

**РОБОЧІ ОРГАНИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ
БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Григорій Мачишин

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
03680, Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, e-mail: ma4ichin@ukr.net*

**WORKING BODIES MACHINES AND MECHANISMS FOR SURFACE CLEANING
CONSTRUCTION MACHINERY**

Gregory Machyshyn

*Kyiv National University of Construction and Architecture,
03680, Povitroflotsky Avenue 31, Kyiv, Ukraine, e-mail: ma4ichin@ukr.net*

АНОТАЦІЯ. Проведено аналіз існуючих способів очищення поверхонь будівельної техніки для проведення оцінювання технічного стану механізмів та складових частин машини. Проаналізовано механічні способи очищення поверхонь. Розглянуті математичні моделі взаємодії циліндричних робочих органів машин та механізмів для очищення поверхонь.

Ключові слова: очищення, абразив, вільний абразив, жорсткий абразивний інструмент, гнучкий еластичний абразивний інструмент

АННОТАЦИЯ. Проведен анализ существующих способов очистки поверхностей строительной техники для проведения оценки технического состояния механизмов и составных частей машины. Проанализированы механические способы очистки поверхностей. Рассмотрены математические модели взаимодействия цилиндрических рабочих органов машин и механизмов для очистки поверхностей.

Ключевые слова: очистка, абразив, свободный абразив, жесткий абразивный инструмент, гибкий эластичный абразивный инструмент.

ABSTRACT. Purpose. Real surface cleaning of construction vehicles running on repair companies. However, there is often a need for an operation to clean up a small part of the surface at the construction site. For these operations leverage working parts for cleaning, combined with manual or electric pneumatic tools. But the lack of information on the use of working surface cleaning in most cases leads to misuse. **Purpose.** Research methods and techniques of building surface cleaning equipment. **Methodology of research.** Research carried out by sampling. It analyzes the selected part ways and methods of cleaning. But research is organized in such a way that this part of the selected methods and techniques reflect the totality. **Findings.** The result of the study is the choice of polymer and abrasive working body shapes for disk operations to clean surfaces of construction machinery. The selected your body is universal, because it may be cleaned as various metallic and non-metallic surfaces. During the polymer- abrasive brush removes dirt only layer that enables detection of cracks. **Research limitations/implications.** The use of polymer- abrasive working bodies in combination with electric or pneumatic hand tool allows you to efficiently clean the surface. The shock effect of abrasive grains on the surface similar to abrasive percussion sandblasting during processing. The use of polymer- abrasive working bodies do not require the use of powerful ventilation and the use of special personal protective worker, not causes of occupational diseases. **Originality/value.** Polymer- abrasive working parts may be used not only in engineering, but also during repair work at a construction site and at home. Their use does not require the use of electric or pneumatic hand tool of great power. During operation there is no need of pressing tool to the surface, which is treated that does not lead to rapid fatigue of the worker

Key words: cleaning, abrasive, abrasive free hard abrasive tools, abrasive tools flexible.

Подано 18.12.2013; прийнято 8.01.2014

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У процесі експлуатації будівельної техніки на її деталях та металоконструкціях (особливо у важкодоступних місцях для візуального огляду) можливе виникнення осередків корозії, тріщин та мікротріщин від втомленості металу [1]. Своєчасне виявлення цих пошкоджень може подовжити термін роботи машини, тому значну увагу

приділяють роботам з технічного обслуговування та діагностування. За їхньою допомогою проводять оцінювання технічного стану механізмів та складових частин машини, що дозволяє встановити потребу у поточному ремонті окремих елементів машини без її повного розбирання, а також залишковий ресурс як машини в цілому, так і її окремих елементів до капітального

ремонту [2]. Особливу увагу слід приділяти огляду стану металевих конструкцій, а саме: зварних з'єднань (відсутність тріщин, деформацій, стоншення стінок внаслідок корозії), стану робочого органа, стану блоків, осей та деталей їхнього кріплення [3].

МЕТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Технологія ремонту кар'єрних екскаваторів [4] дозволяє виконувати операції по очищенню його поверхонь та зачищенню зварних швів безпосередньо на монтажному майданчику або в умовах заводу, майстерні. Для виконання даних робіт можливе використання як ручних машин [5, 6], так і переносних або стаціонарних.

Отже виникає необхідність в проведенні аналізу способів та методів очищення поверхонь будівельних машин.

ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ

Повне очищення як легко доступних, так і важкодоступних поверхонь будівельної техніки від різного роду забруднень можливе при використанні хімічного способу очищення [7]. Воно потребує зняття деталей з машини та повного занурення їх у ємність з хімічним реагентом, що дозволяє повністю очистити поверхні, однак даний спосіб має цілий ряд недоліків, а саме: технологічна складність процесу; високий процент браку; токсичність та пожежо-небезпечність; корозія обладнання, яке використовується для очищення; велика вартість утилізації відходів [8]. Тому такий спосіб не може широко використовуватись, адже для його здійснення необхідні великі цехи з потужною вентиляцією та спеціальним обладнанням.



Рис. 1. Піскоструминна обробка поверхні

Fig. 1. Sandblasting the surface

До найпоширенішої обробки поверхонь будівельної техніки та конструкцій на великих виробництвах відносять обробку вільним абразивом, а саме піскоструминна (рис. 1) та гідроструминна (рис. 2) обробка – холодна абразивна обробка поверхонь різноманітних матеріалів шляхом пошкодження їхньої поверхні піском або іншими абразивами, які розпилюють із абразиво-струминного апарату за допомогою стисненого повітря або рідини. Абразивні часточки при контакті з поверхнею металу очищують його від фарби, бруду, іржі, але – виникає пластична деформація поверхневого шару утворюючи наклеп – зміцнення поверхневого шару внаслідок якого метал із м'якого та піддатливого стає твердішим, жорсткішим, стійкішим до зношення. Однак, наклеп не дозволяє виявити на поверхні тріщини. В процесі обробки поверхні піскоструминним методом абразивні зерна піску при контакті дробляться, утворюється силікатний пил, який призводить до виникнення у робітника захворювання – силікозу, тому є забороненим у багатьох розвинених країнах. І найголовнішою умовою при виконанні піскоструминної обробки є необхідність потужної вентиляції та індивідуальних засобів захисту [9].



Рис. 2. Гідроструминна обробка поверхні

Fig. 2. Hydroblasting the surface

Гідроструминна обробка має переваги перед піскоструминним методом насамперед відсутністю пилу та можливістю очищення різних матеріалів без утворення нерівностей кромки; відсутності нагріву поверхні, яку оброблюють; можливість отримати поверхню з шорсткістю Ra0,5...1,5мкм; процес є вибухо- та пожежобезпечним, що дозволяє обробляти вибухонебезпечні ємності, однак не дає можливості для виявлення тріщин [10] та вимагає закупівлі підприємством обладнання, яке дорого коштує. Тож ці способи викори-

стовуються тільки великими підприємствами, які займаються капітальним ремонтом і не можуть бути використані на більшості ремонтних баз.

При технічному огляді будівельної техніки, згідно рекомендацій виробника, для виявлення дефектів використовується ручне очищення – це спосіб очистки поверхонь за допомогою ручних інструментів без використання енергоживлення. Ручне очищення поверхні може бути виконано за допомогою ручних дротяних щіток, шпательів, скребків, абразивних шкірок, наждаку. Очищення ручним інструментом іноді застосовується на початковому етапі для попереднього очищення, з метою зняття забруднень (що легко видаляються) перед використанням механізованих інструментів.

Очищення механізованим інструментом. Це метод підготовки металевих поверхонь із застосуванням механізованих ручних інструментів, але без використання абразивоструминних методів очищення. Механізоване очищення виконують з використанням металевих циліндричних щіток, абразивних зачисних кругів, абразивними шкірками у поєднанні з ручним чи стаціонарним механізованим інструментом з електро- чи пневмоприводом.



Рис. 3. Металева щітка

Fig. 3. Wire brush



Рис. 4. Металева щітка з вигнутими дротинками

Fig. 4. Wire brush with curved wires

Поширеним методом механізованого очищення є поєднання ручного інструменту з електро- чи пневмоприводом з дротяними щітками (рис. 3). Промисловістю виготовляються циліндричні радіальні та чашкові металеві щітки. Однак ручний інструмент, який буде використовуватися для приводу металеві щітки, повинен мати механізм реверсу, адже з часом дротинки від взаємодії з поверхнею вигинаються (рис. 4) у сторону протилежну обертанню. Вигин дротинок зменшує ефективність обробки так як не відбувається ударна дія кінчика дротинки об поверхню, яку оброблюють, а відбувається ефект протягування дротинки по поверхні, що вимагає від робітника прикладання більших зусиль і, як наслідок, викликає у нього швидку втомлюваність.

Основними недоліками застосування металевих щіток є утворення при сильному натискуванні на поверхні смуг та рисок; при обробці кольорових та чорних металів потрібно користуватися щітками із різним діаметром та матеріалом дротинок; неможливість зняття повного шару іржі; а при обробці кам'яних поверхонь забивання тріщин металом, що призводить до ефекту ржавіння; при очищенні дерев'яних та пластмасових поверхонь утворення виїмок, погіршення якості поверхні.

Найбільш поширеним способом очищення поверхонь є використання жорсткого та еластичного абразивного інструменту.

Абразивний інструмент виготовляють з твердих гірських порід і мінералів: природні абразиви – алмаз, корунд, наждак, кварц (кремінь), пемза та ін.; штучні абразиви – синтетичний алмаз, електрокорунд, ельбор та ін. Такі матеріали створюють з абразивних зерен – кристалічних осколків (кристалітів), або моно- чи полікристалів, гострі краї яких є ніби мінірізці [11]. Відомі на сьогодні абразивні робочі органи можливо умовно розподілити на наступні види.

Жорсткий абразивний інструмент має фіксовану геометричну форму та складається із зерен абразивного матеріалу, зв'язаних поміж собою зв'язкою (рис. 5). Значну частину об'єму абразивного інструменту займають повітряні пори. В найбільшій кількості жорсткий абразивний

інструмент використовують як шліфувальні, відрізні, зачисні круги різноманітної форми, крім того існують також бруски та сегменти.

Процес різання при застосуванні жорсткого абразивного інструменту розглядають як фрезерування багатозубою фрезою з великою швидкістю. Кожне одиничне абразивне зерно – ріжуче лезо з випадковими геометричними параметрами, які залежать не тільки від форми зерна, але й від його положення в абразивному інструменті. Різання здійснюється абразивами, які мають форму багатогранників довільної форми з радіусом округлення вершин 8...20мкм. З урахуванням такої особливості різання виконується переважно від'ємними передніми кутами. Найбільший за величиною від'ємний кут на передній грані мають зерна зі сферичною поверхнею. Кожне зерно зрізує стружку дуже малого змінного перетину. Оброблена поверхня утворюється в результаті спільної дії великої кількості абразивних зерен, розміщених на ріжучій поверхні абразивного інструменту. Взаємодія жорстко закріплених абразивних зерен (в зоні контакту з поверхнею, що обробляється) носить ударний характер, а швидкості в момент удару можуть досягати до 100м/с, а то і більше. Тому виникають наступні наслідки: 1) разом з поверхнею, що обробляється, руйнується поверхня інструменту разом із зернами абразиву через ударно-абразивний характер його роботи; 2) зерна ламаються та викришуються через недостатню міцність як самих зерен, так і зв'язки яка їх утримує; 3) на поверхні крихких матеріалів утворюються окремі кратероподібні заглиблення із розвинутою сіткою мікротріщин; 4) під час контакту абразивних зерен із зв'язкою поверхнею відбувається відрив окремих часточок із загальної маси, що призводить до утворення на вершинах активних зерен наростів, які знижують ефективність процесу обробки; 5) процес контакту зерен з поверхнею носить ударний характер, то кожне активне зерно абразиву є джерелом утворення потужних миттєвих теплових процесів, а загальний тепловий потік настільки інтенсивний, що може створити структурні змі-

ни в поверхні, що обробляється (окалини на металевих поверхнях, руйнування молекулярних зв'язків в полімерах); 6) високий ступінь притиснення та високі температури в зоні контакту призводять до ефекту «засалювання» робочої поверхні інструменту (забиття простору між зернами стружкою та продуктами зношення); 7) мала кількість одночасно працюючих абразивних зерен у зоні контакту; 8) зняття основного шару металу, що в більшості випадків не допустимо. Як наслідок істотно знижується ріжуча здатність інструменту, погіршується чистота та якість обробленої поверхні. Для відновлення ріжучих властивостей круга виконують його правку.[12, 13].

Гнучкий еластичний абразивний інструмент (ГЕАІ) – це такий інструмент, конструкція і властивості якого допускають значне пружне переміщення зерен під час роботи від статичного положення в напрямку нормальної складової сили різання. ГЕАІ на відміну від жорсткого абразивного інструменту не встановлюється на визначену глибину різання. Умови, що необхідні для роботи окремих зерен, створюються за рахунок попереднього (статичного) їхнього навантаження, яке відбувається за рахунок деформації інструменту, який притискається до поверхні, що обробляється. Дана деформація зберігається і під час роботи інструменту, але її величина може змінюватись.

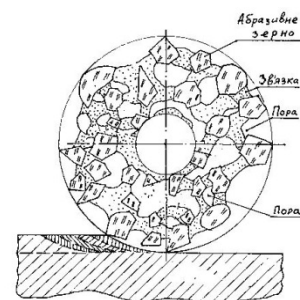


Рис. 5. Будова жорсткого абразивного інструменту

Fig. 5. The structure of the hard abrasive tools

Абразивні зерна в гнучкому еластичному інструменті закріплені за допомогою пружної зв'язки, внаслідок чого змінюється характер взаємодії ГЕАІ з поверхнею порівняно з жорстким інструментом, а саме: 1) при ударному контакті зерна абразиву об-

поверхню підвищується його стійкість за рахунок виникнення амортизації; 2) зменшується тепловиділення в зоні контакту з можливістю повного усунення перегріву поверхні, що обробляється; 3) утворення мінімальних мікротріщин поверхневого шару крихких матеріалів; 4) в зоні контакту працює більша кількість абразивних зерен за рахунок усунення ефекту різновисотності абразивних профілів; 5) зменшується швидкість «засалювання» робочої поверхні; 6) кращі умови для самоочищення інструменту; 7) можливість збільшення часу взаємодії між поверхнею та абразивними зернами ГЕАІ. Отже, порівнявши жорсткий абразивний інструмент з гнучким еластичним абразивним інструментом, можна зробити висновок, що сумарна дія всіх позитивних факторів сприяє підвищенню продуктивності та якості обробки поверхонь з подальшим розширенням областей застосування еластичного абразивного інструменту [14, 15].

Конструкція гнучкого еластичного абразивного інструменту повинна забезпечувати умову пружного переміщення абразивного зерна під час роботи. Ця умова може бути виконана двома шляхами: 1) використанням пружної зв'язки; 2) закріплення гнучкого інструменту на пружній основі. Шляхи виконання наведених умов можуть принципово відрізнятись і, як наслідок, конструкції робочих органів можуть суттєво відрізнятись один від одного [16].

Промисловістю ГЕАІ головним чином виробляється на пружних зв'язках. До ГЕАІ відносять круги, бруски та шкурки.

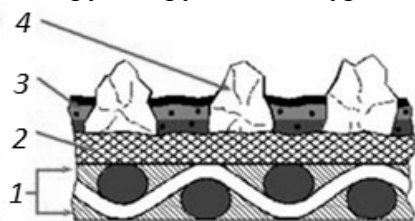


Рис. 6. Схема абразивної шкурки: 1 – основа; 2 – шар клею; 3 – закріплюючий шар клею; 4 – абразивне зерно

Fig. 6. Scheme abrasive skins: 1 – base, 2 – glue layer, 3 fixing adhesive layer, 4 – abrasive grains

Згідно класифікації для обробки поверхонь найбільш часто як еластичний абразивний інструмент використовуються вироби із абразивної шкурки (рис. 6), яка виготовляється на напівавтоматичних конвеєрних апаратах, де процес здійснюється безперервно [17]. Абразивні зерна, що наносяться на папір, тканину чи синтетичну основу, закріплюють на ній міздровим клеєм або синтетичним лаком. Залежно від виду клею, який застосовують, розрізняють неводостійкі, водостійкі, еластичні та жорсткі абразивні шкурки. До недоліків клейового способу закріплення абразивних зерен відносять низьку міцність їхнього закріплення на несучій основі, неможливість отримання гнучкого еластичного інструменту з великою товщиною абразивного шару, обмеженість у виборі сполучень полімерних зв'язок (труднощі вибору загального розчинника) та токсичність більшої кількості розчинників, що застосовують.

Для створення нескінченних абразивних стрічок із шліфувальної шкірки з високими експлуатаційними властивостями в ІСМ АН УРСР було розроблено еластичні шліфувально-полірувальні стрічки (шкурки) на основі каучуковмісних зв'язок [18].

«ВНИИАШ» спільно з «ВНИИАлмаз» розробили власну технологію створення абразивної шкірки і, в подальшому, інструменту з неї. В якості зв'язки для абразивних зерен замість клеїв було використано спеціально розроблені суміші гуми різної ступені жорсткості. Змішування абразивів із зв'язкою відбувається насухо із використанням вальців по технологіях, що використовуються при виробництві гуми. Як основа використовується високоміцна лавсанова тканина, якій властива невелика деформація при розтягуванні. Висока міцність закріплення абразивовмісного шару на тканині досягається просоченням та обробкою її спеціальними складовими з вулканізацією до неї абразивовмісного шару. На заводах-споживачах із вищевказаної шкірки формується ГЕАІ [19].

Круги еластичного абразивного інструменту діляться на два види: абразивовмісні та з абразивним покриттям. Серед кругів з абразивним покриттям найбільшого розпо-

всюдження набули пелюсткові круги, які мають торцеву (рис. 7) або тарілчасту (рис. 8) конструкцію. Торцеві пелюсткові круги складаються із радіально розміщених та жорстко закріплених однією з торцевих сторін листів абразивних шкур. Еластичність кругів торцевої форми підвищують шляхом подовження пелюсток або заміни частини їх прокладками. Визначним фактором в конструкції пелюсткових кругів є спосіб закріплення абразивних пелюсток в маточині круга. При механічному закріпленні пелюстки з абразивної шкурки закріплюють наступними способами: в радіальних пазах маточини; в прикріплених до маточини затискачах навіть шарнірно; клиновим методом; в пазах маточин, які складаються з двох гребінчастих ободів; між фланцями та іншими способами. Загальними недоліками пелюсткових кругів з механічним закріпленням пелюсток є складність та масивність конструкцій, значна величина неврівноваженої маси, порівняно великі фінансові витрати на виготовлення. Більшість недоліків вказаних вище було вирішено створенням кругів із пластмасовою маточиною, конструкції та технології виготовлення яких були розроблені на виробничому об'єднанні «Брянский автомобильный завод». Міцність закріплення пелюсток забезпечує умову роботи круга зі швидкістю до 50м/с [20]. Розміщення пелюсток в місці їхнього закріплення повинно бути радіальним, тому вони повинні бути вигнуті в сторону протилежну робочому обертанню круга. При виконанні робіт торцевими та тарілчастими пелюстковими кругами з підвищенням кутової швидкості – продуктивність зростає. Разом з тим збільшується і тепловиділення, що призводить до перегріву металевих і підгоряння дерев'яних поверхонь, і, як наслідок, надмірний розігрів клейового шару, що в подальшому знижує міцність утримання в ньому зерен, що призводить до посиленого висипання абразиву. Вищевказане призводить до «засалювання» круга, значного зменшення продуктивності та додаткових фінансових витрат через неповне використання ресурсу круга.

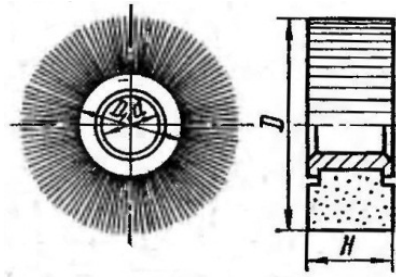


Рис. 7. Схема торцевого пелюсткового круга

Fig. 7. Mechanical scheme petal circle

Текстильні та войлочні абразивовмісні круги (рис. 9) використовуються переважно для фінішного полірування різноманітних поверхонь і не є універсальним інструментом, що може використовуватись на різних стадіях обробки поверхонь [21].

Абразивовмісний спеціальний інструмент (рис. 10) у переважній більшості випадків проектується та виготовляється самим споживачем, що вимагає максимально простої конструкції при найбільш можливій концентрації функціонального навантаження [22].



Рис. 8. Тарілчасті пелюсткові круги

Fig. 8. Washer cutting wheels.

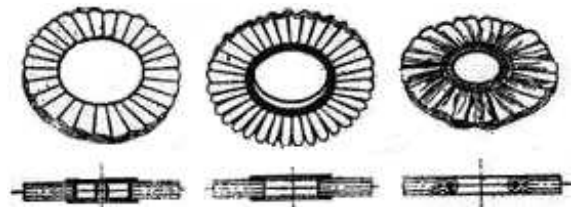


Рис. 9. Текстильні абразивовмісні круги

Fig. 9. Textile abrasive roomy circles

В більшості випадків доцільно для проектування спеціального ГЕАІ використовувати стандартний абразивний інструмент (наприклад, закріплення абразивної шкурки

на еластичній основі). Виробники як основу для даного інструменту переважно використовують монолітну гуму, поролон, поліуретан чи подібні до них матеріали різної жорсткості. Також, рідше використовують наповнені повітрям балони на зовнішній поверхні яких кріплять абразивні шкурки необхідної зернистості. Особливостями роботи спеціального еластичного інструменту є: 1) його деформація в статичному полі до роботи; 2) збільшення зони контакту порівнянно з жорстким інструментом; 3) значно менші нормальні зусилля при обробці, відповідно зменшуються навантаження на окремі абразивні зерна; 4) контроль над «засалюванням» навіть при обробці пластичних та в'язких поверхонь; 5) пружний «віджим» зерен, який знижує знімання основного матеріалу поверхні; 6) специфічний розподіл тепла між поверхнею, що обробляється, продуктом обробки та самим інструментом; 7) можливість обробки пластиків-діелектриків без охолоджуючої рідини; 8) менші коливання та вібрації інструменту при роботі на швидкостях близьких до критичних. Однак, для даного інструменту існує ряд проблем, а саме: 1) забезпечення як найбільшої зони контакту при достатньо малому зовнішньому діаметрі круга; 2) отримання високого та стабільного коефіцієнта відбиття; 3) неможливість забезпечення при роботі без охолодження високої стійкості та продуктивності інструменту (при обробці високоміцних та важкооброблюваних матеріалів).

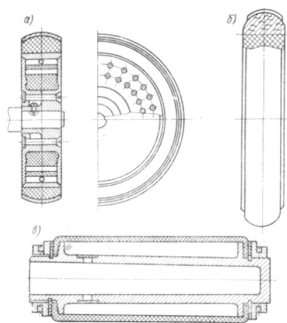


Рис. 10. Конструкції спеціальних абразивних еластичних інструментів з гумовою основою (а, б) та з повітряним балоном (в)

Fig. 10. Construction of special abrasive tools made of elastic rubber base (a, b) and air cylinder (в)

На ринку щіткових ГЕАІ з'явився новий робочий орган полімерно-абразивна щітка (рис. 11).

Однак роботи, пов'язані з дослідженням полімерно-абразивних робочих органів, велися тільки практичні та були пов'язані з експериментальними дослідженнями, що включали в себе практичні розробки по наповненню волокон абразивом, а механізм взаємодії – математично не розроблений.

Тому є доцільним провести аналіз математичних моделей взаємодії робочих органів дискової форми з поверхнею.

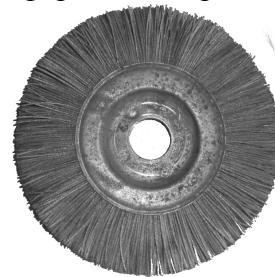


Рис. 11. Полімерно-абразивна щітка

Fig. 11. Polymer-abrasive brush

Для математичної постановки задачі із взаємодії волокон полімерно-абразивної щітки (ПАЩ) з поверхнею необхідно провести аналіз відомих на сьогодні математичних рішень із взаємодії робочих органів для очищення поверхонь.

Схожими по будові до ПАЩ робочими органами є металеві циліндричні дротяні щітки. Механізм їх взаємодії з поверхнею круглого перерізу зображено на рис 12 [23].

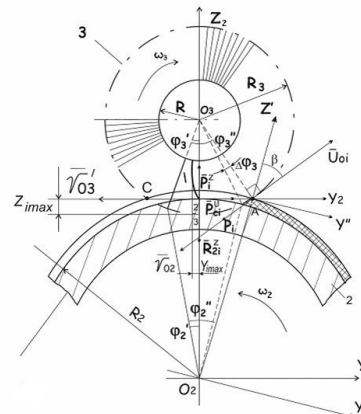


Рис. 12. Схема взаємодії металевої щітки

Fig. 12. Scheme of interaction of a metal brush

Як стверджує автор під час удару кінчика дротинки об поверхню металевої труби остання піддається дії миттєвої сили удару

P_i період дії якої займає малий проміжок часу Δt та досягає значної величини. Враховуючи масу m_i дротинки, які вдаряють об поверхню, встановлено, що сила удару, яка діє на кінці дротинки, перпендикулярна до її осі та може бути обчислена із залежності

$$P_i = \omega_3 l^{-2} \sqrt{m_i E_{\text{пр}} [R_3^3 - (R_3 - l)^3]}, \quad (1)$$

де ω_3 – кутова швидкість обертання щітки; l – довжина дроту, $l = R_3 - r_3$ – радіуси щітки та фланця;

$E_{\text{пр}}$ – модуль пружності матеріалу дроту;

$J_{\text{пр}} \approx 0,1 d_{\text{пр}}^4$ – момент інерції поперечного перерізу дроту.

Знаючи сили взаємодії щітки з поверхнею труби, яку обробляють, а також швидкості їхніх відносних швидкостей, можливо оцінити витрати енергії на процес очищення труби, в даному випадку зняття покриття з труби обертовими металевими щітками з дротовим ворсом.

Однак автор не врахував у своїй роботі, що при терті дротинки об поверхню труби збільшується пружна деформація дротинки, а також виникають дисипативні (розсіювання тепла) втрати пов'язані з подоланням тертя між забрудненням та поверхнею труби.

Статична та динамічна деформації гнучкого еластичного абразивного інструменту дискової форми [24] описані в роботах Щеголева В.А. У своїх роботах він наводить статичну схему (рис. 13) взаємодії пелюсткового круга з поверхнею, яку обробляють. Було встановлено вираз для радіальної жорсткості одиничного сектору C_r (який обмежений малим кутом $\Delta\varphi$, зведеним до радіуса r_0),

$$C_r = \frac{1}{y} \frac{dP_y}{d\varphi} = \text{const}, \quad (2)$$

де y – пружне переміщення у напрямку осі

Y , $\frac{dP_y}{d\varphi}$ – пружна реакція інструмента в межах одиничного сектору на радіальну складову сили різання.

Сила P_k , що діє по всій довжині шляху різання ABC , буде

$$P_k = \iint_{\varphi, z} C_r C_p \Delta r \Delta \rho d\varphi dz, \quad (3)$$

де Δr та $\Delta \rho$ – деформації круга в повздовжньому та поперечному перерізі відповідно;

$d\varphi$ і dz – кути, які обмежують одиничні сектори в повздовжньому та поперечному перерізі.

Однак, при розрахунку P_k необхідно враховувати особливості роботи зерна на пружній основі: при закріпленні абразивного зерна жорстко – траєкторія руху зерна визначається тільки кінематикою процесу; при закріпленні абразивного зерна на еластичній зв'язці, зерно має можливість відтискуватись під час роботи, а фактичне зняття матеріалу залежить від тиску на зерно і характеристик мікрогеометрії як поверхні інструменту, так і поверхні, яку обробляють.

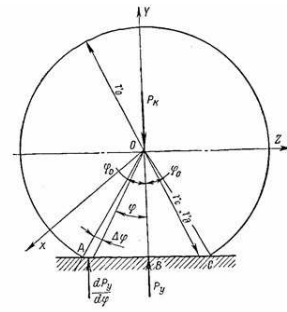


Рис. 13. Схема статичного навантаження еластичного шліфувального круга

Fig. 13. Scheme of the static load elastic grinding wheel

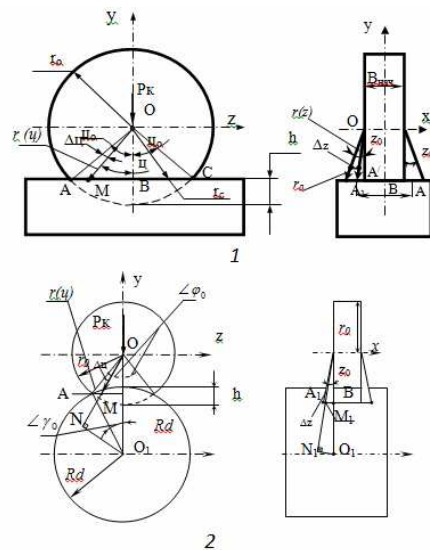


Рис. 14. Схема зони контакту ЕПАІ з площиною (1) із зовнішньою циліндричною поверхнею (2)

Fig. 14. Scheme footprint EPAI flat plane (1) of the outer cylindrical surface (2)

Дослідженням еластичного полімер-абразивного інструменту займались [25] Негруб С.Л. та Проволоцький О.Є. Запропонована ними схема взаємодії еластичного полімерно-абразивного інструменту (ЕПАІ) зображена на рис. 14.

Авторами було отримано кінцеві вирази для величин силових показників та визначення граничних умов, які одержані методом інтегрування. Остаточний вираз для визначення сили різання для випадку обробки площини знаходимо з виразу

$$P_z = fCrCpr_o^2 \times [2\varphi_0 - \cos \varphi_0 \ln \frac{\operatorname{tg}(\varphi_0/2 + \pi/4)}{\operatorname{tg}(\pi/4 - \varphi_0/2)}], \quad (4)$$

де f – коефіцієнт абразивного різання.

Вираз для визначення моменту сил різання

$$\begin{aligned} Mx &= 2fCrCpr_o^2 \cdot \cos \varphi_0 \times \\ &\times (-\ln \cos \varphi_0 - (\cos \varphi_0 - 1)) = \\ &= 2fCrCpr_o^2 \times \\ &\times \cos \varphi_0 (1 - \cos \varphi_0 - \ln \cos \varphi_0) = \cdot \quad (5) \\ &= 2fCrCpr_o^2 \cos \varphi_0 \times \\ &\times (2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} - \ln \cos \varphi_0). \end{aligned}$$

Вираз для визначення величини потужності різання буде

$$\begin{aligned} W(x) &= fCrCp\omega r_o^2 \cos \varphi_0 \times \\ &\times \left(2 \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{\sin \varphi_0}{\cos^2 \varphi_0} - \right. \\ &\left. - \ln \frac{\operatorname{tg}(\pi/4 + \varphi_0/2)}{\operatorname{tg}(\pi/4 - \varphi_0/2)} \right), \quad (6) \end{aligned}$$

де ω – швидкість обертання ЕПАІ.

Однак, дані залежності як і вся робота були отримані шляхом продовження робіт розпочатими в [24], де залежності визначались для пелюсткового циліндричного круга, а пелюстка у перерізі має форму прямокутника, що не відповідає формі полімерно-абразивного волокна. Тому авторами [25] і була поставлена умова, що інструменту необхідно надавати початкову деформацію, тобто прикладати деяке зусилля для вигину полімерно-абразивного волокна, щоб отримати зону контакту поді-

бну до зони контакту пелюсткового циліндричного круга.

Тому необхідно продовжити роботи по математичному моделюванню руху полімерно-абразивного волокна наповненого абразивом та створення рекомендацій із застосування полімерно-абразивної щітки.

ВИСНОВКИ

1. Застосування полімерно-абразивних робочих органів у поєднанні з ручним електричним чи пневматичним інструментом дозволяє якісно очистити поверхню.

2. Ударна дія абразивних зерен об поверхню подібна до ударної дії абразиву під час піскоструминної абразивної обробки.

3. Використання полімерно-абразивних робочих органів для очищення поверхонь не вимагає застосування потужної вентиляції та застосування спеціальних індивідуальних засобів захисту робітника.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полянський С.К., Коваленко В.М. Експлуатаційні матеріали: Підручник. – К.: Либідь, 2003. – 448с.
2. Баладінський В.Л., Тугай А.М., Гаркавенко О.М., Русан І.В. Будівельна техніка: Підручник. – К.: КНУБА, 2002. – 237с.
3. Ушаков П.Н. Руководство по изучению Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (в вопросах и ответах). Справочное пособие. «Металлургия», 1979. 312с.
4. Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Чакветадзе Ф.А., Антонов Ю.А., Корецкий В.Б. Металлоконструкции горных машин. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 392с.
5. Рубин И.Л. Выбор и работа абразивных армированных кругов для резки и зачистки металла. – В сб. Монтаж оборудования и трубопроводов. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1969, с. 35-38.
6. Сотников Г.А. Средства малой механизации и специальный инструмент для ремонтных и

- монтажных работ. Тематический обзор. – М.: ВНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1975. – 72с.
7. *Ляхтин Ю. М., Арзамасов Б. Н.* Химико-термическая обработка металлов. — М.: Металлургия, 1985. — 424с.
 8. *Подураев В. Н.* Технология физико-химических методов обработки. – М.: Машиностроение, 1985. – 264с.
 9. *Струйно-абразивная обработка.* Научно-исследовательский институт информации по машиностроению (НИИМАШ) Москва, 1968. – 56с.
 10. <http://girnychiy.ucoz.ua/forum/4-11-1>.
 11. *Курносков А.П.* Абразивные инструмента и шлифование. – Челябинск: «Абразивы Урала», 2000. – 96с.
 12. *Технология обработки абразивным и алмазным инструментом/ Под общей ред. З.И. Кремня* – Л.: Машиностроение, 1989. – 210с.
 13. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. М.: «Машиностроение», 1974, 320с.
 14. *Отделочные операции в машиностроении: Справочник/ П.А. Руденко, М.Н. Шуба, В.А. Огневцев и др./ Под общ. ред. П.А. Руденко* – Техніка, 1985. -136с, ил. – Библиогр.: 132 - 135с.
 15. *Кащук В.А., Верещагин А.Б.* Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988. -480с: ил. –(Серия справочников для рабочих).
 16. *Щеголев В.А.* Эластичные и алмазные инструменты / В.А. Щеголев, М.Е. Уланова – Л.: Машиностроение, 1987. – 180 с.
 17. *Рыбаков В.А.* Новые абразивные инструменты, МДНТП, 1958.
 18. *Бакуль В.Н., Чеповецкий И.Х., Рабинович Э.С.* Шлифование и полирование алмазными эластичными лентами. – М.: ГОСИНТИ, 1972. -36с.
 19. *Ипполитов Г. М.* Абразивные инструменты и их эксплуатация, Машгиз, 1959.
 20. *Чеповецкий И.Х.* Основы финишной алмазной обработки. – Киев.: Наук. думка, 1980. – 468с.
 21. *Гдалевич А.И.* Финишная обработка лепестковыми кругами. – М.: Машиностроение 1990. – 112с.
 22. *Белицкая Э.И.* Художественная обработка цветного камня. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 200с.
 23. *Байшуков А.А.* Разработка термомеханической установки для ремонта нефтегазопроводов: атореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.06 Горные машины. Алматы 2008.
 24. *Щеголев В.А., Уланова М.Е.* Эластичные абразивные и алмазные инструменты (теория, конструкция, применение). Л.: «Машиностроение» (Ленинград. отд-ние), 1977. – 184 с.
 25. *Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения /Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 4. «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов»* - Одесса: ОНПУ, 2002. -802с. Глава 6. Шлифование полимер-абразивными эластичными кругами. с. 289...328.

REFERENCES

1. *Poljans'kij S.K., Kovalenko V.M., 2003.* Ekspluatacijni materiali [Performance materials]. Kiev, Libid, 448.
2. *Baladins'kij V.L., Tugaj A.M., Garkavenko O.M., Rusan I.V., 2002.* Budivel'na tehnika [Construction machinery]. Kiev, KNUBA, 237.
3. *Ushakov P.N., 1979.* Rukovodstvo po izucheniju Pravil ustrojstva i bezopasnoj jekspluataciji gruzopodemnyh kranov (v voprosah i otvetah). Spravochnoe posobie [Study Guide and Regulations for the safe operation of cranes (questions and answers)]. Metallurgija, 312.
4. *Kvaginidze V.S., Kozovoj G.I., Chakvetadze F.A., Antonov Ju.A., Koreckij V.B. 2011.* Metallokonstrukcii gornyh mashin. Konstrukcii, jekspluatacija, raschet. Uchebnoe posobie [Metalwork mining machines. Construction , operation, payment : Textbook]. Moskow, Gornaja kniga, 392.
5. *Rubin I.L. 1969 .*Vybor i rabota abrazivnyh armirovannyh krugov dlja rezki i zachistki metala. – V sb. Montazh oborudovanija i

- truboprovodov. – Moskow, CBNTI Minmontazhspecstroja SSSR, 35-38.
6. *Sotnikov G.A.* 1975. Sredstva maloj mehanizacii i special'nyj instrument dlja remontnyh i montaznyh rabot. Tematicheskij obzor [Small tools and special tools for repair and installation works. Thematic Review]. VNIITJeNEFTEHIM, 72.
 7. *Lahtin Ju. M., Arzamasov B. N.* 1985. Himikotermicheskaia obrabotka metallov [Chemical heat treatment of metals]. Moskow, Metallurgija, 424.
 8. *Poduraev V. N.* 1985. Tehnologija fiziko-himicheskikh metodov obrabotki [Technology physico-chemical treatment methods]. Moskow, Mashinostroenie, 264.
 9. *Strujno-abrazivnaja obrabotka.* Nauchno-issledovatel'skij institut informacii po mashinostroeniju (NIIMASh) [Chip Processing Research Institute of Mechanical Engineering Information] Moskow, 1968, 56.
 10. <http://girnychiy.ucoz.ua/forum/4-11-1>
 11. *Kurnosov A.P.* 2000. Abrazivnye instrumenta i shlifovanie [Abrasive and grinding tools]. Chelyabinsk, Abrazivy Urala, 96.
 12. *Tehnologija obrabotki abrazivnym i almaznym instrumentom* [Processing technology and abrasive diamond tools] Pod obshhej red. Z.I. Kremnja. 1989. Moskow, Mashinostroenie, 210.
 13. *Maslov E.N.* 1974. Teorija shlifovaniya materialov [Theory sanding material]. Moskow, Mashinostroenie, 320.
 14. *Otdelochnye operacii v mashinostroenii, Spravochnik* [Finishing operations in engineering : Reference] P.A. Rudenko, M.N. Shuba, V.A. Ognivec i dr. Pod obshh. red. P.A. Rudenko. 1985. Tehnika, -136.
 15. *Kashhuk V.A., Vereshhagin A.B.* 1988. Spravochnik shlifovshhika [Directory grinder]. Moskow, Mashinostroenie, 480.
 16. *Shhegolev V.A.* 1987. Jelastichnye i almaznye instrumenty [Elastic and diamond tools]. Moskow, Mashinostroenie, 180.
 17. *Rybakov V.A.* 1958. Novye abrazivnye instrumenty [New abrasive power tool]. MDNTP.
 18. *Bakul' V.N., Chepoveckij I.H., Rabinovich Je.S.* 1972. Shlifovanie i polirovanie almaznymi jelastichnymi lentami [Grinding and polishing diamond elastic straps]. Moskow, GOSINTI, 36.
 19. *Ippolitov G. M.* 1959. Abrazivnye instrumenty i ih jekspluatacija [Abrasive tools and their operation]. Mashgiz.
 20. *Chepoveckij I.H.* 1980. Osnovy finishnoj almaznoj obrabotki [Basics finish diamond processing]. Kiev. Nauk. Dumka, 468.
 21. *Gdalevich A.I.* 1990. Finishnaja obrabotka lepestkovymi krugami [Finishing Flap wheels]. Moskow, Mashinostroenie. 112.
 22. *Belickaja Je.I.* 1983. Hudozhestvennaja obrabotka cvetnogo kamnja [Art Treatment of the colored stone]. Moskow, Legkaja i pishhevaja promyshlenost', 200.
 23. *Bajshukov A.A.* 2008. Razrabotka termomechanicheskoy ustanovki dlja remogta neftegazoprovodov [Development of thermo oil and gas installations for remogta] atoref. diss. na soiskmnje nauchn. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.05.06 Gornye mashiny. Almaty.
 24. *Shhegolev V.A., Ulanova M.E.* 1977. Jelastichnye abrazivnye i almaznye instrumenty (teorija, konstrukcija, primenenie) [Flexible abrasive and diamond tools (theory, design, application)]. Moskow, Mashinostroenie, 184.
 25. *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologija mashinostroenija* [Physico-mathematical theory of material processing and manufacturing engineering]. Pod obshhej redakciej F.V. Novikova i A.V. Jakimova. V desjati tomah. – T. 4. «Teorija abrazivnoj i almazno-abrazivnoj obrabotki materialov» - Odessa, ONPU, 2002. - 802. Glava 6. Shlifovanie polimer-abrazivnymi jelastichnymi krugami. 289...328.