

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ МИЙКИ І ОЧИСТКИ ЗАНУРЕНИМ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ З ТВЕРДИМИ ЧАСТИНКАМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Розроблено експериментальні стенди вібраційних машин для очистки і мийки. Для вимірювання тиску зануреного пульсуючого струменя застосовано оригінальний мембранний датчик та електронний осцилограф. Встановлено, що раціональний діапазон частот коливання вібраційного приводу машини лежить у межах від 14 Гц до 18 Гц та рекомендовано використовувати амплітуду коливання вібраційного приводу 2 мм при співвідношенні діаметра насадка до діаметра камери 1:10. Проведені дослідження мийки модельних забруднень підтвердили основні теоретичні припущення по механічній природі взаємодії миючої рідини із забрудненням та показали ефективність способу мийки із кавітаційними пухирцями, які отримуються при роботі вібраційної машини для мийки та ефективність способу очистки пульсуючим струменем рідини з твердими частинками або металевими кульками.

Ключові слова: вібраційна машина, очистка, мийка забруднень, максимальний тиск струменя, конструктивні параметри, режими роботи вібраційного приводу.

STARII A.R.

Khmelnitskyi National University

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARAMETERS OF THE DRIVE OF THE VIBRATION MACHINE FOR WASHING AND CLEANING BY IMMEDIATE PULSATING FLUID OF LIQUID FLUID

Experimental stands of vibrating machines for cleaning and washing have been developed. An original membrane sensor and an electronic oscilloscope were used to measure the pulsating pressure of the jet. For the washing process, a method was used to create a gas-liquid pulsating jet of liquid in the pulsation chamber of the vibrating machine by oscillating the elastic membrane with disks. To increase the pressure of the jet during the cleaning process in the vibrating machine, it was proposed to connect the pulsation chamber and the cleaning tank with a non-return valve of the membrane type. To confirm the nature of the physical process of the mechanism of mechanical interaction of the liquid jet with contamination during washing, comparative studies of different washing methods were conducted; ultrasonic, jet and jet-pulsating gas-liquid washing. As a result of experimental studies it was found that the use of a diaphragm check valve in the drive of a vibrating cleaning machine allows to increase the maximum pressure of the immersed pulsating fluid jet by 0.045 MPa at oscillation frequencies from 14 to 18 Hz, which allows to increase productivity. It is established that the rational range of oscillation frequencies of the vibrating drive of the machine is in the range from 14 Hz to 16 Hz and it is recommended to use the oscillation amplitude of the vibrating drive 2 mm at a ratio of nozzle diameter to chamber diameter 1:10. Studies of model contamination washing confirmed the main theoretical assumptions on the mechanical nature of the interaction of detergent with contamination and showed the effectiveness of the method of washing with cavitation bubbles obtained by vibrating washing machine and the effectiveness of pulsating jet cleaning of solid particles or metals.

Keywords: cleaning, dirt washing, vibrating machine, maximum jet pressure, design parameters, operating modes of the vibrating drive.

Вступ

На поверхні деталей і складальних вузлів в процесі їх виготовлення, експлуатації машин і устаткування утворюються технологічні та виробничі забруднення. При технічному обслуговуванні та ремонті виникає необхідність очищення та мийки деталей при їх збиранні у вузли. Якісне очищення об'єктів від забруднень досягається комплексним фізико-хімічним і механічним впливом на нього, перше – забезпечується використанням хімічних речовин, що впливають на забруднення, друге – використанням механічної енергії впливу на забруднення (скребки, щітки, струмені рідини, струмені абразиву). Частина спеціального обладнання, яке виготовляється для миття та очищення деталей досить висока але в умовах дрібносерійного виробництва для ремонту устаткування придбання вартісного обладнання стає недоцільно. Тому виникає потреба розроблення простих за конструкцією та недорогих машин для миття та очищення деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями теорії та практики очистки і мийки деталей при виготовленні та ремонті займалися багато вчених дослідників, а саме: Ю.С. Козлов, А.А. Куликов, А.П. Садовський, М.Ф. Тельнов, Р. І. Сілін та ін. [1–4], але поява нових технологічних процесів виготовлення деталей, нових вимог до якості ремонту різноманітних об'єктів призводить до пошуку нових технологій і методів та створення нових конструкцій установок для очистки та мийки деталей об'єктів, особливо у дрібносерійному та одиничному типах виробництва при виготовленні деталей і ремонту обладнання. Якісне очищення об'єктів досягається за рахунок комплексної взаємодії фізико-хімічного та механічного впливу миючого струменя на забруднення. Фізико-хімічний фактор забезпечується застосуванням нагрітих миючих розчинів, що пов'язано зі значними матеріальними витратами на придбання і нагрів цих розчинів при несприятливому впливі їх на навколишнє природне середовище. Тому, розробка технології для поліпшення якості ремонту і технічного

обслуговування обладнання, з поверхні деталей та вузлів необхідно видаляти не тільки слабо і середньо зв'язані забруднення, але і міцно зв'язані, які займають близько 10% загальної площі поверхні об'єктів і мають найбільшу трудомісткість видалення. Підвищення ефективності очисних та миючих установок досягається за рахунок підвищення механічної дії струменя на забруднення. Останнім часом зростання ефективності очищення машин при використанні технологій струминного очищення досягається за рахунок збільшення кінетичної енергії струменя шляхом підвищення тиску подачі миючої рідини. Робота обладнання пов'язана зі значними енергетичними затратами через велику потужність приводу, яка необхідна для подачі миючої рідини. З метою очистки та мийки конкретного забруднення необхідно розробляти технології, які здійснюють зрив забруднюючого матеріалу під дією додаткових напружень, створених на поверхні, що очищається, потоком миючої рідини за допомогою частинок поліестіролової крихти (ПС) або металевих кульок. Для мийки та очистки забруднень перспективним є застосування вібраційних приводів в машинах та явище кавітації, яке має значну руйнівну енергію, а газові пухирці, які не сплеснулися, збільшують силу тертя газорідного потоку на поверхні забруднення [3]. Відомі способи та конструкції машин та пристроїв з вібраційним приводом для очистки та мийки деталей та вузлів різних забруднень, які виникають при виробництві або ремонті обладнання та техніки [5–8]. Але створення вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора [5–8], у якому робоче тіло виступає як інструмент, стримується недостатністю експериментальних досліджень в цій області.

Актуальність дослідження

Потреба у створенні недорогих машин для очищення та миття деталей машин при ремонті у дрібносерійному та одиничному виробництві є актуальним науково-технічним завданням. Метою роботи є дослідження впливу конструктивних параметрів вібраційної машини для очищення і мийки на продуктивність процесу та визначення раціональних режимів роботи вібраційного приводу із застосуванням занурених пульсуючих струменів рідини з кавітаційними пухирцями або твердими частинками.

Виклад основного матеріалу

Режими очистки та мийки поверхні деталі потоком миючої рідини (оптимальну технологію) визначають, виходячи з аналізу гідродинамічної взаємодії миючої рідини з частинками з існуючим забрудненням на деталях, а також на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень. Не применшуючи при цьому значення фізико-хімічних факторів, обумовлених активністю миючого середовища, вважається, що процес механічного впливу рідини на забруднення є однією з основних умов, що визначає ефективність очистки та мийки. Процес очистки та мийки поверхні виробу потоком рідини з твердими частинками можна розділити на наступні, зв'язані між собою, елементарні процеси: формування пульсуючого струменя рідини з твердими частинками, подача потоку рідини до поверхні, що очищується, відрив частинок забруднень та їх змивання з поверхні, що очищається, зависання забруднень у потоці рідини, транспортування забруднень до фільтруючого пристрою. Розділимо мийку та очистку на окремі процеси з погляду на особливості механічної дії на забруднення поверхонь. В процесі мийки в основному проходить зрив частинок забруднення потоком миючої рідини завдяки силам тертя та збільшеної величини турбулентності потоку. При очистці забруднень, при механічному впливі на забруднення, додатково починають діяти інерційні сили твердих частинок, які створюють процеси мікрорізання та збільшують нормальні та дотичні напруження в шарі забруднення.

Як відомо [2, 9, 10] найбільша продуктивність процесу мийки характеризується максимальним значенням тиску пульсуючого струменя (або швидкості), на поверхні яка промивається, ступенем його турбулізації, а продуктивність процесу очистки залежить, як від максимального тиску пульсуючого струменя, так і від кількості та масових характеристик твердих частинок, що ежектуються соплом.

Запропонована конструкція вібраційної машини [8] містить ванну для очищення забруднень зануреним пульсуючим потоком твердих частинок та ванну для мийки пульсуючим струменем кавітаційних пухирців. Створення пульсуючого струменя в обох ваннах отримується за допомогою камери пульсації з насадком при роботі вібраційного приводу машини. Основними завданнями експериментальних досліджень було: визначення залежності максимального тиску пульсуючого струменя рідини з насадка від режимів роботи приводу, а саме частоти та амплітуди коливань, взаємозв'язку конструктивних параметрів вібраційної машини та співвідношенню діаметра насадка до діаметра камери пульсації.

На рис. 1 показано фотографію експериментального стенду вібраційної машини для мийки та очистки забруднень потоком твердих часток з встановленим мембранним датчиком тиску над отвором насадка.

Для вимірювання миттєвого значення гідродинамічного тиску зануреного пульсуючого струменя рідини з отвору насадка застосовано тензOMETричний датчик тиску МРМ489 і USB осцилограф ВМ8020, який з'єднаний з персональним комп'ютером через порт USB і обслуговується програмним продуктом «DiSCO». Схема підключення датчика приведена на рис. 2.

Для процесу мийки було застосовано спосіб створення газорідного зануреного пульсуючого струменя рідини у камері пульсації вібраційної машини шляхом коливання пружної мембрани з дисками [11, 12]. У камері пульсації 2, при втягуванні рідини, виникає падіння тиску нижче атмосферного і на вході насадка виникає кавітаційна каверна, з якої кавітаційні пухирці попадають у камеру пульсації 2 (рис. 3). Після фази стиснення рідини у камері пульсації 2 пухирці сплескуються, а деякі зменшуються у розмірах та викидаються у струмені рідини і взаємодіють із забрудненою поверхнею, працюючи, як тверді частинки, що зривають шар забруднення. Але поява газової фази 3 у камері пульсації 2 зменшує об'єм рідини, який потім виштовхується з насадка та зменшує величину максимального тиску пульсуючого струменя.

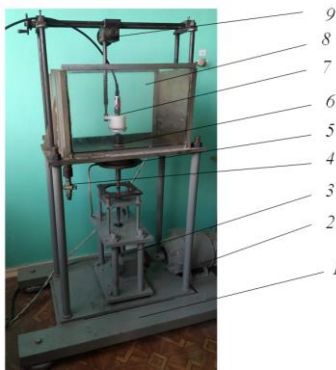


Рис. 1. Експериментальний стенд вібраційної машини: 1 – основа; 2 – електродвигун постійного струму; 3 – вібропривід; 4 – зливний кран; 5 – камера пульсації; 6 – насадок; 7 – датчик тиску; 8 – смінь; 9 – механізм переміщення датчика

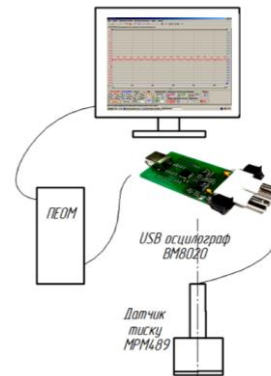


Рис. 2. Схема підключення датчика тиску до персонального комп'ютера для вимірювання миттєвого тиску зануреного пульсуючого струменя рідини

Тому для збільшення величини тиску зануреного пульсуючого струменя в процесі очищення забруднень у вібраційній машині [8] було запропоновано з'єднати камеру пульсації 5 (рис. 1) та смінь для очищення 8 зворотним клапаном мембранного типу рис. 4. Його застосування зменшує виникнення значного об'єму газової фази при втягуванні рідини у камеру пульсації 5 (рис. 1) і призводить до викидання струменя з насадка 6 збільшеного об'єму рідини та тиску пульсуючого струменя.

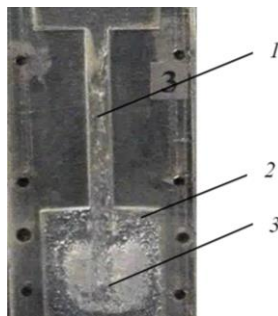


Рис. 3. Фотографія візуалізації фізичного явища втягування рідини крізь насадок у камеру пульсації вібраційної машини: 1 – канал насадка; 2 – камера пульсації; 3 – кавітаційні пухирці

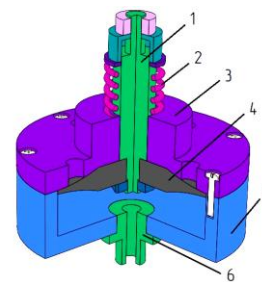


Рис. 4. Схема зворотного клапана мембранного типу: 1 – шток; 2 – пружина; 3 – кришка; 4 – гумовий пелюстковий клапан; 5 – корпус; 6 – штуцер

Результати експериментальних досліджень залежності максимального тиску зануреного пульсуючого струменя, який утворюється за допомогою камери пульсації та вібраційного приводу, від частоти коливань та конструктивних параметрів приводу приведені на рис. 5 та рис. 6.

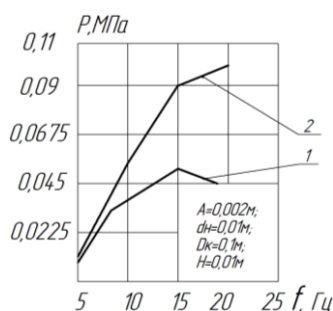


Рис. 5. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя від частоти: 1 – без зворотного клапана; 2 – із застосуванням у камері пульсації зворотного клапана

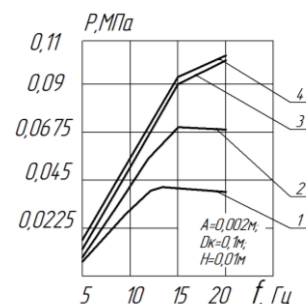


Рис. 6. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя від частоти із застосуванням зворотного клапана: 1 – діаметр насадка 6 мм; 2 – діаметр насадка 8 мм; 3 – діаметр насадка 10 мм; 4 – діаметр насадка 12 мм

У результаті проведених досліджень (рис.5) встановлено, що застосування зворотного клапана мембранного типу дозволяє збільшити величину максимального тиску зануреного пульсуючого струменя на частотах від 10 до 18 Гц та уникнути значного росту газової фази при втягуванні рідини у камеру пульсації, що призводить до збільшення продуктивності вібраційної машини на операції очистки. Встановлено (рис. 6), що при збільшенні діаметра насадка при незмінному розмірі камери пульсації тиск пульсуючого

струменя зростає, але збільшення діаметру насадка до 12 мм не дає значного росту значень миттєвого тиску пульсуючого струменя.

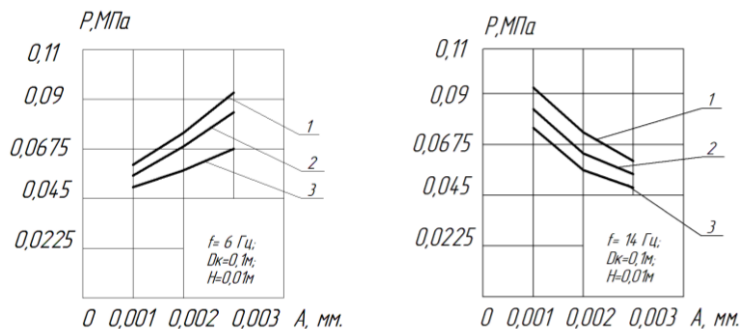


Рис. 7. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя від амплітуди коливань на різних частотах при зміні діаметра насадка: 1 – діаметр насадка 10 мм; 2 – діаметр насадка 8 мм; 3 – діаметр насадка 6 мм

зростання величини максимального тиску а при частотах більше 14 Гц веде до зменшення величини максимального тиску рис. 7.

Проведено експериментальні дослідження впливу на максимальний тиск зануреного пульсуючого струменя відстані від зрізу сопла до поверхні датчика при постійній частоті та різних діаметрів насадків. Встановлено, що при збільшенні відстані від сопла до датчика величина тиску пульсуючого струменя зменшується (рис. 8) та зменшується із зміною діаметру насадка.

Для підтвердження природи фізичного процесу мийки та механізму механічної взаємодії струменя рідини з кавітаційними пухирцями із забрудненням були проведені порівняльні дослідження різних методів мийки. Досліджувались ультразвуковий, струминний та струмино-пульсуючий газорідний способи промивання. Для усунення впливу хімічних факторів на процес миття в якості робочого тіла використовувалась водопровідна вода при $T = 20^{\circ}\text{C}$. Для досліджень процесу мийки вільним струменем рідини та для мийки зануреним пульсуючим струменем рідини для однорідності умов експерименту використовувався насадок діаметром 10 мм. Для проведення досліджень мийки модельних забруднень застосовано стенд (див. рис. 1) де замість датчика кріпився тримач для зразків. Зворотний клапан був виключений з метою отримання кавітаційних пухирців, які не сплеснулися, у пульсуючому зануреному струмені рідини. Дослідження проводились при наступних параметрах: частота коливань вібраційного приводу 14 Гц, амплітуда коливань 2 мм, діаметр насадка 10 мм при діаметрі камери 100 мм, відстань до зрізу насадка 30 мм.

На рис. 9 показано фотографії поверхні зразків із залишками в'язких забруднень (алмазна паста), які промивалися різними способами. На рис. 9,а показано фотографію поверхні зразка після мийки в ультразвуковій ванні. На поверхні остаточного забруднення видно «кратери», які утворилися при зростанні та сплескуванні кавітаційних пухирців. На рис. 9,б показано фотографію поверхні зразка, який промивався вільним струменем рідини. На зразку добре розрізняється зона дії нормальних напружень рідини (у центрі) та зона дії дотичних напружень тертя рідини (по краях дії потоку). На рис. 9,в та рис. 9,г показано фотографії поверхонь зразків, які промивалися пульсуючим зануреним струменем рідини із газовими пухирцями на початку та в кінці оброблення. Поверхня модельного забруднення має вигляд «кратероподібних» лунок із зміщенням від центру зразка. Це говорить про вдавлення та зрушення модельного забруднення кавітаційними пухирцями, що не сплеснулися. Пухирці, розмірами від 0,1 до 0,2 мм, завдяки поверхневому натягу мають у середині значний тиск і працюють із модельним забрудненням як «тверді» частинки, а при розтіканні струменя по поверхні забруднення відповідно збільшують дотичні сили тертя на її поверхні. Проведені дослідження мийки модельних забруднень підтвердили основні теоретичні припущення [4, 12] по механічній природі взаємодії муючої рідини із забрудненням та показали ефективність способу мийки із кавітаційними пухирцями, які отримуються при роботі вібраційної машини для процесу мийки.

Для проведення досліджень процесу очистки забруднень було розроблено експериментальний стенд вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок (рис. 10), який містить основу 1, на якій встановлено вібропривід 2 та електродвигун постійного струму 3. На стійках розміщено ванну 7. На дні ванни 7 через різьбовий отвір закріплено корпус камери пульсації та нагвинчено насадок 4, а між корпусом камери пульсації і диском встановлено пружну мембрану з дисками, яка закріплена до штока віброприводу 2.

Порожнина камери пульсації і ванна може з'єднуватись зворотним мембранним клапаном, який встановлюється у ванну 7. У порожнину ванни 7 встановлено контейнер 6 з боковими сітками та сіткою, яка розташована над насадком 4, у коробі розміщено сопло 2 (рис. 11). У контейнер 6 є можливість засипати тверді частки полістиролової крихти (ПС) або металеві кульки. У ванну 7 заливається рідина, яку після

Тому для камери пульсації діаметром 100 мм найбільш ефективним по створенню максимального тиску зануреного пульсуючого струменя є насадок діаметром 10 мм. Рациональним діапазоном частот коливання вібраційного приводу машини з досліджень (рис. 6) встановлено, що він знаходиться від 14 до 18 Гц.

Експериментально визначено залежність зміни величини тиску зануреного пульсуючого струменя від зміни амплітуди при постійній частоті. Встановлено, що збільшення амплітуди коливань приводу на малих частотах дає

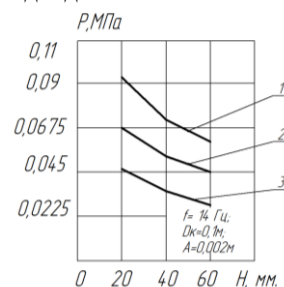


Рис. 8. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя в залежності відстані від сопла до датчика H при зміні діаметра насадка: 1 – діаметр насадка 10 мм; 2 – діаметр насадка 8 мм; 3 – діаметр насадка 6 мм

спрацювання можна злити крізь кран. На стійках встановлено гвинтовий механізм руху 8, який дозволяє переміщення у горизонтальному або вертикальному напрямках датчика або зразка, який оброблюється.

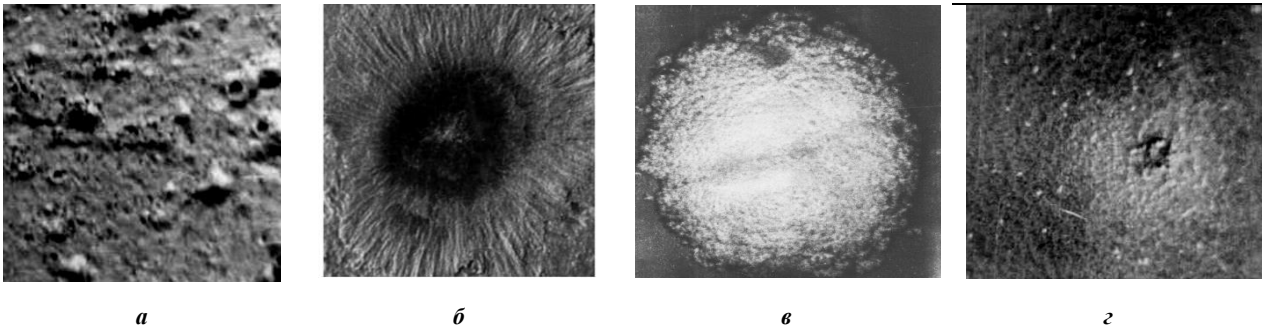


Рис. 9. Фотографії разків із модельним забрудненням (алмазна паста) при мийки різними способами:
а – при промиванні в ультразвуковій ванні; б – при промиванні вільним струменем рідини; в – при промиванні зануреним пульсуючим струменем рідини із газовими пухирцями на початку оброблення; з – при промиванні зануреним пульсуючим струменем рідини із газовими пухирцями в кінці оброблення

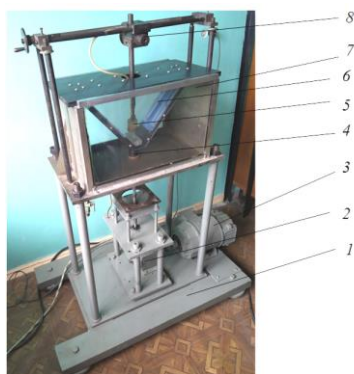


Рис. 10. Фотографія стенду вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок деталей:
1 – основа; 2 – вібропривід; 3 – електродвигун постійного струму; 4 – насадок; 5 – пристрій для утримання зразків; 6 – контейнер; 7 – ванна; 8 – механізм переміщення зразка із забрудненням

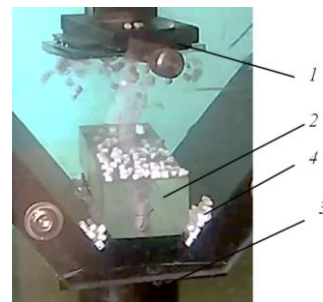


Рис. 11. Фотографія тримача зразків та фрагменту сопла з насадком вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок ПС: 1 – тримач зразків; 2 – сопло; 3 – насадок; 4 – тверда крихта ПС

Проведено експериментальні дослідження процесу очистки модельних забруднень на стенді (рис. 10) пульсуючим струменем з твердими частинками. У якості твердих частинок застосовувались: крихта ПС та металеві кульки діаметром 0,8 мм. У якості модельного забруднення використано в'язку суміш пилу на основі пластиліну, яку наносили на поверхню сталевого зразка розміром 40×40 мм. Вигляд зразка із модельним забрудненням до очищення показано на рис. 12. Для приводу вібраційної машин були вибрані раціональні режими оброблення: частота коливань вібраційного приводу 18 Гц, амплітуда коливань 2 мм, діаметр насадка 10 мм при діаметрі камери 100 мм, відстань до зрізу насадка 30 мм та застосовано зворотний клапан, який з'єднує камеру пульсації та ванну для очистки. Кут атаки струменя 90°. На рис. 13 показано фотографію зразка з модельним забрудненням після оброблення зануреним пульсуючим струменем рідини з твердими частинками (ПС). Поверхня має шаржований вигляд та спостерігаються результати врізання та зрушення частки забруднення. Процес очищення за часом можна прискорити збільшенням маси твердої частинки застосувавши металеві кульки.

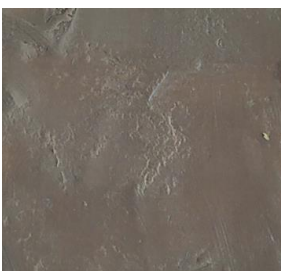


Рис. 12. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням перед обробленням

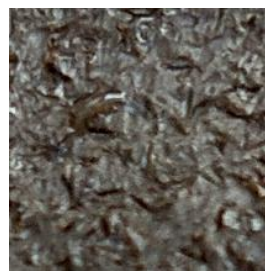


Рис. 13. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим струменем рідини з твердими частинками (ПС), кут 90°

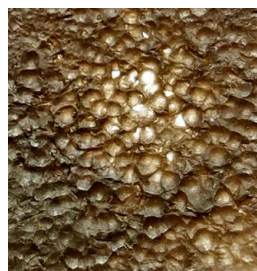


Рис. 14. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим струменем рідини металевими кульками, кут 90°



Рис. 15. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим струменем рідини металевими кульками, кут 125°

На рис. 14 показано фотографію зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим зануреним струменем рідини з металевими кульками 0,8 мм. На поверхні зразка спостерігаються результати процесу вдавлювання кульки у в'язке забруднення та наступне зрушення частки забруднення при дотичному руху кульки у потоці рідини по поверхні забруднення.

Проведено дослідження продуктивності очищення модельного забруднення зануреним пульсуючим струменем з металевими кульками за часом із зміною кута атаки струменя. Інтенсивність продуктивності очищення визначалось за середнім відносним зменшенням ваги зразка. Зменшення ваги зразків визначали за різницею ваги до та після обробки протягом контрольованого часу за формулою:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (1)$$

де m_1 – вага зразка до очищення; m_2 – вага зразка після очищення.

Продуктивність очищення визначали залежністю:

$$G = \Delta m(F, t), \quad (2)$$

де Δm – зміна ваги зразка; (F, t) – функція зміни ваги за часом.

Масове зношування металевих кульок та зміна шорсткості основи зразка практично не спостерігалася завдяки виникненню на поверхні незначних напружень пружного характеру. На рис. 16 показано залежність продуктивності знімання з поверхні зразка модельного забруднення за часом оброблення та зі зміною кута атаки пульсуючого струменя рідини з твердими частинками (металевими кульками) до поверхні, що очищається.

У результаті проведеного дослідження продуктивності очищення модельного забруднення встановлено, що збільшення кута атаки пульсуючого зануреного струменя з металевими кульками з 90° до 125° призводить до зростання продуктивності очистки (починають значно впливати дотичні напруження між кулькою та забрудненням, що призводять до його більш активного зривання). Подальше збільшення кута веде до незначного зростання продуктивності обробки (починається зменшення впливу нормальних напружень між кулькою та забрудненням).

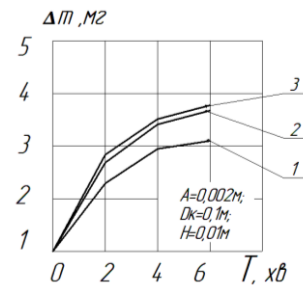


Рис. 16. Графіки продуктивності знімання з поверхні зразка модельного забруднення за часом при різних кутах затопленого струменя з твердими частинками від вертикальної осі струменя до поверхні: 1 – кут 90° ; 2 – кут 125° ; 3 – кут 135°

Висновки

1.1 У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування зворотного клапану мембранного типу в приводі вібраційної машини для очистки дозволяє збільшити величину максимального тиску зануреного пульсуючого струменя рідини на 0,045 МПа при частотах коливання привода від 14 до 18 Гц, що дає можливість збільшити продуктивності процесу очищення забруднень.

1.2 Встановлено, що раціональний діапазон частот коливання вібраційного приводу машини для мийки та очистки лежить у межах від 14 до 18 Гц та рекомендована амплітуда коливання вібраційного приводу 2 мм при співвідношенні діаметра насадка до діаметра камери 1:10.

1.3 Проведені дослідження мийки модельних забруднень підтвердили основні теоретичні припущення по механічній природі взаємодії муючої рідини із забрудненням та показали ефективність способу мийки із кавітаційними пухирцями, які отримуються при роботі вібраційної машини та ефективність способу очистки пульсуючим струменем рідини з твердими частинками або металевими кульками із застосуванням зворотного клапану у камері пульсації вібраційної машини.

1.4 Проведені експериментальні дослідження зміни величини максимального тиску зануреного пульсуючого струменя від відстані зрізу сопла до поверхні датчика при постійній частоті та при різних діаметрах насадків показали, що при збільшенні відстані від зрізу сопла до датчика величина тиску пульсуючого струменя зменшується та зменшується із зміною діаметру насадка у меншу сторону. Рекомендовано проводити процес очистки на відстані від сопла в межах від 30 до 60 мм.

1.5 У результаті проведених досліджень впливу кута атаки пульсуючого струменя встановлено, що при очищенні в'язких забруднень продуктивність процесу зростає при розташуванні забрудненої поверхні під певним кутом. Рекомендований діапазон кутів атаки зануреного пульсуючого струменя рідини з твердими частинками до поверхні знаходиться в межах 125° – 130° .

Література

1. Козлов Ю. С. Очистка изделий в машиностроении / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, Н.Ф. Тельнов. – М. : Машиностроение, 1982. – 261 с.
2. Тельнов Н. Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н.Ф. Тельнов. – М. : Колос, 1983. – 256 с.
3. Садовский В. И. Очистка деталей гидравлическими струями при ремонте тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / В. И. Садовский. – М., 1972. – 146 с.

4. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора : монографія / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 386 с.
5. А. с. 1130422 СССР, МКИ³ В 08 В 3/10. Устройство для мойки мелких изделий / А.И. Гордеев, Р.И. Силин, Н.А. Сивченко (СССР). – № 3613130/28–12 ; заявл. 15.04.83 ; опубл. 23.12.84, Бюл. № 47.
6. А. с. 880519 СССР, МКИ³ В 08 В 3/10. Устройство для промывки изделий / Р.И. Силин, В.П. Кошель, А.И. Гордеев (СССР). – № 2869224/28–12 ; заявл. 17.12.79 ; опубл. 15.11.81, Бюл. № 42.
7. Пат. на корисну модель 116030 України, МПК В03В 5/02. Вібраційна машина для мийки радіотехнічних виробів / А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.Г. Мігаль (Україна) ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – у 2016 10059 ; Заяв. 03.10.2016 ; Опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
8. Пат. на корисну модель № 132837, МПК В08В 3/10. Вібраційна машина для очистки забруднень потоком твердих часток та мийки деталей при ремонті обладнання / М.Є. Скиба, А.Р. Старий, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв. – U201810344 ; Заявл. 19.10.2018. Опубл. 11.03.2019. Бюл. № 5.
9. Андилахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь : ПГТУ, 2006. – 190 с.
10. Андилахай А. А. Условия повышения производительности абразивной обработки / А.А. Андилахай. – Вісник НТУ "ХПІ". – 2012. – № 53(959). – С. 42–47.
11. Старий А. Р. Технологія очистки та мийки забруднень деталей машин при ремонті потоком рідини з твердими частками та вібраційна машина для її реалізації / А.Р. Старий А.І. Гордєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 4. – С. 7–14.
12. Гордєєв А. І. Аналіз процесу взаємодії газорідного середовища з поверхнею деталей при мийці перед нанесенням покриттів. Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій / А.І. Гордєєв, А.Р. Старий // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції. 13–15 верес. 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 14-15.

References

1. Kozlov Yu. S., Kuznetsov O. K., Telnov N. F. Cleaning products in mechanical engineering. Moscow: Mechanical Engineering, 1982. 261 p.
2. Telnov N. F. Technology of cleaning of agricultural machinery. M.: Kolos, 1983. 256 p.
3. Sadovskiy V. I. Cleaning of parts with hydraulic streams in the repair of tractors, automobiles and agricultural machines: dis. cand. tech. sciences: 05.02.08. M., 1972. 146 p.
4. Silin R. I., Hordeev A. I. Vibration equipment on the basis of a hydropulse: a monograph. Khmelnytsky: KhNU, 2007. 386 p.
5. A. s. 1130422 USSR, MKI³ at 08 V 3/10. Device for washing small articles / A.I. Hordeev, R.I. Silin, N.A. Syvchenko (USSR). – № 3613130 / 28-12; stated. 04.15.83; published 23.12.84, Bull. № 47.
6. A. s. 880519 USSR, MKI³ at 08 V 3/10. Device for product rinsing / R.I. Silin, V.P. Koshel, A.I. Hordeev (USSR). – No. 2869224 / 28-12; stated. 17.12.79. Published 10.15.81. Bull. № 42.
7. Pat. to utility model 116030 of Ukraine, IPC B03B 5/02. Vibration machine for sinking radio products / A.I. Hordeev, O.A. Hordeev, V.G. Migal. Applicant and patent holder Khmelnytskyi National University. u 2016 10059; Application 03.10.2016; Published 05.10.2017, Bul. № 9.
8. Pat. for utility model No. 132837, МПК В08В 3/10 Vibration machine for purification of contaminations by a stream of solid particles and washing of details at repair of equipment. M.E. Skyba, A.R. Stariy, A.I. Hordeev, O.A. Hordeev. U201810344; Declared 19.10.2018. Published 03.11.2019. Bull №5.
9. Andilakhai A. A. Abrasive treatment of parts with flooded jets. Mariupol: PGUTU, 2006. 190 p.
10. Andilakhai A. A. Conditions for increasing the productivity of abrasive processing. Bulletin of NTU "KhPI", № 53. 2012. pp. 42–47.
11. Stariy A. R., Hordeev A. I. Technology of cleaning and washing of contaminants of machine parts during repair by the flow of liquid with solid particles and a vibrating machine for its implementation. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Issue 4. 2019. P. 7–14.
12. Hordeev A. I., Stary A. R. Analysis of the process of interaction of gas-liquid medium with the surface of parts during washing before coating. Problems of durability of materials, coatings and structures. Abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference. 13–15 September. 2018 Vinnytsia: VNTU, 2018. pp. 14-15.

Рецензія/Peer review : 26.09.2021 p.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 p.