1,2% S [9].

Висота падіння струменя рідкого металу на барабан – 1,5 – 1,8 м.

Зі збільшенням висоти падіння утворюються дрібні фракції, із зменшенням - великі фракції. Найкращі результати виходу дробу отримані при діаметрі барабана 420 мм і частоті його обертання 140 об/хв. В якості охолоджуючої

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

рідини застосовують 0,03% розчин дихромату натрію ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Такий склад захищає дріб від корозії.

Оптимальна температура води - 35-55°C. При зниженні температури води на дробі з'являються гартівні тріщини, при підвищенні - знижується його твердість і механічні властивості. Основна кількість дробу проходить середне температурний відпуск і має твердість 51,3 - 62,9HRC.

Малогабаритна установка (рис. 1.4) складається з розпилювача 1, що встановлюється на конусній надставці 2, камери розпилення 3 з шиберним затвором 5, насосу 6 і системи трубопроводів 4. Рідкий метал з плавильного агрегату подають до установки в розливному ковші вантажопідйомністю 20 - 250 кг. З ковша метал зливають у метало-приймач розпилювача і потім через щілину в камеру розпилення, де струмінь рідкого металу розпорошується повітрям на краплі, які під впливом сил поверхневого натягу сфероїдизуються та перетворюються на глобули.

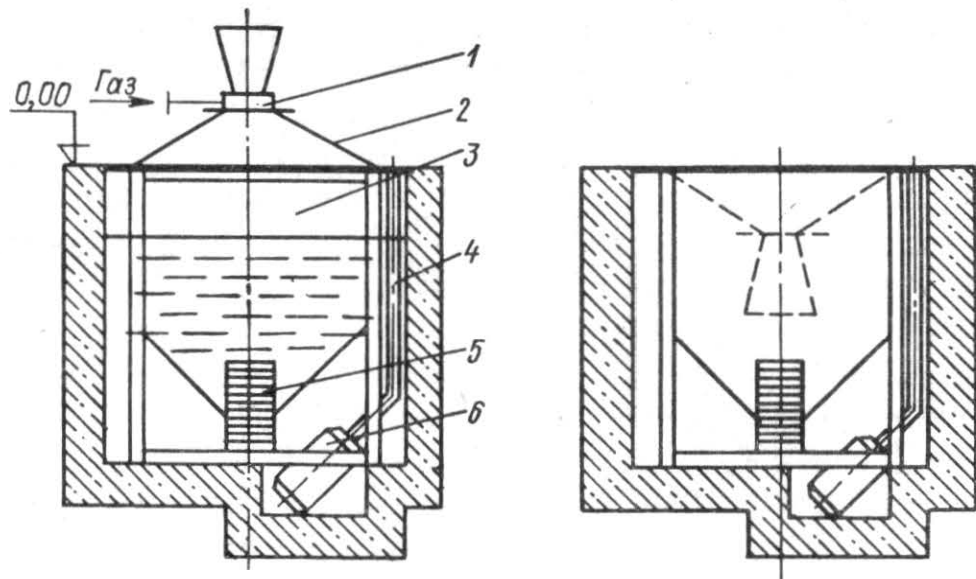


Рисунок 1.4 – Схема малогабаритної установки для отримання металевого литого дробу

Остаточні гранули охолоджуються у водній ванні камери розпилення. Дріб, що утворився, осаджується в лотковій частині камери. Після розпилення знімають конусну надставку з розпилювачем, витягають з напрямка камеру

розпилення, яка виконана у вигляді бункера. Вода з камери через шиберні затвори зливається в приямок. Бункер із дробом встановлюють над коробом. Одні з шиберів піднімають та фіксують у піднятому положенні; бункер за допомогою крана нахиляють у бік відкритого шибера, дріб висипають і направляють на сушіння та розсівання. Воду на облив подають занурювальним насосом [10].

Дріб необхідних фракцій можна отримати, змінюючи параметри розпилення: тиск повітря, кут розпилення, витрата і температура рідкої сталі.

Розроблені технології та обладнання дозволяють отримувати вихід придатного сталевого дроби до 90% при наступному середньому фракційному складі: більше 0,5 мм - 5-10%; 0,5-1 мм - 10-15%; 1-3 мм - 67-75%; 3-5 мм - 10-15%. Необхідний рівень міцності при статичному навантаженні 51 -56,8 МПа, циклічної стійкості 530-560 циклів і твердості 51,3-55,1 HRC досягається за допомогою оптимального легування сталі традиційними елементами Si, Cr [11].

В основному обробки на заводах виконують дешевою ДЧЛ. Однак він має підвищену крихкість, швидке руйнування по мікротріщинам, що виникає в результаті гартування, втратою форми і вихідних розмірів. В результаті ефективність обробки знижується, а витрата дроби збільшується.

Незважаючи на високу твердість (55 - 62,9 HRC за ГОСТ 11964 - 81), ДСР довговічніше ДСЛ, так як володіє більш високою ударною в'язкістю і здатністю набувати і довго зберігати в процесі роботи округлену форму. Крім того, ДСР більш однорідна: варіювання її значень по твердості і зерновим складом менше, ніж у ДСЛ, і продуктивність процесу обробки вище.

Поряд з матеріалом та формою дроби істотний вплив на технологічні та економічні показники процесу обробки виливків надає її гранулометричний склад. Зі збільшенням діаметра дроби зростає його зношування, що пояснюється великим вмістом лікватів, раковин та тріщин, пов'язаних з механізмом її одержання. Твердіння дробинок діаметром понад 1,5 мм відбувається в воді, що і призводить до різкого збільшення тріщин і неоднорідності за хімічним складом [12].

Дослідженнями встановлено, що види стандартного дроби по їх продуктивності розташовуються в порядку спадання в такий спосіб: ДЧК, ДСР,

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДЧЛ, ДСЛ (продуктивність робіт при використанні колотого дробу для обробки поверхні з пригаром на 20 - 30 % вище, ніж при використанні литого дробу). Для обробки від пригару рекомендується застосовувати колотий і литий дріб діаметром 0,8 - 2,2мм. У цехах великого та важкого лиття краще застосовувати дріб діаметром 1,5 - 2,2 мм.

При виборі типу та розміру дробу слід мати на увазі, що дріб різних типів та розмірів має різну вартість виготовлення та експлуатаційну стійкість. Крім того, необхідно враховувати, що зменшення розмірів дробу позитивно впливає на якість поверхні.

1.3 Сутність струминної обробки

Залежно від способу створення струменя дробу (стисненим повітрям або робочим колесом турбіни) процеси обробки дробом отримали назву дробоструминного або дробометного обробки [13-15].

Спосіб струминної обробки полягає в тому, що на оброблювану поверхню тиском стисненого повітря 0,5 - 0,7 МПа із сопла з круглим перетином викидається пучок дробу зі швидкістю 20 - 130 м/с. Видалення формувальної суміші, пригару, знімання невеликого шару металу, що пристав, відбуваються за рахунок отриманої дробом кінетичної енергії і впливу окремих дробинок на поверхню, що очищується. Зі збільшенням відстані від сопла до поверхні, що обробляється, площа зони обробки зростає, а щільність покриття поверхні дробом падає. Кут розкриття струменя дробу, що виходить із сопла, становить 28 - 30° [16-17].

Продуктивність струминної обробки залежить від тиску стисненого повітря в мережі, діаметра та форми сопла, відстані від сопла до оброблюваної поверхні, кута зустрічі дробу з поверхнею. Відстань від сопла до оброблюваної поверхні має дорівнювати 200 - 600 мм. При очищенні внутрішніх поверхонь рекомендується відстань 200 - 300 мм. Кут атаки дробу (кут, утворений віссю потоку дробу з плоскою поверхнею) при очищенні поверхні повинен становити 45 - 60 °.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Струминні установки складаються з наступних вузлів: струминого апарату; робочої камери; транспортного механізму, що подає виріб у робочу зону; системи повернення відпрацьованого дробу для повторного використання; системи сепарації абразиву; соплового механізму.

1.4 Струминні сопла

Довгий час єдиним матеріалом, що забезпечував стійкість сопла протягом 5 - 8 год, був вибілений чавун [18]. Зараз для підвищення стійкості в корпус сопла, виконаного з середньо вуглецевої сталі, монтують мінералокерамічні вставки зі сплавів ЦМ-332, С2, С8 і металокерамічні вставки зі сплавів ВК 2, ВК 6, ВК 8 (ГОСТ 3882 - 74) з внутрішніми діаметрами 6, 8, 10 і 12 мм (іноді 18 - 20 мм), середня стійкість яких досягає 200 годин. Розміри сопел з металокерамічними вставками в залежності від розміру дробу наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Розміри сопла із металокерамічними вставками в залежності від розміру дробу

Розмір дробу, мм	Діаметр вставки, мм		Конусність внутрішньої порожнини вставки	Внутрішній діаметр рукава, мм
	внутрішній	зовнішній		
До 0,8	6	20	1 : 10	25; 32
0,8 – 1,0	8	22		
1,0 – 1,5	10	24		32; 38
1,5 – 2,5	12	26		

Висновки до розділу

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

- дробоструменева обробка поверхні отримує все більш широке застосування в різних галузях промисловості;
- алюміній та його сплави широко використовуються в машинобудуванні, вагонобудуванні, літакобудуванні, автомобільній та інших

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

галузях.

- вирішальну роль в процесі очищення дробом має швидкість атаки v дробинками оброблюваної поверхні;

- необхідно визначити характер зміни (закон) швидкість руху сталюого коленого дроби v в атмосфері спокійного повітря в залежності від пройденої відстані x при відомій швидкості вильоту дробинки v_0 із дробосруменевого сопла, тобто функціональну залежність $v=f(v_0, x)$.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Технологічні параметри абразивоструминної обробки

Основні параметрами, якими характеризується абразивоструминна обробка: довжина струменя l – відстань від зрізу сопла до оброблювальної поверхні; фізико-механічні властивості і зернистість частинок абразиву d ; сила F і швидкість зіткнення v , що визначаються тиском повітря p ; кут, що утворюється з оброблюваної поверхнею α ; конфігурація і розташування струминних сопел. Розрахунок зазначених параметрів повинен виконуватися на науковій основі, для чого необхідна фізична модель взаємодії абразивно-повітряної суміші з поверхнею заготовки при обробленні.

На рис. 2.1 струминно-абразивна обробка проводиться через звужуюче сопло. Основні залежності при дослідженні процесів течії газів виводяться при аналізі рівняння нерозривності і двох рівнянь першого закону термодинаміки, написаних для зафіксованих і рухомих осей координат [23].

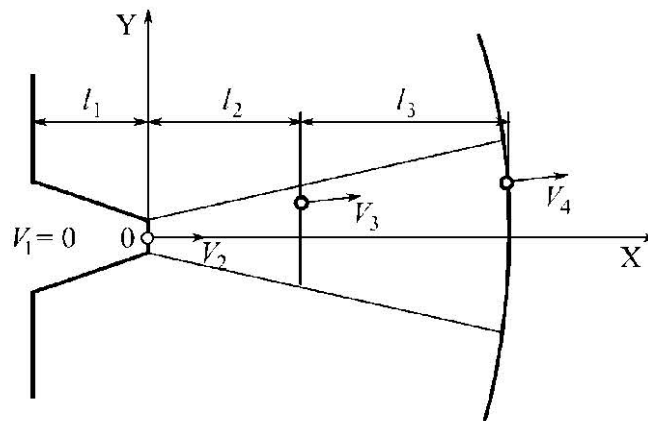


Рисунок 2.1 – Схема визначення швидкості руху частинки в потоці

У звужувальній частині сопла швидкість збільшується від початкового значення $v_1 = 0$ до швидкості, що дорівнює місцевій швидкості звуку $v_{зв}$. Швидкість витікання газу v_1 , що дорівнює місцевій швидкості звуку, називається критичною швидкістю $v_{кр}$. Приймаємо, що установка струминної обробки забезпечує постійну витрату повітря, тобто на виході тиск p стає рівним атмосферному.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Режим течії визначається порівнянням перепаду тисків $\beta = P_0/P_1$ з критичним перепадом:

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (2.1)$$

де P_0, P_1 - статичний тиск на вході і на виході із сопла, Па;

k - показник адиабати.

Критичне відношення тисків $\beta_{кр}$ залежить від показника адиабати k . Для повітря при $k = 1,4$ отримуємо $\beta_{кр} = 0,53$. Тому для нашого випадку маємо: $\beta = 1/6 = 0,17 < \beta_{кр}$ і весь перепад тисків йтиме на збільшення кінетичної енергії струменя газу. В результаті отримуємо надзвукове витікання газу.

Швидкість потоку на виході із сопла в v_2 (м/с) визначають за формулою:

$$V_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (2.2)$$

де T – температура в джерелі газу, К;

$R = 287$ Дж/(кг·К) – газова постійна повітря.

Геометричні розміри сопла d можна пов'язати зі швидкістю v і витратою G наступним чином [24]:

- діаметр вихідного отвору $d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (2.3)$

- площа поперечного перерізу $F = \frac{G}{\rho V_2}, \quad (2.4)$

- довжина $l_1 = \frac{d - d_1}{2 \operatorname{tg}(\alpha/2)}, \quad (2.5)$

де d - діаметр вхідного отвору;

α - кут конуса;

G - витрата повітря через сопло;

ρ - щільність (величина, зворотна питомому об'єму, який знаходиться за допомогою рівняння стану ідеального газу Клапейрона).

Дійсна швидкість витікання менше розрахункової теоретичної внаслідок

						КРМ.133ГМд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			23

тертя струменя об поверхню стінки сопла. Частина затраченої роботи розсіюється і перетворюється в тепло, яке при відсутності зовнішнього теплообміну призводить до збільшення температури. За літературними даними, зменшення швидкості для радіально розташованих сопел становить 0,91, що можна врахувати відповідним коефіцієнтом [25].

Схема струменя з поділом на ділянки, запропонована Г.Н. Абрамовичем, в даний час є загальною визнаною. Вона залишається однаковою при ламінарному і турбулентному режимах течії [26].

На основній ділянці струменя l_3 відбувається зменшення швидкості як по осі струменя так і по перетину (рис. 2.1). Довжина початкової ділянки визначається за виразом:

$$l_2 = \frac{0,67d_1}{2a}, \quad (2.6)$$

де a – коефіцієнт структури струменя.

Зміна швидкості V_0 по осі струменя на основній ділянці для осесиметричного струменя визначається залежністю:

$$V_0 = \frac{0,96}{2ax/d_1 + 0,29} V_2. \quad (2.7)$$

Поперечний профіль швидкості на основній ділянці струменя має форму, наближену до кривої Гауса. Тому швидкість в довільній точці течії на основній ділянці струменя визначається залежністю:

$$V_3 = V_0 e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{ax} \right)^2}, \quad (2.8)$$

де r – відстань по нормалі від осі до розглянутої точки.

2.2 Математична модель руху дробинки в атмосфері спокійного повітря

Високі швидкості вильоту дробинки з струменевого сопла ще не гарантують ефективної роботи інструменту. Оскільки за умовами покриття певної площі оброблюваної поверхні струминне сопло з кутом розкриття факела $2\gamma \approx 30^\circ$

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинне розташовуватися на певній відстані l від поверхні оброблюваної деталі. В зв'язку з цим для встановлення аналітичних залежностей, які описували б експериментальні дані, розглянемо зміну швидкості дробинки при русі в атмосфері спокійного повітря, оперуючись на відомих теоретичних дослідженнях [34 - 38].

Прямолінійний рух дробинки, як матеріальної точки, масою m під дією сили F залежить від швидкості v . Направимо вісь Ox по прямій, яка є траєкторією руху дробинки (рис. 2.2).

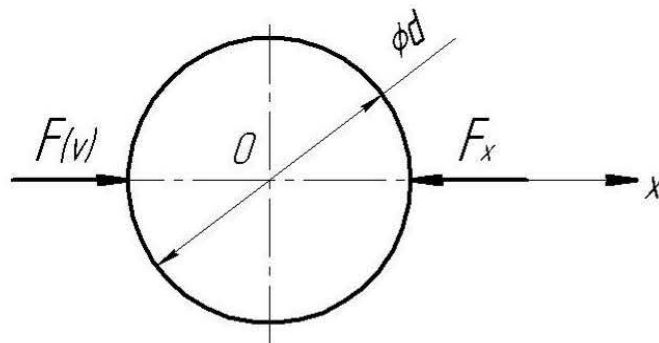


Рисунок 2.2 – Схема дії сил на дробинку діаметром d при русі в атмосфері спокійного повітря

Тоді прикладена сила, а отже і прискорення дробинки, будуть направлені по цій прямій і диференціальне рівняння руху згідно другому закону Ньютона запишеться у вигляді:

$$F(v) = ma = m \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (2.9)$$

Прийемо наступні початкові умови $x = x_0 = 0$, $v = v_0$, при $t = t_0 = 0$. Так як $dx/dt = v$, то $d^2x/dt^2 = v dv/dx$.

Тепер початкове диференціальне рівняння (2.9) можна записати так:

$$F(v) = mv \frac{dv}{dx}, \quad (2.10)$$

або
$$dx = mv \frac{dv}{F(v)}. \quad (2.11)$$

Звідси знаходимо, що

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x = m \int_{v_0}^v \frac{v dv}{F(v)} + C. \quad (2.12)$$

Визначивши постійну C початкових умов $v = v_0$, $x = x_0$, тобто $C = x_0 = 0$, отримаємо

$$x = m \int_{v_0}^v \frac{v dv}{F(v)}. \quad (2.13)$$

Відомо, що сила опору при русі жорсткого тіла в повітрі пропорційна квадрату швидкості [26]. Тоді в нашому випадку можна вважати, що $F(v) = -kv^2$.

Знак мінус узятий тому, що сила опору повітря направлена убік протилежну напрямку швидкості. Тепер рівняння (2.13) можна переписати в наступному вигляді:

$$x = m \int_{v_0}^v \frac{v dv}{-kv^2} \text{ або } x = -\frac{m}{k} \int_{v_0}^v \frac{dv}{v}. \quad (2.14)$$

Звідки
$$x = -\frac{m}{k} (\ln v - \ln v_0) \quad (2.15)$$

або
$$-\frac{kx}{m} = \ln v - \ln v_0. \quad (2.16)$$

Після потенціювання маємо

$$v = v_0 e^{-\frac{kx}{m}}. \quad (2.17)$$

Для визначення коефіцієнта k розглянемо силу опору повітря рухомому тілу. Результуюча сила лобового опору F_x , що діє на тіло з боку повітря, рівна двом однаково направленим вздовж v складовим силам: силу опору тертя $F_{x,тр}$ і силу опору тиску $F_{x,д}$ тобто

$$F_x = F_{x,тр} + F_{x,д}. \quad (2.18)$$

Сила $F_{x,тр}$ є результуючою сил тертя, що діють на всі малі елементи поверхні дробинки. Сила $F_{x,д}$ обумовлена тим, що із-за гальмування повітря, що відбувається в прикордонному шарі, тиск повітря на лобову частину поверхні дробинки не компенсується тиском на кормову частину дробинки.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Співвідношення між опором тертя і опором тиску залежить від форми тіла і його розташуванням в потоці. У добре обтічного тіла визначальну роль в лобовому опорі грає опір тертя. Навпаки лобовий опір погано обтічного тіла в основному обумовлений опором тиску (наприклад, тіл кулястої форми, поперечних обтічних циліндрів, пірамід).

Сила лобового опору F_x пропорційна швидкісному напору повітря, тобто

$$F_x = k_1 \frac{\rho v^2}{2} f, \quad (2.19)$$

де k_1 – коефіцієнт лобового опору;

ρ – щільність повітря;

v – швидкість руху тіла;

f – площа, що характеризує розміри тіла.

З аналізу експериментальних даних виходить, що коефіцієнт лобового опору k_1 залежить від форми тіла, його розташування в потоці і від числа Райнольдса. Коефіцієнт лобового опору тіла, рухомого в повітрі, залежить також від числа Маха, що становить $M = v/v_{зв}$ ($v_{зв}$ – швидкість розповсюдження звуку в повітрі).

Розрахунки і експерименти свідчать про те, що впливом стисливості повітря на величину k_1 можна нехтувати, якщо $M \leq M_{кр}$, де $M_{кр}$ – деяке характерне для даного тіла число менше одиниці.

Число Райнольдса R_e для кулеподібного тіла, рухомого в повітрі, рівне

$$R_e = vd/\nu, \quad (2.20)$$

де v – швидкість руху тіла;

d – діаметр кулі;

ν – кінематична в'язкість повітря.

Для нормальних умов: температура $20^\circ C$, тиск $10^5 Pa \sim 1at$
 $\nu = 1,57 \cdot 10^{-5} m^2/s$.

Експериментальні дані [27] свідчать про те, що при русі в повітрі тіл кулястої форми коефіцієнт лобового опору можна визначити по наступному

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

співвідношенню

$$k_{1n} = a/R e^m, \quad (2.21)$$

де a – постійна величина;

m – показник ступеня.

При русі сталевих колених дробинок в повітрі, який має температуру 20°C з швидкістю $v \geq 50$ м/с число Рейнольдса перевищує 1000. Згідно даним [28] для чисел Рейнольдса $Re \geq 1000$ постійна $a = 0,45$, а показник ступеня $m = 0$. Тоді коефіцієнт лобового опору k_{1n} литому дробу сферичної форми згідно співвідношенню (2.21) буде

$$k_{1n} = a/R e^0 = 0,45.$$

Коефіцієнт лобового опору сталевому коленому дробу k_{1k} знаходимо, що

$$k_{1k} = nk_{1n}, \quad (2.22)$$

де $n = 2,2$ – коефіцієнт, що враховує спотворення форми коленого дробу в порівнянні з сферою.

Тоді $k_{1k} = 2,2 \cdot 0,45 = 1,0$.

Експериментальні дані свідчать про те, що коефіцієнт пропорційності k для формули (2.17) пов'язаний з коефіцієнтом лобового опору k_1 співвідношенням

$$k = (0,2 \dots 1) 10^{-5} k_1, \quad (2.23)$$

Маючи експериментальні дані про швидкість руху v сталевих колених дробинок з діаметром описаної сфери $d = 0,4 - 2,0$ мм в атмосфері навколишнього повітря (див. розд. 4), погодившись з викладеними матеріалами і початковими швидкостями v_0 , визначили значення коефіцієнта k у формулі (2.23) для різних фракцій.

					КРМ.133ГММД_23.17.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Описання лабораторної установки

Для перевірки правильності теоретичних рішень і висновків були проведені експериментальні дослідження, що спрямовані на виявлення закономірностей взаємодії дробу з металевою поверхнею, визначення продуктивності і якості дробоструминного очищення від окалини поверхні сталевих деталей, що проводилися в заводських умовах на діючому обладнанні з використанням атестованих вимірювальних приладів та виготовлених допоміжних засобів.

Технологічна схема дробоструминної установки, яка складається з наступних частин: блок підготовки стислого повітря 1; дробоструминний апарат нагнітального типу 2; захисна камера для ізолювання зони очищення 3; механізм пересування оброблюваного виробу 4; агрегат утилізації відходів 5; система керування 6. Складові частини установки сполучені між собою лініями зв'язку 7.

Основні технічні характеристики експериментальної установки для дослідження процесу дробоструминного очищення поверхні сталевих деталей від окалини, що пройшли нормалізаційний відпал:

1. Геометричні розміри оброблюваних зразків: плоскі прямокутні 400x500x5мм з центральним отвором діаметром 80мм; плоскі дискові діаметром 80мм і товщиною 5мм.
2. Матеріал зразків – алюміній.
3. Дробоструминний апарат – нагнітального типу серійного виробництва DBS-100 з корисним об'ємом 100л.
4. Конфігурація дробоструминних сопел – циліндрична. Діаметр матеріального отвору сопел – 10мм.
5. Енергоносій – стисле повітря з надлишковим тиском 0,6 МПа 2-го класу забрудненості згідно ГОСТ 17433-80.
6. Використовуваний абразивний матеріал – дріб колений виробництва ТОВ "НПП "Метрика".
7. Максимальна масова подача дробу до сопла – 30кг/хв.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Кут атаки оброблюваної поверхні зразків дробоструминним факелом –15...90°.
9. Відстань від дробоструминного сопла до оброблюваної поверхні – 100...600мм.
10. Діаметр умовного проходу трубопроводу, що подає стисле повітря до установки – 40мм.
11. Видалення відпрацьованого дроби з зони очищення – під дією сили тяжіння через конічний бункер в закриту тару.
12. Кількість повітря, що відсмоктується з камери, в процесі здійснення очищення – 3...5м³/с.
13. Маса ~ 250кг.

Враховуючи те, що в дробоструминному факелі дробинки рухаються з швидкостями, які небезпечні для здоров'я людини, дробоструминне очищення поверхні дослідних зразків від окалини проводили в спеціальній захисній виробничій камері, внутрішня поверхня якої облицьована листовою гумою завтовшки 6мм. Розміри камери 1610x825x725мм, дозволяють досліджувати технологічні режими дробоструминного очищення на різних відстанях l від дробоструминного сопла до оброблюваної поверхні ($l=0,1...0,6м$), а також установки пристрою для визначення швидкості руху дроби, про що буде описано нижче.

Дослідження проводили з використанням дробоструминного апарату моделі DBS-100 напірної дії, що має наступні технічні дані: корисний об'єм камери 100л, робочий тиск стисненого повітря 4,0...8,3атм, витрата стисненого повітря 2,3...9,6м³/хв, пневматична магістраль (рукав) $d_p = 32мм$, маса 105кг, габаритні розміри 650x670x1210мм.

Апарат оснащений системою дистанційного керування та дозатором абразивного матеріалу типу SGV та має ефективний повітряний фільтр-волого-мастило-відділювач CAF-3 для запобігання попадання в робочу камеру конденсату і масел від компресора.

Система дистанційного керування апарату дозволяє використовувати апарат

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одному оператору без втрат дробу. Застосування дробоструминного апарату моделі DBS дозволяє досягти ступеня очищення металевої поверхні - Sa 3 відповідно до міжнародного стандарту [15] і продуктивності $3-10 \text{ м}^2 / \text{год}$.

Поперечина 10 має можливість переміщатися по напрямних 9 уздовж поздовжньої осі камери, змінюючи, таким чином, відстань l від сопла 3 до поверхні досліджуваних зразків 13 і 14.

Поворотом в установочому пристосуванні 11 навколо вертикальної осі досягається необхідний кут атаки α дробоструминним факелом поверхні зразків 13, 14.

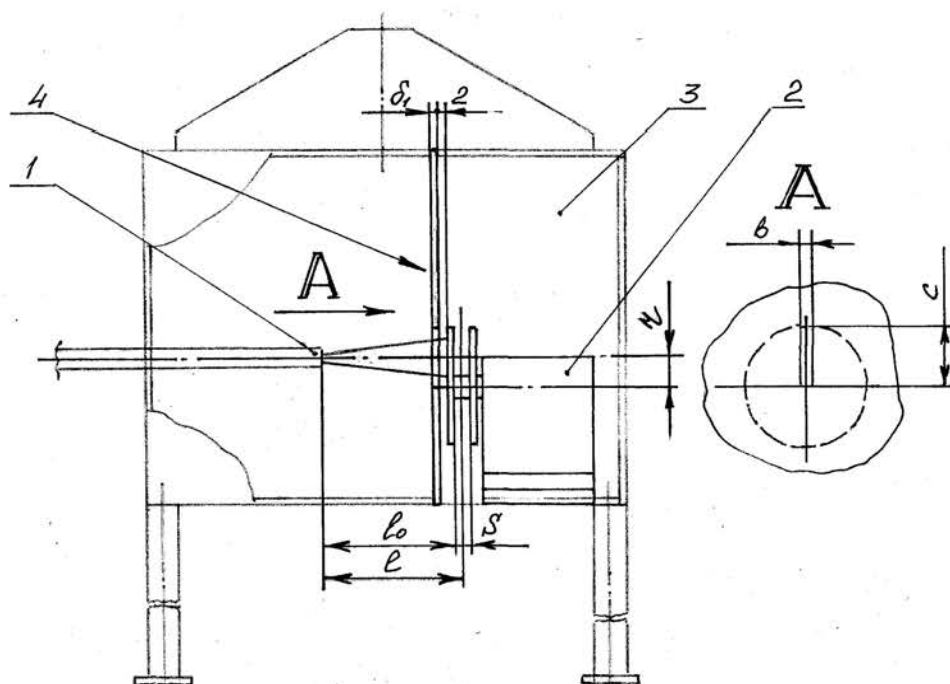


Рис. 3.1 – Схема експериментальної установки

Вихідний патрубок кришки 6 приєднаний до витяжної вентиляції для забезпечення необхідного обміну повітря.

Експериментальні дослідження з використанням описаної установки проводилися в наступному порядку:

1. Початкове положення: поворотні дверцята захисної камери закриті, кран перекритий для доступу стисненого повітря з магістралі 21 в систему живлення дробоструминного апарату 1.

2. Відкриваючи поворотні дверцята, встановлюються випробовувані зразки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

13 і 14 в затискачі пристосування 11 під потрібним кутом атаки α . Пересуванням поперечки по напрямних 9, розміщуються досліджувані зразки на необхідну відстань до дробоструминного сопла 3.

3. Після закриття дверцят 8 включається витяжна вентиляція, за допомогою якої відсмоктується повітря з захисної камери через патрубок кришки 6.

4. Здійснюється налаштування дозатора 19 на необхідну масову подачу дробу з корпусу дробоструминного апарату 1 в змішувальну камеру 17.

5. Відкриваючи кран, подається стиснене повітря із магістралі 21 в систему живлення дробоструминного апарату, який проходячи через змішувальну камеру підхоплює дробинки і в необхідній концентрації подає їх через трубопровід 18 до дробоструминного сопла 3.

6. Після запуску установки в соплі за рахунок енергії стисненого повітря повітряно-абразивна суміш розганяється до необхідної швидкості і в вигляді дробоструминного факела направляється на оброблювану поверхню плоских зразків. Вдарившись об оброблювану поверхню, дріб рикошетує і, зустрічаючи на своєму шляху обгумовані стінки пустотілого корпусу 4, бічні і торцеву стінку захисної камери і зсипається через бункер 5 в контейнер 16.

7. Для зупинки роботи перекривається кран подачі стисненого повітря в систему живлення дробоструминного апарату.

3.2 Визначення швидкості руху дробу у факелі

Основним технологічним параметром струминно-абразивної обробки є, безумовно, швидкість атаки дробинками оброблюваної поверхні металевих виробів. Чим вище швидкість атаки, тим продуктивніше масове швидкісне знімання найдрібніших частинок металу з оброблюваної поверхні абразивними гранулами, що швидко летять, і тим глибше рельєф поверхні, що формується частинками. Проте високі швидкості атаки приводять до інтенсивного

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

зношування твердого, але крихкого дроби і значного шаржування оброблюваної поверхні уламками дроби, що не вигідно, оскільки зменшується стійкість та довговічність абразивного матеріалу і знижується якість обробленої поверхні. Тому струменеву обробку необхідно проводити на економічно обґрунтованих швидкостях атаки, які дозволяють отримати прийнятну продуктивність обробки, високу якість обробленої поверхні та хорошу стійкість дробинок [30].

Враховуючи викладене, вивчення закономірностей руху дробинок в атмосфері навколишнього повітря є істотним чинником, який дає можливість найповніше використовувати енергію стислого повітря. Для визначення швидкості руху дроби в навколишній атмосфері використовують пристосування, кінематична схема якого наведена на рис. 3.2.

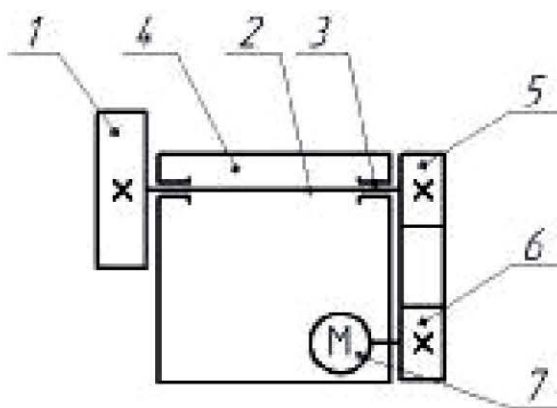


Рисунок 3.2 – Пристосування для вимірювання швидкості дроби

Пристосування складається із ротора 1, встановленого на вихідній ділянці валу 2, який змонтований на опорах 3 в корпусі 4. Із протилежного боку по відношенню до ротора 1 на іншій вихідній ділянці валу 2 закріплений шків 5. За допомогою гнучкого зв'язку він сполучений із провідним шківом 6, який встановлений на валу електродвигуна 7.

Ротор 1 даної установки (рис. 3.3) у вигляді двох дисків діаметром D і товщиною δ виконаний зварним: лівого 1 і правого 2, які насаджені на втулку 3 з центральним отвором діаметром d . В лівому диску 1 зроблений проріз шириною «b» і довжиною «с».

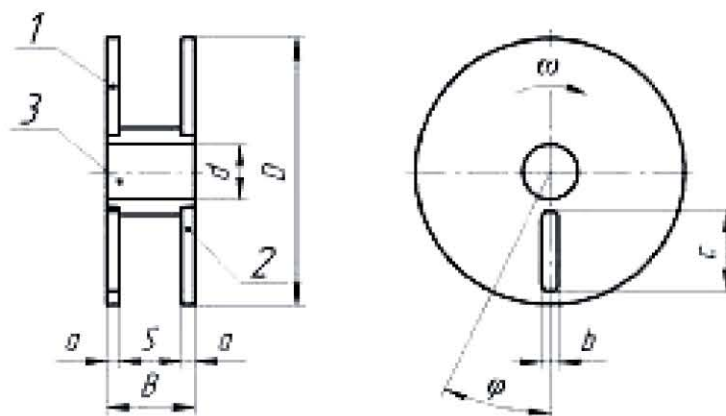


Рисунок 3.3 – Ротор

При вимірюванні швидкості руху дробу v на певній відстані l від струминного сопла 1 пристосування 2 встановлювали в захисній камері 3 лабораторної установки зовнішньою стороною лівого диска ротора перпендикулярно потоку дробу (рис. 3.4) так, щоб відстань до сопла була рівна $l=l_0+0,5S$, а зсув осі валу, на якій закріплений ротор, щодо осі сопла складало $r=0,4D$.

Рисунок 3.4 – Розташування пристосування у захисній камері лабораторної стуменевої установки

Від дії потоку дробу пристосування 2 захищали перегородкою 4, в якій профрезерований отвір, розмірний із прорізом на лівому диску ротора. Далі включали електродвигун і надавали обертальний рух ротору. Потім подавали стисле повітря і дріб в дробоструменеве сопло за допомогою дробоструменевого апарату. Основна частина дробу рикошетить від поверхні перегородки зовнішньої сторони лівого диска. Проте деяка частина абразиву (дробу) проходить через щілину (отвір) у перегородці та через проріз у лівому диску 1 та залишає лунку на внутрішній стороні правого диска 2. Внаслідок того, що ротор обертається за годинниковою стрілкою зі кутовою швидкістю ω , слід абразиву-дробу на внутрішній поверхні правого диска буде зрушений щодо прорізу в лівому диску проти годинникової стрілки на кут α , оскільки ротор обертається, коли дріб

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходить відстань S (рис. 3.3).

Змірявши кут φ , визначали середню швидкість руху дробу v на відстані l від струминного сопла на підставі наступних міркувань. Дробинки проходять відстань S між внутрішніми стінками дисків ротора за проміжок часу Δt з середньою швидкістю v . Таким чином

$$S = v \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

звідки
$$\Delta t = S / v, \quad (3.2)$$

При цьому лівий диск ротора за час Δt обернеться щодо сліду на правому диску за годинниковою стрілкою на кут φ з відомою постійною кутовою швидкістю ω , тобто:

$$\varphi = \omega \cdot \Delta t, \quad (3.3)$$

звідки
$$\Delta t = \varphi / \omega, \quad (3.4)$$

Прирівнявши вирази (2.1) і (2.2)

$$\frac{S}{v} = \frac{\varphi}{\omega}. \quad (3.5)$$

Знаходимо середню швидкість руху дробу v

$$v = \frac{S\omega}{\varphi} \left[\frac{\text{метр/сек}}{\text{рад/сек}} \right], \quad (3.6)$$

на відстані l від струминного сопла.

Визначення швидкості руху дробинки проводимо на відстані від сопла $l = 0,1 \dots 0,6$ м при ідеальному надмірному тиску стислого повітря в корпусі струминного апарату $p_v = 0,6$ МПа. Як інструмент застосовували дробоструменеве циліндрове сопло з діаметром отвору $d_{\text{отв}} = 8$ мм [31]. Для проведення експерименту використовували дріб технічну колену і рубану з діаметром описаної сфери $d = 0,4; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6$ та $2,0$ мм. При цьому забезпечували, шляхом встановлення відповідної мірної шайби на змішувачі апарату, наступну масову подачу дробинки Q_c через сопло:

-діаметром $d_{\text{мат}} = 8$ мм, $Q_c = 20$ і 25 кг/хв;

Масову подачу дробинки перевіряли шляхом зважування відпрацьованого дробу, яка потрапляє в бункер захисної камери лабораторної струминно-абразивної установки. При цьому враховували безповоротні втрати технічного

					КРМ.133ГМ _{мд} _23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

дробу, які відбуваються в процесі струминно-абразивної обробки зразків.

Висновки до розділу

На базі діючого обладнання створено лабораторну установку нагнітального типу, з робочим об'ємом $0,1 \text{ м}^3$, з максимальною подачею дробу до сопла 30 кг/хв і максимальною витратою стислого повітря $6,5 \text{ м}^3/\text{хв.}$, для дослідження процесу дробоструминного очищення від окалини поверхні металевих зразків (алюміній), що пройшли нормалізаційний відпал і описано умови проведення експериментальних досліджень основних параметрів обробки, включаючи швидкості руху дробу, продуктивності очищення, мікроструктури, твердості та шорсткості обробленої поверхні, ступені шаржування осколками дробу.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження швидкості вильоту дробинок

Для визначення швидкості переміщення дробинок в атмосфері навколишнього повітря необхідно знати швидкість вильоту дробинок v з струменевого сопла. Згідно матеріалам, які викладені в п. 3.2, швидкість вильоту дробинок з струменевого сопла прямо пропорційна швидкості закінчення енергоносія. Тобто стислого повітря, з каналу, що звужується v_e , площі поперечного перетину матеріального отвору струменевого сопла, f щільності повітря на середовищі сопла ρ і обернено пропорційна масовій витраті дробу через сопло Q_c .

Величини f , ρ і Q_c є відомими. Для визначення швидкості закінчення повітря із струменевого сопла v_e викладемо деякі міркування по даному питанню. Якщо взяти до уваги, що довжина гумовотканинного рукава, по якому повітряно-абразивна суміш подається від змішувача струменевого апарату до струменевого сопла, не перевищує $l_p \leq 30$ м, то, з урахуванням рекомендованої загрузки дробом, достатнім для роботи на протязі не менше 0,5 години, можна стверджувати, що корисна ємкість струменевого апарату V_{an} істотно перевищує ємкість гумовотканинного рукава V_p тобто $V_{an} \geq V_p$. Це дозволяє представити закінчення стислого повітря з корпусу струменевого апарату, як з ресівера, де підтримується постійний тиск ρ_0 і постійна температура, T_0 а швидкість переміщення повітря v_0 рівна нулю. Розрахункова схема корпусу апарату і звужуючого каналу, – гумовотканинного рукава і сопла, через який затоплений струмінь потрапляє в навколишню атмосферу, показана на рис. 4.1.

Приймаємо наступні умови витікання стислого повітря по звужуючому каналу: в'язкість повітря настільки мала, що нею можна знехтувати; процеси, супутні течії є адіабатичними, тобто без теплообміну з навколишнім середовищем; у перерізах потоку розподіл тиску і швидкостей течії рівномірний.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

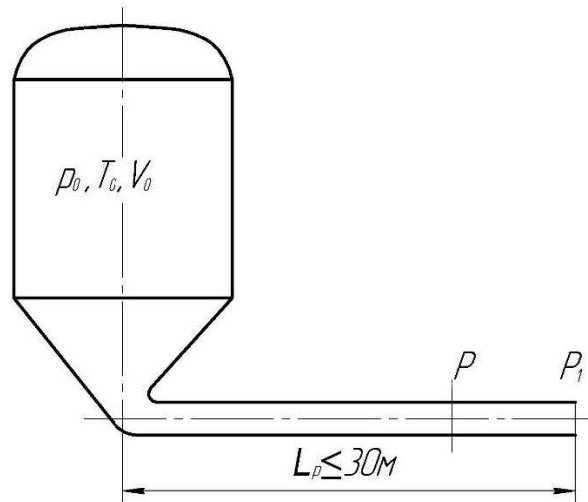


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема струменевого апарату

Це дозволяє записати формулу для визначення швидкості перебігу потоку повітря v_g в перетині, де тиск став рівним p , згідно [37] в наступному вигляді:

$$v = \sqrt{\frac{2k}{(k-1)} \cdot \frac{p_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{(k-1)/k} \right]}, \quad (4.1)$$

де p_0 – абсолютний тиск стисненого повітря в корпусі струменевого апарату;

ρ_0 – щільність стисненого повітря при абсолютному тиску p_0 ;

p – абсолютний тиск стисненого повітря в довільно вибраному перетині данного звужуючого каналу;

$k \approx 1,41$ – показник адиабати.

Щільність повітря уздовж гумовотканинного рукава змінюватиметься залежно від тиску в послідовних перетинах по адиабатичному закону

$$\frac{p}{\rho^k} = \frac{p_0}{\rho_0^k}, \quad (4.2)$$

Закон переміщення дробинок вивчається при наступних швидкостях вильоту дробинок з струменевого сопла з діаметром матеріального отвору $d_{mat} = 8 \text{ мм} - v_{op} = 80, 100, 125, 160$ і 200 м/с. При цьому забезпечуємо масову витрату дробу через сопло $Q_c = 12$ кг/с.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб розігнати дріб фракцій 0,4...2,0 мм через циліндричне сопло буде потрібно згідно (3.6) і (4.1) наступні швидкості витікання стисненого повітря v_e (таблиця 3.1), що зображене на рис. 4.2.

Рисунок 4.2 – Залежність швидкості витікання повітря з циліндричного сопла v_e від швидкості вильоту дробу v_{dp} при тиску стислого повітря $p = 6$ бар та $Q_c=12$ кг/хв, $d_{mat}=8$ мм

Таблиця 4.1 – Необхідні швидкості витікання стислого повітря $p_{раб} = 6$ бар

Досліджувані швидкості вильоту дробинок v_{dp} , м/с	80	100	125	160	200
Необхідні швидкості витікання стисненого повітря v_e , м/с	186	215	250	295	342

Як бачимо, необхідна швидкість закінчення $v_e = 342$ м/с перевищує швидкість звуку $v_{зв} = 332$ м/с. Тому такій швидкості закінчення не можна добитися при використанні циліндричного сопла. Проте, враховуючи незначне відхилення v_e від $v_{зв}$, вважатимемо, що при $v_e = 332$ м/с ми досягаємо швидкості вильоту дробинок $v_{dp} = 198 \approx 200$ м/с.

4.2 Результати експериментальних досліджень швидкості руху дробу в струменевому факелі

Вивчаючи швидкість переміщення сталевих колених дробинок в атмосфері навколишнього повітря відповідно до розробленої методики (п. 3.3), отримали наступні результати, які наведені в таблицях 4.1–4.7 і зображені на рис. 4.1–4.13.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Зміна швидкості руху v сталевого коленого дробу ($d_{др}=0,4$ мм, $m=0,261 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.) залежно від пройденої відстані x

Відстань від сопла $\delta, м$	Швидкість вильоту дробинки із сопла $v_0, м/с$				
	80	100	125	160	200
0,1	37,2	46,5	58,1	74,4	93,0
0,2	17,3	21,6	27,0	34,6	43,2
0,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
0,4	3,8	4,7	5,9	7,5	9,4
0,5	1,8	2,2	2,8	3,5	4,4
0,6	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0

Таблиця 4.2 – Зміни швидкості руху v сталевого коленого дробу ($d_{др}=0,8$ мм, $m=2,09 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.) залежно від пройденої відстані x

Відстань від сопла $\delta, м$	Швидкість вильоту дробинки із сопла $v_0, м/с$				
	80	100	125	160	200
0,1	49,6	62,0	77,5	99,2	124,0
0,2	30,7	38,4	48,0	61,4	76,8
0,3	19,0	23,8	29,8	38,1	47,6
0,4	11,8	14,8	18,5	23,7	29,6
0,5	7,4	9,2	11,5	14,7	18,4
0,6	4,6	5,7	7,1	9,1	11,4

Таблиця 4.3 – Зміни швидкості руху v сталевого коленого дробу ($d_{др}=1,0$ мм, $m=4,08 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.) залежно від пройденної відстані x

Відстань від сопла $\delta, м$	Швидкість вильоту дробинки із сопла $v_0, м/с$				
	80	100	125	160	200
0,1	62,6	78,3	97,9	125,2	156,6
0,2	49,0	61,3	76,6	98,0	122,6
0,3	38,4	48,0	60,0	76,8	96,0
0,4	30,0	37,5	46,9	60,0	75,0
0,5	23,5	29,4	36,8	47,0	58,8
0,6	18,4	23,0	28,8	36,8	46,0

Таблиця 4.4 – Зміни швидкості руху v сталевого коленого дробу ($d_{др}=1,2$ мм, $m=7,05 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.) залежно від пройденної відстані x

Відстань від сопла $\delta, м$	Швидкість вильоту дробинки із сопла $v_0, м/с$				
	80	100	125	160	200
0,1	69,4	86,7	108,4	138,7	173,4
0,2	60,2	75,3	94,1	120,5	150,6
0,3	52,2	65,3	81,6	104,5	130,6
0,4	45,3	56,6	70,7	90,6	113,2
0,5	39,4	49,2	61,5	78,7	98,4
0,6	34,2	42,7	53,4	68,3	85,4

Дослідження проводили на сталевому коленому дробі марки ДСК наступного гранулометричного складу [14]:

– фракція 0,4, діаметр описаної сфери $d = 0,4$ мм, маса дробинки $m = 0,261 \cdot 10^{-6}$ кг/шт; фракція 0.8, $d = 0,8$ мм, $m = 2,09 \cdot 10^{-6}$ кг/шт; фракція 1.0 $d = 1,0$ мм, $m = 4,08 \cdot 10^{-6}$ кг/шт; фракція 1.2 $d = 1,2$ мм, $m = 7,05 \cdot 10^{-6}$ кг/шт; фракція 1.6 $d = 1,6$ мм, $m = 16,71 \cdot 10^{-6}$ кг/шт; фракція 2.0 $d = 2,0$ мм, $m = 32,64 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.

Таблиця 4.5 – Зміни швидкості руху v сталевого коленого дробу ($d_{др}=1,6$ мм, $m=16,71 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.) залежно від пройденної відстані x

Відстань від сопла $\delta, м$	Швидкість вильоту дробинки із сопла $v_0, м/с$				
	80	100	125	160	200
0,1	75,4	94,2	117,7	150,7	188,4
0,2	71,0	88,7	110,9	141,9	177,4
0,3	66,8	83,5	104,4	133,6	167,0
0,4	63,0	78,7	98,4	125,9	157,4
0,5	59,3	74,1	92,6	118,6	148,2
0,6	55,8	69,8	87,2	111,7	139,6

Таблиця 3.7 – Зміни швидкості руху v сталевого коленого дробу ($d_{др}=2,0$ мм, $m=32,64 \cdot 10^{-6}$ кг/шт.) залежно від пройденної відстані x

Відстань від сопла $\delta, м$	Швидкість вильоту дробинки із сопла $v_0, м/с$				
	80	100	125	160	200
0,1	77,6	97,0	121,2	155,2	194,0
0,2	75,2	94,0	117,5	150,4	188,0
0,3	72,8	91,0	113,8	145,6	182,0
0,4	70,6	88,3	110,4	141,3	176,6
0,5	68,5	85,6	107,0	137,0	171,2
0,6	66,4	83,0	103,8	132,8	166,0

У корпусі дробоструменевого апарату і в гумовотканинному рукаві, по якому подавали легко-абразивну суміш по дробоструминому соплу, підтримували постійний абсолютний тиск стисненого повітря $P=7$ бар.

У камеру змішувача дробоструменевого апарату подавали дозовану масу дробинки $Q_c=N \cdot m=0,5$ кг/с (N кількість дробинки, m – маса однієї дробинки). Для створення струминного факела використовували сопло циліндричної форми з діаметром матеріального отвору $d_{mat}=8$ мм, який дозволяє досягати звукової

швидкості закінчення стисненого повітря..

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.1 – Швидкість сталевого коленого дробу v залежно від пройденої відстані x ($d_{др}=0,4$ мм, $p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.2 – Швидкість сталевого коленого дробу v залежно від пройденої відстані x ($d_{др}=0,8$ мм, $p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.3 – Швидкість сталевого коленого дробу v залежно від пройденої відстані x ($d_{др}=1,0$ мм, $p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.4 – Швидкість сталевого коленого дробу v залежно від пройденої відстані x ($d_{др}=1,2$ мм, $p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.5 – Швидкість сталевого коленого дробу v залежно від пройденої відстані x ($d_{др}=1,6$ мм, $p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.6 – Швидкість сталевого коленого дробу v залежно від пройденої відстані x ($d_{др}=2,0$ мм, $p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.7 – Швидкість руху сталевого коленого дробу v залежно від фракційного складу дробу d на відстані $x=0,1$ м від сопла ($p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{мат}=8$ мм)

					КРМ.133ГММД_23.17.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.8 – Швидкість руху сталевого коленого дроби v залежно від фракційного складу дроби d на відстані $x=0,2$ м від сопла ($p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{\text{мат}}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.9 – Швидкість руху сталевого коленого дроби v залежно від фракційного складу дроби d на відстані $x=0,3$ м від сопла ($p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{\text{мат}}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.10 – Швидкість руху сталевого коленого дроби v залежно від фракційного складу дроби d на відстані $x=0,4$ м від сопла ($p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{\text{мат}}=8$ мм)

—○— $v_0=200$ м/с, —×— $v_0=100$ м/с

Рисунок 4.11 – Швидкість руху сталевого коленого дроби v залежно від фракційного складу дроби d на відстані $x=0,5$ м від сопла ($p=6$ бар, $Q_c=0,2$ кг/с, $d_{\text{мат}}=8$ мм)

Масову витрату стисненого повітря регулювали за допомогою дроселя. При цьому досягали швидкості вильоту дробинок з сопла $v_0= 80, 100, 125, 160, i \approx 200$ м/с. Сопло в процесі експерименту розташовували від вимірювального пристрою на відстанях $x = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; i 0,5$ м. (див. п. 3.2) . Вимірювання кута повороту φ на суцільному диску вимірювального пристрою проводили по центру відбитку

Висновки до розділу

Розбіжність результатів теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень швидкості атаки дробинок v залежно від пройденої відстані x для дроби різних фракцій знаходиться в межах 10%, що підтверджують прийнятність наведеної залежності.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Екологічна експертиза

При організації та виконанні робіт із струминно-абразивної обробки металевих поверхонь необхідно здійснювати заходи з екологічної експертизи та охорони навколишнього середовища. Ці заходи та роботи мають бути передбачені у проектній документації [38].

Також важливими є способи розміщення відходів виробництва, мають застосовуватися ресурсозберігаючі, маловідходні, безвідходні та інші прогресивні технології, що сприяють захисту навколишнього середовища, раціональному використанню та відтворенню природних ресурсів. У процесі виконання робіт не слід завдавати шкоди навколишньому середовищу.

Керівники підприємств, відповідальні за безпечне проведення робіт повинні:

- здійснювати систематичний контроль за дотриманням чинного законодавства, норм, інструкцій, наказів, вказівок у галузі охорони навколишнього середовища;

- включати у програми навчання всіх категорій робітників та відповідальних за безпечне ведення робіт питання щодо охорони навколишнього середовища та організувати проведення цього навчання.

Забороняється виконання робіт, що впливають на навколишнє середовище, не передбачені проектною документацією, узгодженою та затвердженою в установленому порядку. При виконанні робіт необхідно організувати збирання та утилізацію відходів відповідно до діючих нормативно-технічних актів. Відходи виробництва повинні вивозитися до місць, призначених для їх складування.

Забороняється створення стихійних звалищ, закопування (поховання) у землю невикористаних матеріалів, тари. При навчанні та підвищенні кваліфікації робітників, керівного персоналу до складу навчальних програм обов'язково включати питання охорони навколишнього середовища: основні закони та нормативні документи, види відповідальності за порушення правил виконання

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

робіт із заподіянням шкоди навколишньому середовищу. Керівники підприємств повинні здійснювати систематичний контроль за дотриманням чинного законодавства, норм, інструкцій, наказів у галузі охорони навколишнього середовища.

Основні аспекти перспективності даного методу очищення поверхні, можна охарактеризувати наступними значеннями: екологічність - на відміну від піскоструминної обробки цей метод вважається максимально безпечним і нешкідливим для людини. Якщо частинки піску на великій швидкості розбиваються в пил і забруднюють повітряний простір (існує великий ризик виникнення хвороби - силікозу, то дріб (залежно від типу) залишається цілим; економічність - абразивний матеріал використовується повторно, неодноразово; результативність - ефективність приблизно в 3 рази вище піскоструминного очищення.

5.2 Охорона праці

Інструкція з охорони праці передбачає основні вимоги безпеки для працівників при роботі на установках струминного очищення металевих поверхонь [39].

Установка струминного очищення металевих поверхонь призначена для очищення поверхні металевих виробів за допомогою струминної напірної установки в закритому просторі, укомплектованої автоматизованою системою збору, очищення дробу та заповнення бункеру, системою вентиляції та освітлення.

До роботи допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, пройшли вступний, первинний, на робочому місці інструктаж (повторний інструктаж з охорони праці на робочому місці не рідше ніж 1 раз на 3 місяці) з охорони праці, а також ознайомлені з правилами пожежної безпеки.

Обов'язки працівника на струминній установці:

- знати та дотримуватись інструкцій, а також правил та норм охорони

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

праці;

- дотримуватись правил поведінки на території підприємства, у виробничих, допоміжних та побутових приміщеннях;
- піклуватися про особисту безпеку та особисте здоров'я;
- знати місце розташування аптечки та вміти надавати першу допомогу потерпілому;
- знати порядок дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- знати принцип роботи, правила експлуатації та порядок обслуговування встановленого струминного обладнання;
- застосовувати у процесі роботи засоби індивідуального захисту;
- підтримувати порядок робочому місці.

Присутність сторонніх осіб у робочому просторі установки струминного очищення не допускається.

Під час роботи бути уважним, не відволікатися на сторонні справи та розмови та не відволікати інших працівників. При роботі спільно з іншими працівниками необхідно узгоджувати свої взаємні дії.

У процесі роботи на струминевих установках можливий негативний вплив наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів [40]:

- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- частки, що розлітаються при обробці поверхні;
- стиснене повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- рухомі машини та механізми, вантажі, що переміщуються та складаються, рухомі частини виробничого обладнання, негороджені, рухомі або обертові елементи;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- роботи на висоті;
- недостатня освітленість робочої зони.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту відповідно до чинних норм законодавства: спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). ЗІЗ, що видаються, повинні відповідати характеру та умовам роботи, забезпечувати безпеку праці.

Засоби індивідуального захисту, на які немає технічної документації, а також зі строком придатності, що минув, до застосування не допускаються. Використовувати спецодяг та інші ЗІЗ для інших, ніж основна робота, цілей забороняється. Особистий одяг та спецодяг необхідно зберігати окремо. Вносити спецодяг за межі підприємства забороняється.

Забороняється вживання спиртних напоїв та поява на роботі у нетверезому стані, у стані наркотичного чи токсичного сп'яніння.

Працівник зобов'язаний негайно сповіщати свого безпосереднього або вищого керівника робіт про будь-яку ситуацію, що загрожує життю та здоров'ю людей, про кожен нещасний випадок, що стався на виробництві, або про погіршення свого здоров'я, у тому числі про появу гострого професійного захворювання (отруєння), а також про всі помічені несправності обладнання чи пристроїв.

Виконання цих вимог є обов'язковим. Невиконання розглядається як порушення трудової дисципліни і тягне за собою відповідальність відповідно до чинного законодавства.

Перевірити справність спецодягу, спецвзуття та інших ЗІЗ (захисний костюм, рукавиці, шолом, фільтр повітря для дихання) на відсутність зовнішніх пошкоджень. Спецодяг повинен бути відповідного розміру, чистим і не обмежувати рухів. Спецодяг повинен бути застебнутий, не допускаються кінці, що звисають. Волосся прибрати під головний убір. Забороняється заколювати спецодяг шпильками, голками, тримати в кишенях гострі предмети. Отримати завдання у безпосереднього керівника виконання робіт, за необхідності пройти інструктаж.

Зробити зовнішній огляд струминної установки, переконатися у відсутності несправностей, відсутності в камері сторонніх предметів. Встановити

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

послідовність виконання операцій. Перевірити стан освітленості робочого місця. Підготувати робоче місце для безпечної роботи.

Перед початком роботи працівник повинен:

- перевірити правильність роботи окремих вузлів установки, а також всієї установки в цілому;
- відкрити клапан подачі повітря, переконатися в його наявності у системі, тиск не повинен бути меншим за 8 кгс/см²;
- відкрити зливні крани колектора та ресивера фільтра, переконатися у відсутності конденсату;
- подати електроживлення від заводської мережі, переконатися в її якості по вольтметру;
- перевірити кількість та якість дробу.

На підлозі в зоні технічного обслуговування навіть при правильній експлуатації може бути дріб (наприклад, винесений на оброблених виробках), на якому можна послизнутися і втратити рівновагу.

При виявленні несправності в роботі будь-яких вузлів або установки в цілому, необхідно зупинити роботу всієї установки до з'ясування причини, що спричинила цю несправність, усунути її і лише після цього продовжити роботу. Про несправність та виконану роботу необхідно зробити запис у сервісній книзі.

Забороняється розпочинати роботу на струминній установці за наявності наступних порушень вимог охорони праці:

- за наявності несправності, зазначеної в посібнику з експлуатації від заводу-виробника установки, за якої не допускається її використання;
- за відсутності чи несправності заземлення;
- за відсутності чи несправності запобіжних пристроїв;
- за відсутності чи несправності витяжної вентиляції;
- за відсутності чи несправності засобів індивідуального захисту;
- за відсутності протипожежних засобів, аптечки.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Працівник повинен особисто переконатися в тому, що всі необхідні заходи для забезпечення безпеки виконані. Про всі виявлені несправності та неполадки повідомити свого безпосереднього керівника і приступити до роботи тільки після їх усунення.

5.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Струменеве очищення поверхні металевих виробів від окалини, іржі, пригару, формувальної землі, зварювального флюсу, старої фарби, окисних і механічних забруднень має певні переваги перед іншими способами підготовки металевих поверхонь і забезпечує найбільш високу довговічність захисного покриття при експлуатації виробу в польових умовах, що особливо важливе для сільськогосподарської техніки. До того ж очищення дробом робить найменший вплив на навколишнє середовище. Це зафіксовано не тільки результатами досліджень наших співвітчизників, але і цілим поряд зарубіжних джерел [41].

Як базовий варіант приймаємо очисний модуль, подібний до технічної пропозиції, але з ручною обробкою сталеві поверхні механізованих інструментом, наприклад, шліфувальною машинкою, що в даний час широко застосовується в ремонтних майстернях при підготовці поверхні металевих виробів під захисні неметалічні покриття.

Очищення поверхні за допомогою механізованого інструменту проводиться в таких в таких же умови і з таким же складом основного і допоміжного устаткування, яке використовується і при дробеструменевому очищенні. Відмінність полягає в тому, що шліфувальна машинка замінена дробеструменевим апаратом, абразивний круг – дробеструменевим соплом і встановлений більш потужний повітряний компресор, що вимагає процесу дробеструменіння.

При розрахунку економічного ефекту від застосування дробеструменевому модуля враховуємо два чинники, які дають перевагу дробеструменевому очищенню, а саме вища продуктивність – в рази вище при однаковій собівартості,

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чим при очищенні механізованим інструментом, і краща кількість обробки, яка дозволяє збільшити довговічність захисного покриття не менше, чим в 2 рази.

Для вирішення даного завдання застосовуємо методику знаходження економічної ефективності використання в народному господарстві нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій, яка рекомендує розрахунок річного економічного ефекту від виробництва і використання нових засобів праці довготривалого застосування і з покращуваними якісними характеристиками за термін їх служби з урахуванням морального зносу визначати за формулою [42]:

$$\mathcal{E}_{нт} = (Z_{баз} - Z_{нт})N_{нт}, \quad (5.1)$$

де $\mathcal{E}_{нт}$ – річний економічний ефект від застосування нової техніки;

$Z_{баз}$ – приведені витрати на очищення 1 м^2 сталевій поверхні за допомогою базового варіанту;

$Z_{нт}$ – приведені витрати на очищення 1 м^2 сталевій поверхні за допомогою нової техніки;

$N_{нт}$ – річна продуктивність дробеструменевому модуля при двозмінній роботі.

Відомо, що приведені витрати Z визначаються за формулою:

$$Z = C + e_n K, \quad (5.2)$$

де C – собівартість очищення 1 м^2 сталевій поверхні;

$e_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності;

K – капітальні вкладення на 1 м^2 очищеної поверхні.

За даними Полтавського автоагрегатного заводу собівартість очищення сталевій поверхні по базовому варіанту і при дробеструменевому очищення приблизно рівні між собою і рівні

$$C_{баз} = C_{нт} = C = 102 \text{ грн./м}^2.$$

Струминно-абразивний модуль при годинній продуктивності $a_{нт} = 6\text{ м}^2/\text{год}$ дозволяє очистити за рік при двозмінній роботі і річному фонді робочого часу $T = 4006$ годин [10] площу

$$N_{нт} = a_{нт} T = 6 \cdot 4006 = 24036 \text{ м}^2/\text{год}. \quad (5.3)$$

Очищення за допомогою механізованого інструменту при $a_{баз} = 6\text{ м}^2/\text{год}$ за

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тих же умов дозволяє досягти річного об'єму

$$N_{\text{баз}} = a_{\text{баз}} T = 3 \cdot 4006 = 12018 \text{ м}^2/\text{год.} \quad (5.4)$$

Капітальні вкладення для базового варіанту складають $K_{\text{о.баз}}=200000$ грн, а для дробеструменевого модуля, де встановлений більш потужний повітряний компресор і струминно-абразивний апарат нагнітальної дії ємкістю 200 л, будуть $K_{\text{о.нт}}=240000$ грн.

Тоді капітальні вкладення на 1 м^2 очищеної сталевий поверхні складають:
для базового варіанту

$$K_{\text{баз}} = \frac{K_{\text{о.баз}}}{N_{\text{баз}}} = \frac{200000}{12018} = 16,64 \text{ грн./м}^2 \quad (5.5)$$

для нової техніки

$$K_{\text{нт}} = \frac{K_{\text{о.нт}}}{N_{\text{нт}}} = \frac{240000}{24036} = 9,98 \text{ грн./м}^2 \quad (5.6)$$

Таким чином, приведені витрати для базового варіанту

$$З = 102 + 0,15 \cdot 16,64 = 104,5 \text{ грн./м}^2$$

для нової техніки

$$З = 102 + 0,15 \cdot 9,98 = 103,5 \text{ грн./м}^2$$

Після підстановки набутих числових значень у формулу (4.4) знаходимо, що

$$\mathcal{E}_{\text{нт}} = (104,5 - 103,5)24036 = 24036 \text{ грн./год.}$$

Отриманий економічний ефект дає окупність додаткових капіталовкладень

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{о.нт}} - K_{\text{о.баз}}}{N_{\text{нт}}} = \frac{240000 - 200000}{24036} = 2,1 \text{ року} \quad (5.7)$$

що менше нормативного $T_{\text{ок,норм}}=5 - 7$ років.

До викладеного слід додати, що технічна пропозиція завдяки дробеструменевому очищенню, яке позитивно впливає на якість підготовки поверхні, дозволяє збільшити довговічність захисного покриття в 2 рази.

Таким чином, економічно безпечне дробеструменеве очищення може бути застосоване для створення дробеструменевих модулів нового покоління, в яких відсутні глибоко залягаючі бункери для збору відпрацьованого технічного дробу.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Струминно-абразивна обробка поверхні отримує все більш широке застосування в різних галузях промисловості. Очищення металевої поверхні струминно-абразивним методом полягає у руйнівній дії абразивного матеріалу (дробу) на поверхню заготовки.

Алюміній та його сплави широко використовуються в машинобудуванні, вагонобудуванні, літакобудуванні, автомобільній та інших галузях. Вони мають досить високі механічні властивості, особливо після гартування і охолодження у воді з наступним старінням. Всі алюмінієві сплави, що застосовуються в авіабудуванні, після анодування або хімічного оксидування додатково захищають від корозії лакофарбовими покриттями.

На базі діючого обладнання створено лабораторну установку нагнітального типу, з робочим об'ємом $0,1 \text{ м}^3$, з максимальною подачею дробу до сопла 30 кг/хв і максимальною витратою стислого повітря $6,5 \text{ м}^3/\text{хв}$, для дослідження процесу дробоструминного очищення від окалини поверхні металевих зразків.

Розроблено і апробовано нову методику визначення швидкості руху дробинок у струмені стисненого повітря. Розбіжність результатів теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень швидкості атаки дробинок v залежно від пройденої відстані x для дробу різних фракцій знаходиться в межах 10%, що підтверджують прийнятність наведеної залежності.

Розроблена технічна пропозиція завдяки дробоструминному очищенню, яке позитивно впливає на якість підготовки поверхні, дозволяє збільшити довговічність захисного покриття в 2 рази.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список джерел посилання

1. Андилахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями. Мариуполь : ПГТУ, 2006. 190 с.
2. Аксьонов П. М. Обладнання ливарних цехів. Київ : Машинобудування, 1977. 509 с.
3. Берукштіє Г. К., Кларк Г. Б. Корозійна стійкість металів та металевих покриттів в атмосферних умовах. Київ : Наука, 1971. 159 с.
4. Бобух Ж. С., Тананко І.А. Поліпшення зносостійкості лопаток дробометних апаратів. *Ливарне виробництво*, 1970. № 2, С.17-18.
5. Новіков Ф. В., Анділахай О. О. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 348 с.
6. Гольдберг М. М. Матеріали для лакофарбових покриттів. Київ : Хімія, 1972. 344 с.
7. Ратніков В. Н., Гісін П. Г. Методи фарбування промислових виробів. Київ : Хімія, 1975. 264 с.
8. Девкін М. М., Севостьянов Н. Д. Очищення поверхонь деталей металевим піском. Київ : Машинобудування, 1968. 68 с.
9. Проволоцький А. Є. Струменево-абразивна обробка деталей машин. Київ: Техніка, 1989. 177 с.
10. ДСТУ 3184-95. Дріб сталевий та чавунний технічний. Загальні технічні умови : [Чинний від 01.07.96]. Київ : Держспоживстандарт України, 1995. 34 с.
11. Заводу В. П., Петрусенко С. А. Електрогідравлічне вибивання стрижнів з алюмінієвих виливків. *Ливарне виробництво*, 1978. № 1, С. 27-28.
12. Карпов Я. С., Лепіхін П. П. Авіаційне матеріалознавство. Частина 1. Метали та сплави. Харків : ХАІ, 2004. 78 с.
13. Козлов Д. Ю. Бластинг. Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке. Екатеринбург : Оригами, 2007. 220 с.
14. Кузін А. В., Фомченко С. І. Корозійна стійкість пофарбованих чавунних виливків. *Ливарне виробництво*, 1976. № 3. С. 33-34.

					КРМ.133ГМмд_23.17.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		