

ВИБІР ЕКОНОМІЧНО ОПТИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ АТАКИ ПРИ ДРОБЕСТРУМЕНЕВОМУ ОЧИЩЕННІ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

О. В. Горик, д.т.н., професор,

О. М. Брикун, асистент

Полтавська державна аграрна академія

Р. Є. Черняк, інженер

Публічне акціонерне товариство «АвтоКрАЗ»

За умови зниження собівартості процесу дробеструменевого очищення металевих поверхонь розроблена методика розрахунку оптимальної швидкості атаки, як головного технологічного показника, який визначає продуктивність обробки, інтенсивність зносу інструменту і якість обробленої поверхні. У роботі на основі експериментально обґрунтованих вихідних значень економічного періоду стійкості дробу залежно від властивостей матеріалів контактних тіл (дробу і оброблюваного виробу) проілюстрований вибір економічно вигідних швидкісних технологічних параметрів механічної дробеструменевої обробки.

Ключові слова: дробеструменеве очищення, швидкість атаки, собівартість, стійкість дробу, поверхнева продуктивність.

Постановка проблеми. У технології машинобудування й інших галузях, пов'язаних з створенням технічних систем, швидкість обробки поверхонь деталей виробів перед нанесенням захисного неметалевого покриття є головним показником, який безпосередньо визначає продуктивність обробки, інтенсивність зносу інструменту і якість обробленої поверхні. Серед ефективних і технологічно доступних способів обробки металевих поверхонь, який широко застосовуються на практиці виробництва, можна відмітити дробеструменеве очищення (ДО), що являє собою процес масового швидкісного впливу металевих гранул-дробинок на оброблювану поверхню, в результаті чого відбувається підготовка поверхні з видаленням шару металу. Як свідчить практика, обґрунтування і оптимізація технологічних процесів механічної обробки із застосуванням абразивно-струменевих факелів потребує подальшого теоретично-експериментального вивчення, особливо швидкісних параметрів інструменту (дробинок) для створення засобів механізації й автоматизації технології підготовки металевих поверхонь.

Аналіз результатів останніх досліджень. У чисельних науково-дослідних роботах (статтях, монографіях, навчальних посібниках), проблемі оптимізації технологічних режимів механічної обробки металевих поверхонь різних виробів приділена значна увага. Особливо це стосується процесів обробки, пов'язаної з утворення необхідної форми деталей (різання, фрезерування, штампування тощо) [1, 2]. Роботи [3, 4], що висвітлюють абразивно-струменевий вплив на металеві поверхні з метою їх очистки або зміцнення, не висвітлюють повної картини процесу взаємодії абразиву з оброблюваним матеріалом. Це в значній мірі стосується задач дробеструменевого очищення поверхонь [5, 6] з аналізом швидкісних параметрів, які є основою оптимального проектування устаткування процесу ДО [7, 8]. Проведе-

ний аналіз дозволив сформулювати мету досліджень.

Мета досліджень. Отримати аналітичні співвідношення для вибору оптимальної з економічної точки зору технологічної швидкості атаки дробинками оброблюваної поверхні при дробеструменевому очищенні металевих виробів із заданими показниками стійкості дробу і кута атаки.

Результати досліджень. Швидкість атаки дробом оброблюваної поверхні є головним показником собівартості процесу ДО. Для визначення економічно вигідної швидкості атаки v скористаємося відомою в технології машинобудування методикою, згідно з якою встановлений функціональний зв'язок між швидкістю різання і змінною частинною технологічної собівартості операції механічної обробки різанням [1]. За аналогією такий функціональний зв'язок для процесу ДО виражаємо формулою:

$$C = t_0 E + t_{cm} E / A_{\Sigma} + S_T / A_{\Sigma} , \quad (1)$$

де C – змінна частина технологічної собівартості; t_0 – основний (машинний) час на дробеструменеву очистку 1 м^2 ; E – вартість роботи дробеструменевої установки за хвилину; t_{cm} – час на зміну дробу, що зносився; S_T – витрати, пов'язані з виготовленням та експлуатацією технічного дробу за період його стійкості; A_{Σ} – сумарна площа обробленої поверхні за час до критичного зносу технічного дробу, тобто за період стійкості T_n .

Відомо, що для механічної обробки конструкційних матеріалів різанням між швидкістю різання v і стійкістю ріжучого інструменту T спостерігається функціональна залежність, яку описують емпіричною формулою, запропонованою американським дослідником Ф. Тейлором:

$$v = C_v / T^m , \quad (2)$$

де v – швидкість різання; C_v – деяка постійна величина; T – період стійкості інструменту;

m – показник відносної стійкості.

З огляду літературних джерел [9, 10, 11], аналіз фізичної суті дробеструменевого очищення металевих поверхонь, як одного з механічних способів обробки, дозволив встановити певну його аналогію з технологічними режимами різання (2). У випадку ДО ріжучим інструментом є абразивний факел, відбиток якого переміщують по оброблюваній поверхні з деякою швидкістю, тобто швидкістю різання, яка забезпечує зняття поверхневого шару металу товщиною δ (глибиною обробки). Таким чином, для дробеструменевого очищення, зберігши встановлений взаємозв'язок, можна використовувати формулу (2) при оптимізації швидкісних параметрів ДО. Для цього в ній зробимо заміну швидкості різання v на швидкість переміщення відбитка дробеструменевого факела по оброблюваній поверхні v_o , період стійкості інструменту T на економічно оптимальну стійкість дробеструменевого факела T_n [12], тобто стійкість дробинки, що атакують оброблювану поверхню, а також встановивши аналітично-експериментальним шляхом значення сталих величин C_v та m .

Оптимальна стійкість дробу тут визначається максимальним часом його використання – часом взаємодії дробинки з поверхнею при досягненні допустимого числа циклів, що призводять до допустимого або повного зносу дробу. Сталу величину впливу швидкості на стійкість, залежно від властивостей матеріалів контактних тіл C_v і значення показника відносної стійкості дробу m визначають експериментальним шляхом.

Таким чином, залежність між швидкістю подачі факела і стійкістю дробу при ДО можна виразити формулою

$$v_o = C_v / T_n^m, \quad (3)$$

$$\frac{dC}{dv_o} = -\frac{E}{d_o} + \frac{t_{cm}E}{C_v^{1/m}d_o} \left(\frac{1}{m} - 1 \right) v_o^{1/m} + \frac{S_T}{C_v^{1/m}d_o} \left(\frac{1}{m} - 1 \right) v_o^{1/m}. \quad (8)$$

Приврівнявши отриманий вираз (8) до нуля і скорочуючи його на d_o , маємо

$$-EC_v^{1/m} + t_{cm}E \left(\frac{1}{m} - 1 \right) v_o^{1/m} + C_v \left(\frac{1}{m} - 1 \right) v_o^{1/m} = 0. \quad (9)$$

Звідси знаходимо економічно вигідну швидкість переміщення відбитка $v_{o.ek}$ дробеструменевого факела по оброблюваній поверхні

$$v_{o.ek} = \frac{E^m C_v}{(1/m - 1)^m (t_{cm}E + S_T)^m}. \quad (10)$$

З іншого боку, відомо [12], що поверхнева продуктивність дробеструменевого очищення визначається залежно від шуканої швидкості v атаки дробом, яка є одним із самих визначальних

яку приймемо в основу для оптимізації швидкості атаки дробинками оброблюваної поверхні. Для цього поставимо у залежність швидкість подачі факела (руху відбитку) v_o від поверхневої продуктивності дробеструменевого очищення Q_f , яка забезпечує видалення шару металу товщиною δ , у вигляді формули

$$Q_f = d_o v_o, \quad (4)$$

де d_o – діаметр відбитка дробеструменевого факела на оброблюваній поверхні.

Сумарну площу A_Σ , яку обробляє дробеструменевий факел за період стійкості дробинки T_n , можна визначити добутком

$$A_\Sigma = T_n Q_f = T_n d_o v_o. \quad (5)$$

Враховуючи, що T_n , відповідно до залежності (3), дорівнює $T_n = C_v^{1/m} / v_o^{1/m}$, то вираз (5) можна переписати в наступному вигляді

$$A_\Sigma = C_v^{1/m} v_o^{1-1/m} d_o. \quad (6)$$

Підставивши в формулу (1) вираз для сумарної площі A_Σ відповідно до залежності (6) і основний (машинний) час на дробеструменеву очистку $1m^2$ поверхні з урахуванням (4) $t_o = 1/Q_f = 1/(d_o v_o)$, отримаємо вираз для визначення технологічної собівартості процесу ДО

$$C = \frac{E v_o^{-1}}{d_o} + \frac{t_{cm} E v_o^{1/m-1}}{C_v^{1/m} d_o} + \frac{S_T v_o^{1/m-1}}{C_v^{1/m} d_o}. \quad (7)$$

Шляхом диференціювання виразу (7) по швидкості руху відбитку факела v_o , знаходимо залежність для оптимальної швидкості. Так,

технологічних режимів ДО, за формулою:

$$Q_f = \frac{v^2 \sin^2 \alpha (1 - k_v^2) Q_c \eta k_p}{2 \sigma_{TV} \delta}, \quad (11)$$

де α – кут атаки дробеструменевим факелом оброблюваної поверхні; k_v – коефіцієнт відновлення швидкості атакуючої дробинки при ударі по оброблюваній поверхні; Q_c – масова подача дробинки через дробеструменеве сопло; η – коефіцієнт втрат, що враховує внутрішнє тертя в оброблюваному металі; k_p – коефіцієнт руйнування пластично деформованого металу; σ_{TV} – динамічний межа текучості оброблюваного мета-

лу; δ – припуск на обробку, який дорівнює товщині метала, що знімається дробеструменевим факелом за один прохід.

Позначивши у формулі (11) відношення $\sin^2 \alpha (1 - k_v^2) Q_c \eta k_p / (2\sigma_{TV} \delta) = a$, маємо залежність поверхневої продуктивності від швидкості атаки при ДО

$$Q_f = av^2. \quad (12)$$

Порівнявши вираз (12) з виразом (4), отримуємо співвідношення між вихідною швидкістю руху факела по поверхні і шуканою швидкістю атаки дробинками оброблюваного виробу

$$v_o = \frac{a}{d_o} v^2. \quad (13)$$

Розглянувши сумісно отриманий вираз (13) з формулою (10), маємо співвідношення

$$\frac{aV^2}{d_o} = \frac{E^m C_v}{(1/m - 1)^m (t_{cm} E + S_T)^m}, \quad (14)$$

із якого знаходимо економічно вигідну швидкість атаки V_{ek} дробинками оброблюваної поверхні залежно від показників собівартості

$$V_{ek} = \sqrt{\frac{E^m C_v d_o}{a(1/m - 1)^m (t_{cm} E + S_T)^m}}. \quad (15)$$

Для ілюстрації методики подамо деякі роз-

$$V_{ek} = \sqrt{\frac{1,6^{0,5} \cdot 40 \cdot 0,1}{2,3 \cdot 10^{-3} (1/0,5 - 1)^{0,5} (30 \cdot 4 + 20000)^{0,5}}} = 0,39 \cdot 10^4 \text{ м/хв} \approx 65 \text{ м/с}.$$

При стандартній відстані від дробеструменевого сопла до оброблюваної поверхні ($l \approx 300 \text{ мм}$) економічно вигідна швидкість атаки $V_{ek} = 65 \text{ м/с}$ вимагає швидкості вильоту дробу із сопла $V_v \approx 125 \text{ м/с}$ і швидкості витікання стиснутого повітря $V_p \approx 300 \text{ м/с}$. Таким чином, дробеструменеве сопло можна виконати циліндричним, так як швидкість витікання стиснутого повітря менше звукової швидкості.

Висновки. Швидкість атаки є визначальною при розрахунку технологічної собівартості процесу дробеструменевого очищення і потребує

рахункові та експериментально встановлені величини, які входять у (15). Так, при куті атаки $\alpha = 60^\circ$ нормалізованої сталі 10 сталевим колотим дробом фракції 1.0 у вигляді факела, що витікає із сопла з діаметром матеріального отвору $d_m = 10 \text{ мм}$, яке забезпечує подачу дробу $Q_c = 24 \text{ кг/хв} = 0,4 \text{ кг/с}$ при $\eta = 0,8$, $k_p = 0,1$, $k_v = 0,6$, $\sigma_{TV} = 6 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$, $\delta = 10^{-4} \text{ м}$ значення комплексного показника a становить $\sim 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ хв}$, а значення сталих при таких вихідних параметрах ДО можна прийняти $m = 0,5$, $C_v = 40 \text{ кг/хв}^{1/2}$. За даними Кременчуцького автомобільного заводу вартість роботи дробеструменевої виробничої установки за хвилину $E = 1,6 \text{ грн/хв}$, витрати, пов'язані з виготовленням та експлуатацією технічного дробу за період його стійкості $S_T \approx 20000 \text{ грн}$, діаметр відбитка дробеструменевого факела на оброблюваній поверхні $d_o = 0,1 \text{ м}$, час на зміну дробу, що зносився $t_{cm} = 30 \text{ хв}$.

Тоді, економічно вигідна швидкість атаки складає

подальшого дослідження характеру впливу на стійкість дробу і якість обробки металевих поверхонь виробів.

Числова апробація отриманої методики визначення оптимальної з точки зору економічності швидкості атаки абразивними дробинками металевих поверхонь свідчить про узгодження її результатів з реальними режимами очищення. Розроблена методика може використовуватися для підвищення ефективності проектування і конструювання технологічних комплексів з використанням сучасних засобів автоматизації процесу ДО.

Список використаної літератури:

1. Ящерицин П.И. Теория резания: учебник / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич - Минск: Новое знание, 2006. - 512с.
2. Безъязычный В. Ф. Расчет режимов резания. Учебное пособие / В. Ф. Безъязычный, И. Н.Аверьянов, А. В. Кордюков – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185с.
3. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – К.: Техніка. – 1989. – 177с.
4. Шманев В. А. Струйно-абразивная обработка деталей ГТД/ В. А. Шманев, А. П. Шулепов, А. В. Мещеряков. – М.: Машиностроение. – 1995. – 143с.
5. Цыгановский А. Б. Технологические возможности гидроабразивной обработки затопленными струями/ А. Б. Цыгановский// Вибрации в технике и технологиях. – Ростов-на-Дону: ДГТУ. – 2010. –

№2(58). – С. 205 – 215.

6. Андилахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями/ А. А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190с.

7. Тамаркин М.А. Исследование параметров качества поверхностного слоя при обработке дробью / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, В.Г. Лебеденко // Вестник машиностроения. – № 2. – 2010. – С. 54-59.

8. Определение рациональных технологических режимов упрочняющей дробеобработки стальных деталей / Матлин М.М., Мозгунова А.И., Мосейко Вал. О., Мосейко В.В., Лебский С.Л. // Известия ВолгГТУ. Вып. 9 / ВолгГТУ. - Волгоград, 2014. - № 9 (136). - С. 99-102.

9. Пановко Я.Х. Введение в теорию механического удара. М.: Наука, 1977. 224 с.

10. Виноградов В.Н. Изнашивание при ударе / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, А.Ю. Албагачиев. М.: Машиностроение, 1982. –192с.

11. Непомнящий Е.Ф. Трение и износ под воздействием струи твердых сферических частиц. / Е.Ф. Непомнящий // Контактное воздействие твердых тел и расчет сил трения и износа. – М.: Наука, 1971. – С.190-200.

12. Визначення оптимальних технологічних режимів дробеструменевого очищення металевих поверхонь: монографія. / Горик О.В., Чернявський А.М., Ландар А.А., Шулянський Г.А.// Полтава: Полтавська державна аграрна академія. – 2012 – 101с.

Горик А.В., Брикун А.Н., Черняк Р.Е. ВЫБОР ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ АТАКИ ПРИ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОЧИСТКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При снижении себестоимости процесса дробеструйной очистки металлических поверхностей разработана методика расчета оптимальной скорости атаки, как главного технологического показателя, который определяет производительность обработки, интенсивность износа инструмента и качество обработанной поверхности. В работе на основе экспериментально обоснованных исходных значений экономического периода устойчивости дроби в зависимости от свойств контактных тел (дроби и обрабатываемого изделия) проиллюстрирован выбор экономически выгодных скоростных технологических параметров механической дробеструйной обработки.

Ключевые слова: дробеструйная очистка, скорость атаки, себестоимость, устойчивость дроби, поверхностная производительность.

O. Goryk, O. Brykun, R. Chernyak CHOOSING THE OPTIMUM SPEED ATTACK DURING THE SHOT-BLAST CLEANING WITH COST CONDITIONS

The article deals with a process of shot-blast cleaning as one of the effective ways of metal surfaces treatment. It is widely used in the production and it is a speed process that impacts on the work surface with metal fractions and it takes part in the surface preparation removing the surface layer of the metal. The fact that is the functional relationships between the velocity of shot-blast torch on the treated surface and the variable part of the technological cost of cleaning that similar to the mechanical machining. This research formed the basis of the speed characteristics of the process.

It should be noted that we received correlations to determine economically advantageous speed attack shot workpiece based on indicators that form the cost of the process, such as the cost of shot-blast installation per minute, the impact speed attack on the resistance point, the relative stability of the shot, the time to replace the point that worn and expenses associated with the manufacture and operation of the technical point during the period of its stability.

It shown that some of the calculated and experimentally established values that are in the ratio to determine the optimal speed attack based on real data technology and cost parameters of Public Joint-Stock Company "AutoKrAZ". Data about numerical testing methodology for determining optimal speed attack of abrasive fractions on metal surfaces according to economic efficiency shows the reconciliation of the results with real cleaning mode are given.

Keywords: shot-blast cleaning, speed of attack, cost price, resistance fractions, surface performance.

Стаття надійшла в редакцію: 07.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кузема О.С.