Разработано математическую модель процесса работы фрезерно-барабанного рабочего органа, обоснованные некоторые основные параметры и кинематические характеристики работы агрегата и лопастей.

Ключевые слова: *фрезерно-барабанный рабочий орган, скорость движения, производительность, угловая скорость, кинематический показатель, площадь стружки, компост, размеры буртов.*

RATIONALE THE MAIN PARAMETERS OF MILLING DRUM WORKING BODIES FOR MIXING AND AERATING COMPOST MECHANICAL MATERIALS

A mathematical model of the process of milling drum your body proved some basic parameters and kinematic characteristics of the unit and blades.

Key words: *milling drum your body, speed, performance, angular velocity, kinematic metric space shavings, compost, size clamps.*

УДК 621.924.9

КІНЕМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ РУХУ АТАКУЮЧОЇ ЖОРСТКОЇ ЧАСТИНКИ У МОМЕНТ ДІЇ НА МЕТАЛЕВУ ПОВЕРХНЮ

О.В. Горик, докт. техн. наук, проф., **Г.А. Шулянський**, інж.,
А.М. Чернявський, ст. наук. співр.
Полтавська державна аграрна академія

В статті досліджуються основні кінематичні параметри руху атакуючої дробинки під час її впливу на оброблювану металеву поверхню.

Ключові слова: *кінематичні параметри, факел, час контакту.*

Вступ. Історія розвитку техніки свідчить про те, що у ряді випадків основною причиною зниження довговічності деталей механізмів і машин є зношування унаслідок контакту металевих поверхонь з твердими рухомими частинками в ході того або іншого технологічного процесу. Дана проблема, зокрема ерозійне зношування, є характерною для більшості машин і механізмів, особливо, сільськогосподарських. З іншого боку процес масової швидкісної дії потоку металевих гранул-дробинок на оброблювану поверхню широко застосовується в різних

© О.В. Горик, Г.А. Шулянський, А.М. Чернявський.
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

галузях машинобудування для очищення і підготовки знежирених поверхонь металевих виробів перед нанесенням захисних покриттів, а також для зміцнення поверхневого шару.

Постановка проблеми. Характер імпульсної дії дробу на оброблювану поверхню, як результат динамічного контакту, залежить від багатьох чинників: форми і розмірів гранул, фізико-механічних властивостей атакуючих дробинок і оброблюваного матеріалу (в першу чергу міцності і твердості), кута і швидкості атаки дробинками оброблюваної поверхні, параметрів енергоносія і багатьох інших. Аналітичне описання такого складного багатофакторного процесу в загальному виді не завжди вирішуване. Виникає необхідність розробки методів визначення окремих обґрунтованих техніко-економічних і технологічних параметрів абразивної дії на оброблювану поверхню з подальшим синтезом результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведені дослідження свідчать про те, що вільні абразивні частинки (гранули) по-різному діють на оброблювану поверхню виробу, матеріал якого володіє пружно-пластичними властивостями. Моделі, що описують динамічну взаємодію контртіл [1-5], ґрунтуються на різних механізмах руйнування поверхневого шару металевих виробів, що зумовлює той або інший вид зношування при ударі [1]. Тут і відділення частинок металу в результаті мікрорізання, і втомний механізм руйнування, і ударно-гідро-абразивне та ударно-теплове зношування, та інші види. Багато дослідників, не безпідставно, використовують ударно-абразивний механізм руйнування. Існують різні думки про те, який механізм дії на поверхневій шар оброблюваної металевої поверхні є переважаючим і чи можна встановити між ними чітку межу. Проте, правильний вибір картини руйнування дає можливість визначити оптимальні технологічні режими і, тим самим, підвищити ефективність застосування, наприклад, дробильно-струменевого очищення або прогнозувати міру зношування. При цьому не повною мірою результати взаємодії окремої дробинки з металевим півпростором пов’язують з кінематичними параметрами її руху, які, після узагальнення їх на процес масової дії, є необхідними початковими умовами проектування відповідних технологічних процесів.

Мета дослідження. Ґрунтуючись на ударному механізмі руйнування поверхневого шару металевого виробу, дробильно-струменевим факелом встановити основні кінематичні параметри руху окремої дробинки під час її дії на оброблювану поверхню, пов’язавши їх з швид-

кістю та кутом атаки, а також глибиною утвореного сліду.

Результати досліджень. Металографічні дослідження, проведені нами за допомогою оптичного мікроскопа, дозволили вивчити структуру слідів, які залишають жорсткі частинки (дробинки) на оброблюваній металевій поверхні в результаті дробеструменевої обробки. Вони є вм'ятинами у вигляді боріздок, лунок, подряпин дещо витягнутої форми з плавним входом і виходом по напряму дії дробильно-струменевого потоку. Сліди мають мікроскопічні подряпини на поверхні і злегка спучені краї по периметру, що свідчить про значні пластичні деформації поверхневого шару оброблюваних виробів з елементами мікрорізання. Це свідчить про пріоритет абразивного ударно-втомного механізму руйнування поверхневого шару оброблюваної деталі [1]. Зрозуміло, що при цьому не виключається мікрорізання металу, підтвердженням чого служать мікроподряпини на поверхні слідів. Проте мікрорізання не є переважаючим і складає лише незначну частку від загальної роботи руйнування поверхневого шару.

Приймаємо до уваги наступні початкові умови: дробинка є абсолютно твердим тілом сферичної форми; оброблювана поверхня є пружно-пластичним напівпростором; під час атаки дробинка рухається прямолінійно і поступально; рух дробинки при контакті з поверхнею напівпростору є плоскопаралельним.

Ґрунтуючись на вищенаведеному, приймаємо в основу розрахунків схему контакту окремої дробинки радіусом r, що летить з швидкістю v і під кутом атаки α, наведену на рисинку.

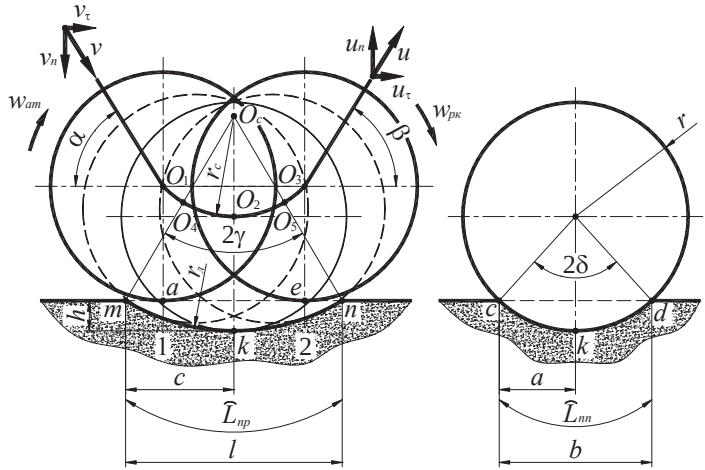
Атакою дробинки вважатимемо її рух з моменту зіткнення з оброблюваною поверхнею в точці a (положення 1) до максимального занурення в точці k, рикошетом рух від точки k до точки e (положення 2), а, відповідно, контактом – взаємодію дробинки з поверхнею, тобто рух від положення 1 до положення 2.

За час контакту центр мас дробинки рухається з положення 1 в положення 2 по дуговій траєкторії $O_1O_2O_3$ з деяким радіусом r_c, який залежить від глибини занурення дробинки h і кута атаки α (рис. *а*).

Під час контакту дробинка обертається навколо власної осі симетрії, перпендикулярної до площини руху, за годинниковою стрілкою і, перекочуючись з ковзанням, видавлює на оброблюваній поверхні довгасту лунку (слід) mkn з подовжнім радіусом $r_л$, довжиною l і глибиною h (рис. *а*), витісняючи валики металу по контуру сліду (на рис. валики умовно не показані). Ширина b сліду у нормальному до площини руху перерізі визначається радіусом дробинки r (рис *б*)

Далі, після утворення сліду дробинка рикошетить під кутом β з швидкістю u.

Прийнята схема контакту дробинки з оброблюваною поверхнею дозволяє без зусиль визначити основні геометричні параметри сліду, вважаючи відомим діаметр сфери, описаної навколо дробинки $(d = 2r)$ і глибину лунки (h).



а *б*

Рис. Схема одиничного контакту дробинки з оброблюваною поверхнею: а – глибина занурення дробинки *h* і кута атаки *α*; б – ширина *b* визначається радіусом дробинки *r*

Оскільки інтерес викликають кінематичні параметри дробинки під час контакту, то умовимося занурення у напівпростір пов'язувати з фазою атаки, а вихід – з фазою рикошету. При цьому вважаємо швидкість v і кут атаки α відомими величинами.

Спочатку визначимо лінійні швидкісні параметри.

Складові швидкості атаки: нормальна $v_n = v \cdot \sin\alpha$, тангенціальна $v_r = v \cdot \cos\alpha$.

Відповідно складові швидкості рикошету: $u_n = u \cdot \sin\beta$, $u_r = u \cdot \cos\beta$.

Нормальна складова швидкості атаки v_n змінюється від деякого початкового значення в момент дотику до поверхні (положення 1) до нуля при досягненні дробинкою максимального заглиблення h (точка k), після чого міняє напрям, переходячи у фазу рикошету.

Нормальна складова швидкості рикошету u_n збільшується від нуля

при максимальній глибині занурення дробинки h (точка k) до деякого кінцевого значення при досягненні дробинкою початкового рівня оброблюваної поверхні (положення 2).

Коефіцієнт відновлення швидкості дробинки $k_в$ при нормальному ударі

$$k_в = u_n / v_n = u \sin\beta / (v \sin\alpha). \quad (1)$$

Часто у практичних розрахунках, допускають рівність кутів атаки і рикошету ($\alpha \approx \beta$), тобто, симетрію схеми контакту (рис. *а*). Тоді $k_в \approx u/v$.

Тангенціальна складова швидкості атаки за час контакту дробинки з оброблюваною поверхнею зменшується від деякого початкового значення v_τ (положення 1) до кінцевого значення, рівного тангенціальній швидкості рикошету, що становить u_τ (положення 2) по наступному закону

$$u_\tau = v_\tau k_{ум}. \quad (2)$$

Коефіцієнт зменшення швидкості дробинки в тангенціальному напрямі

$$k_{ум} = u_\tau / v_\tau = u \cos\beta / (v \cos\alpha). \quad (3)$$

Тут прирівнювати кути атаки і рикошету не коректно, це призводить до подвоєної похибки між коефіцієнтами (1) та (3). Для оптимальних режимів дробильно-струменевого очищення низьковуглецевих сталей після нормалізаційного відпалу $k_в \approx 0,6$; $k_{ум} \approx 0,4$.

Середня швидкість тангенціального переміщення дробинки відповідно до (2) і (3)

$$v_{\tau.ср} = 0,5(v_\tau + u_\tau) = 0,5 v_\tau (1 + k_{ум}). \quad (4)$$

Тепер зупинимося на кутових швидкостях обертального руху дробинки навколо центра мас. Визначимо їх через тангенціальні складові швидкостей руху дробинки при атаці і рикошеті, відповідно

$$w_{ат} = v \cdot \cos\alpha / r \quad (5)$$

$$w_{рк} = u \cdot \cos\beta / r. \quad (6)$$

Середня кутова швидкість обертального руху дробинки при переміщенні центра мас з точки O_1 у точку O_3

$$w_{др} = 0,5(w_{ат} + w_{рк}) . \quad (7)$$

Використаємо середню швидкість тангенціального переміщення дробинки (4) для визначення часу контакту дробинки з оброблюваною поверхнею при переміщенні її центра мас по траєкторії $O_1O_2O_3$

$$t_к \approx L_c k / v_{\tau.ср} \approx l / v_{\tau.ср} , \quad (8)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який у кожному конкретному випадку потребує уточнення залежно від глибини h и кута атаки α; $L_c = r_c 2\gamma / 2\pi$ – довжина кривої $O_4O_2O_5$; $l \approx 2\sqrt{2(r + r_c)h}$ – довжина сліду; $r_c = nh = (3...5)h$ (n зростає при зміні α від 45^0 до 75^0).

Час контакту дробинки з оброблюваною поверхнею слід перевіряти і по масовій подачі Q_c дробильно-струменевого сопла, використовуючи формулу:

$$t_к = t / N = mt / Q_c , \quad (9)$$

де $N = Q_c / m$ – кількісна подача дробинок через сопло; $t = 1c$ – час вимірювання; m – маса однієї дробинки.

Маючи час контакту, можемо визначити динаміку зміни швидкостей.

Кутове сповільнення обертального руху дробинки

$$\varepsilon = \left(w_{рк} - w_{ат}\right) / t_к . \quad (10)$$

Лінійне сповільнення поступального руху дробинки по нормалі до оброблюваної поверхні при її зануренні

$$a_{vn} = -k_v v_n / t_к . \quad (11)$$

Лінійне прискорення поступального руху дробинки по нормалі до оброблюваної поверхні при рикошеті

$$a_{un} = k_u u_n / t_к . \quad (12)$$

У (11) і (12) $k_v = v_{n,ср} / v_n$ і $k_u = u_{n,ср} / u_n$ – коефіцієнти усереднення швидкостей, які визначаються на основі прийнятої моделі взаємодії дробинки з оброблюваною поверхнею. Тестові розрахунки за відомими моделями при різних параметрах процесу дозволили оцінити межі зміни цих коефіцієнтів і для попередніх розрахунків рекомендувати лінійну функцію зміни швидкостей з коефіцієнтами 0.5.

Лінійне сповільнення поступального руху дробинки в тангенціальному напрямі щодо оброблюваної поверхні

$$a_\tau = \left(u_\tau - v_\tau\right)/t_к = v_\tau(к_{ум} - 1)/t_к \,. \qquad (13)$$

Таким чином, центр мас частинки (дробинки) рухається поступально в площині нерухомої системи прямокутних координат (у площині рисунка) по круговій траєкторії – дузі кола радіусом r_c з центром в точці O_c.

Сама дробинка в процесі поступального пересування з ковзанням обертається за годинниковою стрілкою навколо рухомої осі, яка проходить через центр мас дробинки і перпендикулярна площині поступального переміщення. У зв'язку з наявністю сил опору обертанню, дробинка провертається навколо власної осі симетрії із кутовою швидкістю $w_{др}$.

В результаті, по обмеженій кількості початкових даних і пробних вимірів глибини сліду можна визначити траєкторію переміщення атакуючої дробинки, визначити кінематичні параметри її руху при взаємодії з оброблюваною поверхнею і обчислити час контакту, що дозволяє прогнозувати оптимальні режими технологічних процесів, обґрунтувати вихідні умови для проектування.

Висновки. Кінематичні параметри руху дробинки при її взаємодії з оброблюваною металевою поверхнею, є важливими складовими показників дробильно-струменевого очищення металевих виробів або інших технологічних процесів, і, як наслідок, слугують початковими вихідними умовами при їх проектуванні, що дозволяє встановити найбільш економічні методи обробки поверхонь. Правильні проектні рішення таких процесів, прийняті на основі обґрунтованих параметрів руху атакуючих дробинок, забезпечують необхідну якість поверхонь інженерних конструкцій, підвищують їх експлуатаційну довговічність і надійність.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Виноградов В.Н.* Изнашивание при ударе / В.Н.Виноградов Г.М. Сорокин, А.Ю. Албагачиев. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.
2. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
3. *Кащеев В.Н.* Абразивное разрушение твердых тел / В.Н. Кащеев. – М.: Наука, 1970. – 247 с.
4. *Тадальдер Ю.А.* О механизме разрушения технически чистых ме-

таллов при изнашивании в струе абразива / Ю.А. Тадальдер // Сб.: «Износ, усталость и коррозия металлов». Труды Таллиннского политех. инс-та. – Серия А. – №237. – С.35-40. – Таллинн, 1966. – 155 с.

5. *Богомолов Н.И.* Исследование деформации металла при абразивных процессах под действием единичного зерна / Н.И. Богомолов // Труды ВНИИАШ. – №7. – С.74-88. –Л.: Машиностроение, 1968. – 123 с.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ АТАКУЮЩЕЙ ЖЕСТКОЙ ЧАСТИЦЫ В МОМЕНТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

В статье исследуются основные кинематические параметры движения атакующей дробинки во время ее воздействия на обрабатываемую металлическую поверхность.

Ключевые слова: *кинематические параметры, факел, время контакта.*

KINEMATIC PARAMETERS OF MOTION ATTACKING HARD PARTICLES AT THE TIME OF THE METAL SURFACE

The paper examines the main kinematic parameters of motion attacking particle during its exposure to the treated metal surface.

Key words: *kinematic parameters, torch, contact time.*