

УДК 621.867.4

Р.М. Рогатинський, д.т.н., проф.; О.Р. Дмитрів, к.т.н., доц.; А.Б. Гупка, к.т.н., доц.;
В.В. Головка; А.П. Грабовський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДРОБОМЕТНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛАДНИМИ ПОВЕРХНЯМИ

R. Rogatynskyi, Dr., Prof.; O. Dmytriv, Ph.D., Assoc. prof.; A. Hupka, Ph.D., Assoc. Prof.; V.
Holovko; A. Hrabovskyi

SHOT BLASTING OF PARTS WITH COMPLEX SURFACES

Дробоструминна та дробометна обробка широко використовуються в різноманітних галузях машинобудування для зміцнювання поверхонь деталей, надання їм відповідних трибологічних властивостей, формування рівномірної шорсткості, а також для їх очищення, активації та підготовки під захисні неметалеві покриття. Проте процеси динамічної взаємодії дробинки із поверхнями, вплив геометрії поверхонь та режимів обробки на якість та властивості оброблюваних поверхонь досліджені ще недостатньо. Особливо це стосується деталей із складними поверхнями, зокрема при обробці гвинтових робочих органів, пружин, деталей підвіски автомобіля, оскільки якісна обробка таких деталей можлива тільки при складних робочих рухах самої поверхні та направляючого сопла. При цьому важливим є також дослідження нешвидкісної дробометної обробки, обладнання для якої відзначається простотою та надійністю.

Метою дослідження є розробка імітаційних моделей дробоструминної та дробометної обробки та проведення обчислюваного експерименту для визначення особливостей взаємодії дробинки із складними робочими поверхнями та встановлення сил взаємодії та контактних напружень за різних умов та режимів обробки.

Для розв'язку поставленої задачі розроблено теоретичні моделі, алгоритми та програмне забезпечення взаємодії дробинки із поверхнями деталей за різних швидкостей та кутах зіткнення. Зокрема приймалося, що пластична деформація при зіткненні може спостерігатись на вершинах нерівностей і не поширюється на всю площу контакту, тобто в цілому умови контакту відповідають пружному зіткненню об'єктів взаємодії, що уможливило побудову моделі на основі розв'язку контактної задачі Герца, в якій сила взаємодії рівна [1].

$$P_{ij} = E_{ij}^* u_{ij}^{3/2} / \sqrt{K_i + K_j} . \quad (1)$$

де u_{ij} - величина жорсткого зближення; K_i, K_j - кривини об'єктів в точці контакту; E_{ij}^* - композитний модуль Юнга, що враховує пружні характеристики тіл контакту [1].

Величину жорсткого зближення u_{ij} в моделі визначали як глибину проникнення в точці контакту $E(x_E, y_E, z_E)$ поверхонь дробини і деталі, які описувались функціями одиничного градієнту

$$u_{ij} = \Delta h_i + \Delta h_j = -[f_{iE}(x_E, y_E, z_E, t) + f_{jE}(x_E, y_E, z_E, t)] . \quad (2)$$

Динаміку покрової взаємодії за елементарний приріст часу, при чисельному моделюванні зіткнення, визначали за алгоритмом, описаним в [1]. Обчислюваний експеримент проводили для випадку струминної обробки спіралей шнеків, виготовлених із матеріалів, з характеристиками сталі Ст 3 та сталі 45 дробом сталевим та чавунним згідно ДСТУ 3184-95, а також сталевими кульками більшого розміру по ДСТУ ГОСТ 3722:2018. Для чавунного литого дробу твердістю 800 HV приймали коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,24$ та модулі пружності $E = 1,4 \cdot 10^5$ МПа і $G = 4,5 \cdot 10^4$ МПа. Для чавунного литого дробу поліпшеного твердістю 550 HV приймали густину $\rho = 7000$ кг/м³, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,25$ та модулі пружності $E = 1,3 \cdot 10^5$ МПа і $G = 4,5 \cdot 10^4$ МПа. Для сталевих литих дробів твердістю 550 HV приймали густину $\rho = 7850$ кг/м³, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,28$ та модулі пружності $E = 2 \cdot 10^5$ МПа і

$G=8 \cdot 10^4$ МПа. Для кульок по ДСТУ ГОСТ 3722:2018 приймали $\rho=7850$ кг/м³, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,28$ та модулі пружності $E=2,2 \cdot 10^5$ МПа і $G=8,1 \cdot 10^4$ МПа.

Для деталей із сталі 45 приймали густину $\rho=7850$ кг/м³, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,27$, модулі пружності $E=2,0 \cdot 10^5$ МПа і $G=7,4 \cdot 10^4$ МПа, а для деталей із сталі Ст.3 приймали, відповідно, густину $\rho=7850$ кг/м³, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,27$, модулі пружності $E=2,0 \cdot 10^5$ МПа і $G=7,4 \cdot 10^4$ МПа.

Рухомим оброблюваним поверхням, при моделюванні ударної взаємодії, надавали різні кутові розміщення в просторі та швидкості, а взаємодія з дробом (діаметром $d = [2,8; 3,2; 3,6]$ мм) та кульками (діаметром $d = [5; 5,5; 6; 6,5; 7]$ мм) моделювалась із різними швидкостями та кутами зіткнення. Вибір швидкостей зіткнення на першому етапі проводився із умови реалізації пружного удару.

Реалізація обчислюваного експерименту з використанням розробленого в ТНТУ програмного забезпечення показала, що, при використанні дробометних установок із швидкістю обробки до 20 м/с, доцільно використовувати кульки більшого діаметру, для яких сила ударної взаємодії досягала 400 Н, а час контактної взаємодії не перевищував $t_k=1,1$ с. Зокрема на рис.1. показано зміну сили контактної взаємодії дрібинок (кульок) різних діаметрів при швидкостях взаємодії $v=15$ м/с (а) та $v=20$ м/с (б) відповідно.

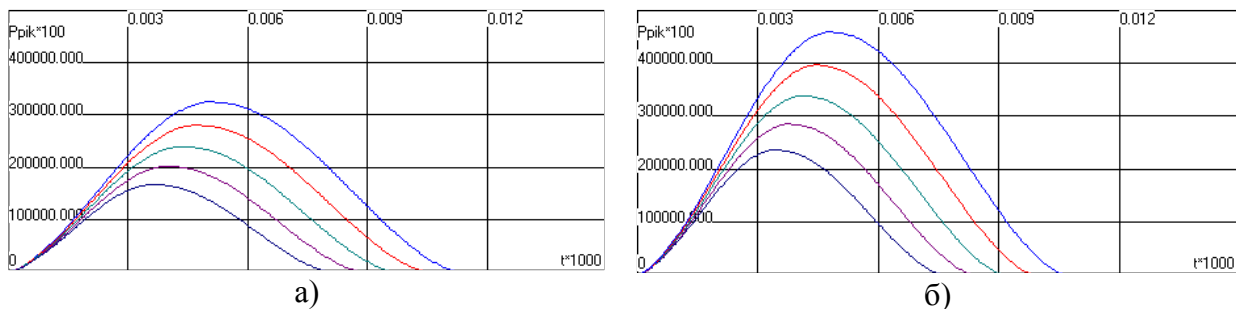


Рисунок 1. Зміна сили контактної взаємодії в часі при швидкості взаємодії $v=15$ м/с (а) та $v=20$ м/с (б) при нормальному ударі сталевих кульок діаметрами $d : 5; 5,5; 6; 6,5; 7$ (мм) відповідно.

Аналогічні залежності будувались для кульок різного діаметру при різних нахилах та швидкостях позиціонування поверхонь відносно сопла. Крім того будувались залежності для різних траєкторій і кутових та лінійних швидкостей кульок до та після контакту. Встановлено, що сила контактної взаємодії залежить від швидкості зближення та розмірів кульки та мало залежить від вибору матеріалу кульок (сталевих чи чавунних). Час контактної взаємодії незначно залежить від швидкості зіткнення кульок із поверхнями, причому для більших швидкостей час дещо менший. Із врахуванням виявлених закономірностей виведено аналітичні залежності для визначення часу та сили взаємодії при дробометній (дробоструминній) обробці. Отримані залежності, із врахуванням особливостей швидкісної дробоструминної обробки, поширено на випадок пружно-пластичної взаємодії кульок із поверхнями.

Література

1. Implementation of a computational experiment for shock interaction of spherical bodies. R Rogatynskyi; O Lyashuk; B Mussabayev; I Hevko; O Dmytriv; A Kozhevnykov. . Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2025, (2): pp.147 - 154. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-2/147>