

Горик О.В., д.т.н., професор, Брикун О.М., асистент
(Полтавська державна аграрна академія)

Черняк Р.Є., інженер (Публічне акціонерне товариство «АвтоКрАЗ»)

**Вибір оптимальних параметрів технології дробеструменевої обробки
внутрішніх поверхонь великогабаритних елементів автомобільної
техніки**

Рецензент – Смердов Андрій Андрійович, д.т.н., професор

На основі результатів відомих останніх досліджень теорії ударної взаємодії твердих частинок (дробинок) з пружно-пластичним півпростором стосовно дробеструменевої очистки порожнин циліндричних ємностей, типу тіл обертання, узагальнено технологічні критерії такого процесу, як вихідні дані для створення технічних засобів автоматизації підготовки поверхонь до покриття неметалевим захисним шаром, подано підходи до визначення основних характеристик руху відбитку абразивного факела по оброблюваній криволінійній внутрішній поверхні виробу за умови рівномірного і якісного очищення.

Ключові слова: дробеструменеве очищення, порожнини циліндричних ємностей, технологічні режими, автоматичний маніпулятор, абразивний факел, траєкторія руху.

Постановка проблеми. Механізація процесу очищення внутрішньої поверхні великогабаритних циліндричних ємностей є одним з найважчих завдань сільськогосподарського та транспортного машинобудування, яке, не дивлячись на неодноразові спроби, не вдалося вирішити впродовж останніх 50 років. Подібні завдання не вирішені також на машинобудівних заводах, що виготовляють ядерні реактори, нафтоналивні цистерни, хімічні та біологічні апарати.

До теперішнього часу цю трудомістку і шкідливу для здоров'я людини операцію виконують, переважно, ручним способом. Із механічних способів очищення поверхні металевих виробів від механічних і окисних забруднень перед нанесенням захисних неметалевих покриттів отримало дробеструменеве очищення (ДО) [6]. Особливо ефективним виявляється застосування ДО для порожнин великогабаритних металевих виробів, де інші способи механічної обробки є малопридатні. Це пояснюється технологічною гнучкістю, екологічною безпекою, високою продуктивністю, експлуатаційною надійністю і економічною ефективністю ДО. Але широке застосування цього процесу стримується не досконалою конструкцією засобів механізації і автоматизації, які не відповідають сучасним вимогам у силу не повної узгодженості технологічних основ при розробці відповідних технічних рішень [2]. Ці проблеми потребують постійної уваги дослідників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Глибокий аналіз методів і засобів механізації струменево-абразивної обробки поверхонь приведений у [1], де подано перелік останніх патентів на винаходи різноманітних пристроїв, пов'язаних з обробкою металевих поверхонь. Але вони практично не висвітлюють технологію і автоматизацію процесу очистки внутрішніх поверхонь порожнистих ємностей. Що стосується очистки внутрішніх поверхонь великогабаритних кругових циліндричних виробів, то тут слід відмітити роботи [2, 4, 7], які висвітлюють засоби автоматизації, але без належного узгодження з технологічними основами процесу очищення. У [8], навпаки, технологічна карта очищення порожнин потребує ув'язки із технічними рішеннями засобів механізації.

Мета дослідження. Аналітичне узгодження технологічних параметрів з технічними рішеннями на засоби механізації процесу ДО внутрішньої поверхні корпусів біологічних апаратів для удосконалення методів автоматизації струменево-абразивної обробки порожнин.

Завданням є узагальнення технологічних і технічних показників процесу очистки абразивними факелами металевих поверхонь та використання цих показників при розробці технічного рішення автоматичного маніпулятора.

Методом дослідження є побудовані моделі ударної взаємодії твердих частинок (дробу) з пружно-пластичним півпростором, статистична оцінка відомих і отриманих експериментально-аналітичних даних стосовно ДО.

Результати досліджень. Узагальнимо основні параметри ДО, як вихідні дані для встановлення технологічних критеріїв автоматизації процесу, який полягає в механічній обробці вільними абразивними зернами (дробинками) оброблюваної поверхні під певним кутом і швидкістю (рис. 1). При цьому відбувається масове швидкісне знімання елементарних об'ємів матеріалу [5].

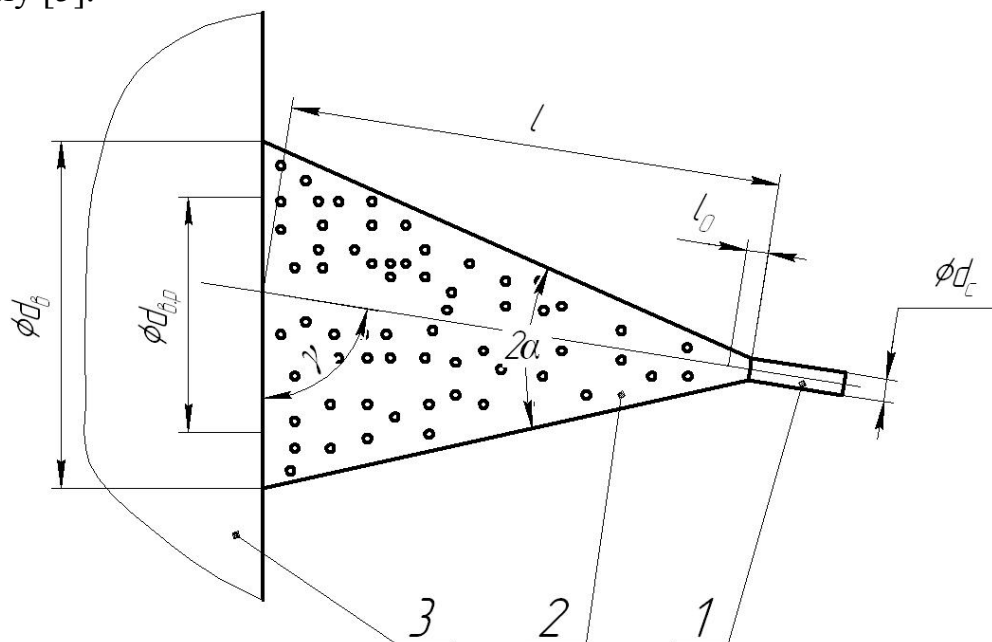


Рис. 1. Схема абразивного факелу

Повітряно-абразивна суміш формується циліндричним соплом 1 з робочим діаметром d_c , з якого суміш вилітає в вигляді конічного факела 2 з кутом розкриття 2α , і атакує оброблювану поверхню 3. Діаметр сопла складає $d_c = 6...12\text{мм}$ залежно від діаметра дробу d_{op} . Найбільші швидкості $v_0 = 150...180\text{м/с}$ дробинки досягають на відстані $l_0 \approx 10\text{мм}$ від зрізу сопла після повного вирівнювання тиску стислого повітря з тиском навколишнього середовища. Далі швидкість дробинок падає по експоненціальному закону.

На практиці дотримуються відстані від сопла до оброблюваної поверхні $l \approx 0,2...0,5\text{м}$. Не дивлячись на зменшення початкової швидкості дробинок v_0 приблизно на 20...50%, це дає можливість оптимально витратити енергію стислого повітря, максимально охоплювати оброблювану поверхню і ефективно використовувати ріжучі властивості дробинок.

Для виготовлення дробу використовують сталь, чавун, скло та інші матеріали, які відповідають хімічному складу металевої основи або захисного покриття, і в той же час мають достатньо високу міцність і твердість (HRC 45...50 по Роквеллу). Найбільшу технологічну продуктивність очищення $6...12\text{м}^2/\text{год}$ залежно від ступеня забруднення оброблюваної поверхні дає сталеві дріб фракції № 1, тобто $d_{op} = 1\text{мм}$.

Для міцного зчеплення ґрунту захисного покриття з металевою основою остання повинна бути якісно очищена з утворенням рівномірної шорсткості [5]. Для цього з поверхні деталі знімається шар завтовшки δ_{np} .

Сопло з матеріальним отвором діаметром $d_c = 10\text{мм}$ викидає дріб діаметром 1мм з масовою подачею $q = 25...30\text{кг/хв}$ при робочому тиску енергоносія в корпусі дробеструменевого апарату $p = 0,5...0,6\text{МПа}$, забезпечуючи технологічну об'ємну продуктивність $Q_o = (0,5...1) \cdot 10^{-4}\text{м}^3/\text{хв}$ і поверхневу продуктивність $Q_{нов} = 0,1...0,2\text{м}^2/\text{хв}$ при глибині обробки $\delta_{np} = 0,5\text{мм}$.

При реальному діаметрі відбитку факела на поверхні $d_{в.р} \approx 0,1\text{м}$ така продуктивність досягається при швидкості переміщення відбитку по відношенню до оброблюваної поверхні $v_\phi = 1...2\text{м/хв}$.

Середня арифметична висота мікронерівностей оброблюваної поверхні R_a залежить від фракційного складу абразивних частинок d_{op} і встановлюється по співвідношенню: $R_a \approx 0,1d_{op}$.

Для надійного зчеплення ґрунту захисного покриття з металевою основою, товщина якого складає $\delta_{zp} \approx 500\text{мкм}$, необхідно мати певну шорсткість металевої поверхні, а саме, $R_a \approx (0,2...0,25)\delta_{zp} \approx 80...100\text{мкм}$. Таку шорсткість можна отримати при діаметрі абразивних частинок $d_{op} = 0,8...1,0\text{мм}$, яка відповідає також і умові найвищої продуктивності.

Для досягнення оптимальних критеріїв процесу очищення кут атаки γ

дробинок для маловуглецевої сталі 10 повинен складати $35^\circ \dots 60^\circ$ [3].

Для здійснення процесу ДО поверхні металевих виробів різної конфігурації можливі довільні траєкторії переміщення відбитку факела по оброблюваній поверхні при дотриманні вимоги – відбиток не повинен двічі проходити одну і ту ж поверхню.

Для механізації процесу ДО траєкторія руху відбитку факела по оброблюваній поверхні набуває вирішального значення. Вона повинна бути впорядкованою і достатньо простою. Від складності траєкторії залежить реальність створення виконавчого механізму.

Такі узагальнені параметри процесу ДО використовуємо для створення технологічної карти очищення порожнини суцільнозварної циліндричної ємності (рис. 2), яка складається з циліндричної обичайки 1 з радіусом R і днищ: переднього 2 з відкритим люком з радіусом r_n та заднього (тильного) 3 з вихідним патрубком з радіусом r_l або без нього.

Кузовні елементи автомобільної техніки, корпуси біологічних (хімічних) апаратів виконуються у вигляді тіл обертання, утворюючими яких є еліптичні і прямі лінії [8]. Тому можна прийти до висновку, що найбільш відповідними траєкторіями переміщення відбитку факела по оброблюваній поверхні будуть розімкнені криві з постійним кроком, якими є: гвинтова спіраль для обичайки і спіраль Архімеда для днищ (рис. 2).

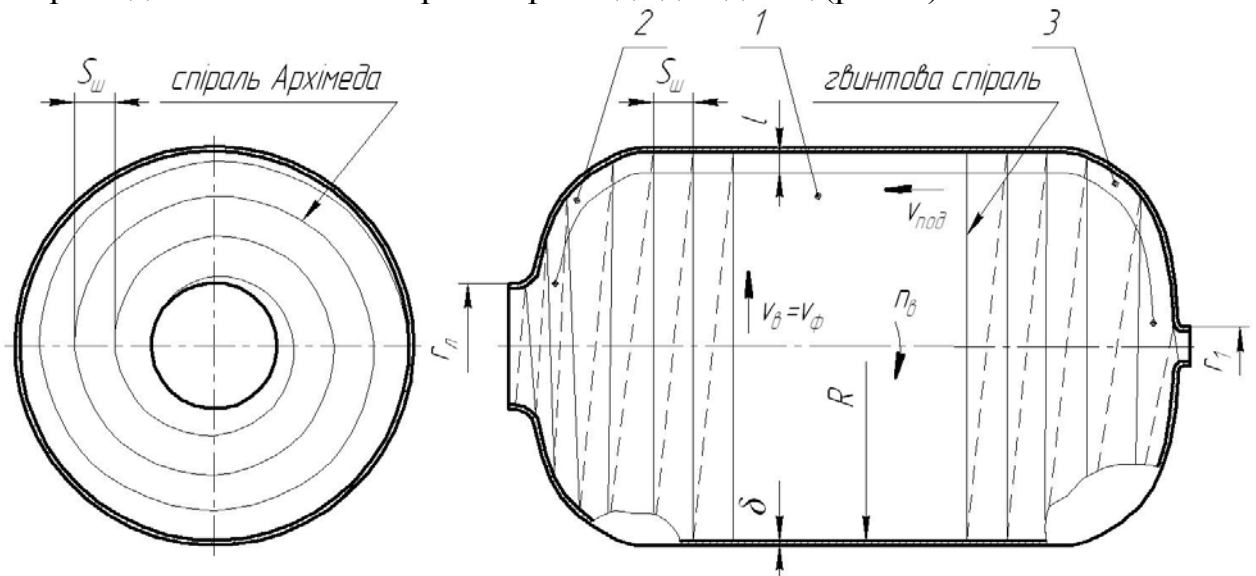


Рис. 2. Технологічна схема ДО порожнини циліндричної ємності

Відповідно до таких вимог нами у [4, 7] запропоновано автоматичний маніпулятор, який забезпечує рух подачі відбитка факела починаючи від вихідного патрубка тильного днища 3 і далі рух відбувається по твірній еліптичної кривої тильного днища, переходить на твірну пряму циліндричної обичайки 1 і потім по твірній еліптичної кривої переднього днища 2, досягає відкритого люка. На цьому ДО порожнини виробу закінчується.

Технологічні можливості такого маніпулятора узгоджуються з наступними параметрами автоматизації процесу ДО порожнин габаритних циліндричних ємностей.

За умови безпечної роботи оброблюваний виріб повинен обертатися з лінійною швидкістю обичайки $v_e < 10 \text{ м/хв}$. Тоді частота обертання ємності при радіусі r руху відбитку факела складатиме:

$$n_e = v_e / (2\pi r) \leq 10 / (2\pi r). \quad (1)$$

Рівномірної обробки поверхні виробу типу тіла обертання можна досягти за умови, коли відбиток факела з діаметром d_e рухатиметься з швидкістю $v_\phi = 1 \dots 2 \text{ м/хв}$ по розімкненій спіралі, крок якої $S_{\text{ш}}$ не повинен бути більше реального діаметру відбитку факела $d_{e.p} = 0,8d_e = 1,6ltg\gamma$, тобто, $S_{\text{ш}} \leq 1,6ltg\gamma$, і одночасно по утворюючій кривій із швидкістю подачі $v_{\text{под}}$, яка забезпечує необхідне перекриття факелом оброблюваної поверхні.

З огляду на те, що кругова швидкість v_e виробу прямо пропорційна радіусу r руху відбитка факелу і частоті n_e обертання виробу, то для складових частин корпусу оброблюваного виробу – еліптичних днищ і циліндричної обичайки, частота обертання виробу буде змінюватися за дотримання вимоги:

$$v_\phi = v_e = 2\pi r n_e = \text{const}. \quad (2)$$

Таким чином, при зміні радіуса руху відбитку факела необхідно змінювати і частоту обертання виробу навколо власної вісі, яка (вісь) визначає швидкість переміщення відбитку дробеструменевого факела при очищенні окремих складових корпусу апарату.

Так, для тильного еліптичного днища, яке має вихідний патрубок радіусом r_1 , частота обертання (1) буде змінною: при початковому радіусі обробки $r_n^m = r_1$ і кінцевому радіусі (радіусі обичайки R) $r_\kappa^m = r_\kappa = R$, а саме

$$n_n^m = v_e / (2\pi r_1), \quad n_\kappa^m = v_e / (2\pi r_\kappa) = v_e / (2\pi R). \quad (3)$$

При очищенні обичайки корпус повинен обертатися з постійною частотою

$$n = v_e / (2\pi R). \quad (4)$$

Для переднього днища, яке має центральний люк з радіусом r_λ , при початковому радіусі очищення $r_n^n = R$ і кінцевому радіусі обробки $r_\kappa^n = r_\lambda$

$$n_n^n = v_e / (2\pi R), \quad n_\kappa^n = v_e / (2\pi r_\lambda). \quad (5)$$

Відповідно до прийнятої схеми руху відбитка факела по оброблюваній поверхні: тильне днище – обичайка – переднє днище, подача відбитка факела $v_{\text{под}}$ уздовж твірної порожнини корпусу буде змінюватися по закону

$$v_{\text{под}} = S_{\text{ш}} / t = S_{\text{ш}} v_\phi / (2\pi R), \quad (6)$$

де t – час пересування факела з одного витка на інший, хв.

З огляду на те, що для рівномірного очищення частота обертання виробу не повинна бути менше максимальної частоти обертання корпусу при обробці з найменшим радіусом r_1 вихідного патрубку, частоту обертання виробу $n = n_e$ приймаємо рівною і постійною

$$n_e = n_n^m. \quad (7)$$

Якщо допустима частота обертання виробу (1) не може забезпечити необхідну швидкість переміщення відбитку факела, то головний рух повинен здійснювати інструмент. А додаткове обертання виробу з безпечною частотою дозволить більш рівномірно обробляти поверхню і використовувати галтовку поверхні відпрацьованим дробом, який знаходиться в порожнині виробу.

Висновок. Результати узагальнення технічних показників дробеструменевого очищення внутрішньої поверхні циліндричних кузовних ємностей під захисне неметалеве покриття, як вихідних параметрів, дозволяють створювати оптимальні конструкції автоматичних маніпуляторів для виконання трудомісткої і шкідливої для здоров'я людини операції абразивної підготовки поверхонь виробів типу тіл обертання і, таким чином, значно підвищити рівень автоматизації цього процесу.

Бібліографія

1. Андилахай А. А. Анализ струйно-абразивных методов обработки поверхностей / А. А. Андилахай // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Технології в машинобудуванні. – 2010. – № 53. – С. 4-10.
2. Горик О.В. Визначення оптимальних технологічних режимів дробеструменевого очищення металевих поверхонь / О.В. Горик, А.М. Чернявський, А.А. Ландар, Г.А. Шулянський // Полтава: ПДАА, 2012. – 100 с.
3. Горик О.В. Динаміка та міцність енергетичних і сільськогосподарських машин та біотехнічних систем: колективна монографія / О.В. Горик, С.Б. Ковальчук. – Полтава: Видавництво «Сімон», 2015. – С. 77-84.
4. Патент на винахід №105279. Маніпулятор дробеструменевого очищення / О.В. Горик, А.М. Чернявський, А.А. Ландар, Г.А. Шулянський. Заяв. № а 2012 10574, 07.09.2012. – Публ. 25.04.2014, Бюл. №8.
5. Смирнов Н. С. Очистка поверхности стали / Н. С. Смирнов, М.Е. Простаков, Я. Н. Липкин. – М. : Металлургия, 1978. – 232 с.
6. Спринг С.А. Очистка поверхности металлов / С.А. Спринг. – М.: Мир, 1966. – 349с.
7. Шулянський Г.А. Автоматизація технологічного процесу дробеструменевого очищення сільськогосподарських резервуарів / Г.А. Шулянський, О.М. Брикун // Динаміка та міцність енергетичних і сільськогосподарських машин та біотехнічних систем / Полтава: Видавництво «Сімон», 2015. – С. 84-87.
8. Шулянський Г.А. Визначення параметрів пересування відбитку дробеструменевого факелу при очистці порожнин виробів // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПДТУ, 2012. – Вип.2 (32). – Том 2. – С.122-127.

Горик А.В., Брикун А.Н., Черняк Р.Е.

Выбор оптимальных параметров технологии дробеструйной обработки внутренних поверхностей крупногабаритных элементов автомобильной техники

На основе результатов известных последних исследований теории ударного взаимодействия твердых частиц (дробинки) с упруго-пластичным полупространством касательно дробеструйной очистки полостей цилиндрических емкостей, типа тел вращения, обобщенно технологические критерии такого процесса, как исходные данные для создания технических средств автоматизации подготовки поверхностей к покрытию неметаллическим защитным слоем, поданы подходы к определению основных характеристик движения отпечатка абразивного факела по обрабатываемой криволинейной внутренней поверхности изделия при условии равномерной и качественной очистки.

O. Goryk, O. Brykun, R. Chernyak

Choice of optimum parameters of technology of shot blasting of internal surfaces of oversize elements of motor-car technique

On the basis of results some researches of theory shock cooperation of particulate matters (pellets) with resiliently plastic half-space concerning shot-blast cleaning of cavities of cylinder capacities, as bodies of rotation, generalized technological criteria of such process, as a final options for creation some technical equipments of automation preparing of surfaces to coverage by a non-metal protective layer here was given determination for the most important descriptions of motion of imprint of abrasive torch on the processed curvilinear internal surface of product on condition of the even and high-quality cleaning.