

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІНІШНОЇ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ПРИРОДНОГО ТА СИНТЕТИЧНОГО КАМЕНЮ

Сідорко В.І., Філатов Ю.Д. (ІНМ, м. Київ Україна)

On the basis of research of contact interaction of the tool with the connected diamond and polishing powders with a surface of a product and studying of functional communication between productivity of removal of a processable material both technological and design data of process machining ground the characteristic and a design of a working surface of the tool for grinding and polishing of surfaces of products from a natural and synthetic stone.

Постановка проблеми. Сучасний стан проблеми високопродуктивної фінішної механічної обробки природного та синтетичного каменю (ПСК) характеризується окремими досягненнями у вирішенні питань підвищення продуктивності обробки і якості обробленої поверхні на технологічних операціях тонкого (ТАШ), надтонкого (НТАШ) алмазного шліфування і полірування інструментом зі зв'язаними полірувальними порошками. Разом з тим, при комплексній реалізації технологічних процесів фінішної обробки ПСК дотепер існують невирішені проблеми [1].

Існуючі методики розрахунку інтенсивності видалення оброблюваного матеріалу при ТАШ, НТАШ і поліруванні ПСК, як і всіх інших неметалевих матеріалів, базуються на законі Престона (Preston, 1927) [2–6], і можуть бути застосовані тільки в конкретних випадках за припущень і наближень, правомірних для певних умов обробки конкретних матеріалів.

Кластерна модель зношування кремнеземвміщуючих та алюмосилікатних матеріалів при поліруванні [7–9] не є універсальною. Статистичний зміст характеристичної швидкості, що входить у рівняння зносу за кластерною моделлю, а відомі методи її розрахунку та експериментального визначення не дозволяють використовувати кластерну модель для аналізу процесів полірування ПСК і, тим більше, для їх шліфування. Процес диспергування частинок зносу при механічному впливі на поверхню оброблюваного матеріалу є стохастичним, визначені функції їхнього розподілу за розмірами і площами поверхні вивчені для багатьох матеріалів. Разом з тим, не зважаючи на спроби використати статистичний підхід до аналізу процесу видалення оброблюваного матеріалу, до теперішнього часу відсутні загальні закономірності для фінішних процесів прецизійної обробки ПСК (ТАШ, НТАШ і полірування).

Значна кількість досліджень присвячена вивченню впливу технологічних і конструктивних параметрів, фізико-хімічних властивостей деталі, інструмента й мастильно-охолоджуючого технологічного середовища (МОТС) на ефективність і якість обробки неметалевих матеріалів, однак наявні в них теоретичні й експериментальні дані носять фрагментарний характер і не вирішують питання про відміну і подібність процесів шліфування й полірування, які дотепер є дискусійним [10–12].

Процеси фінішної механічної обробки виробів з ПСК, які характеризуються малими величинами припусків на обробку (до 300 мкм) та параметрів шорсткості обробленої поверхні (Ra 0,01-0,05), супроводжуються переносом маси матеріалів з взаємодіючих поверхонь оброблюваної деталі та інструменту [1, 10, 11], тому актуальна науково-технічна проблема істотного поліпшення техніко-економічних і екологічних показників каменеобробного виробництва може бути вирішена лише на

основі аналітичного дослідження контактної взаємодії інструментів зі зв'язаними алмазними та іншими за складом полірувальними порошками з поверхнею виробу та вивчення функціонального зв'язку між продуктивністю видалення оброблюваного матеріалу та технологічними і конструктивними параметрами процесу обробки.

Ціль роботи є обґрунтування характеристики і конструкції робочого шару інструмента для шліфування і полірування поверхонь виробів з природного та синтетичного каменю. Для чого необхідно на основі дослідження контактної взаємодії інструмент з поверхнею виробу вивчити функціональний зв'язок між продуктивністю видалення оброблюваного матеріалу та технологічними параметрами процесу обробки.

Закономірності фінішної обробки неметалевих матеріалів. В результаті дослідження контактної взаємодії інструментів зі зв'язаними алмазними та іншими за складом полірувальними порошками з поверхнею виробу розроблено модель утворення та видалення частинок шламу оброблюваного матеріалу і формування поверхні виробу при фінішній алмазно-абразивній обробці ПСК, яка полягає в тому що в результаті силової дії інструмента на поверхню виробу утворюються частинки шламу, які рухаються в об'ємі контактної зони; видалення оброблюваного матеріалу представляється як масоперенос частинками шламу, а виникнення та поширення дефектів і ушкоджень у поверхневому шарі виробу обумовлені видаленням частинок шламу і переміщенням границі розділу інструмент-оброблювана поверхня [1].

На основі цієї моделі показано, що енергія U^* переносу обернено пропорційна коефіцієнту ξ масового зносу (маса видаленого при механічній обробці матеріалу, віднесена до довжини шляху тертя за одиницю часу), залежить від коефіцієнта теплопровідності λ і температури T й визначається рівнянням $U^* = \lambda T / \xi$ [1, 11]. Зв'язок коефіцієнтів ξ і ξ_W виражається формулою $\xi_W = \xi / \rho_1 U^*$. Потужність N , що витрачається на видалення оброблюваного матеріалу (потік енергії) та продуктивність Q (кг/с) його видалення (потік маси), визначаються рівняннями [1]

$$N = - \left[\lambda \nabla T + \frac{\xi}{\rho_1} \nabla P \right] S; \quad (1)$$

$$Q = - \left[\frac{\xi \cdot \nabla T}{T} + \frac{\xi}{\rho_1} \frac{\nabla P}{U^*} \right] S, \quad (2)$$

де S – площа оброблюваної поверхні.

Показано, що об'єм $V(\tau)$ видаленого матеріалу в залежності від часу τ обробки розраховується за формулою [1, 10, 11]

$$V(\tau) = \sum_i V_{0i} c_i(z, \tau) \Big|_{z=z_0}, \quad (3)$$

де V_{0i} , $c_i(z, \tau)$ – об'єм і концентрація i -х частинок шламу відповідно;

z_0 – координата, що визначається законом руху границі розділу інструмент-оброблювана поверхня.

В результаті дослідження статистичного характеру розподілу частинок шламу за розмірами та умов контакту поверхонь інструмента і виробу встановлено, що концентрація частинок шламу $c_i(z, \tau)$ в залежності від координат і часу обробки

розраховується за формулою [10]

$$c_i(z, \tau) = n_{0i} \left[1 - \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{\eta_i \tau}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{\eta_i}}\right)} \right], \quad (4)$$

де n_{0i} – концентрація i -х частинок шламу на поверхні; $\eta = \xi/\rho_1$ – коефіцієнт об'ємного зносу; $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ – інтеграл похибок [13].

Виходячи з умови енергетичного балансу, за припущення, що температура в зоні контакту інструмента і виробу є сталою, а енергія диспергування витрачається на утворення нових поверхонь $W_d = \sigma \sum_i S_i$ (S_i – площа поверхні i -ої частинки шламу, σ – поверхнева енергія оброблюваного матеріалу) та з урахуванням закону руху границі розділу інструмент-оброблювана поверхня $z = \alpha\sqrt{\tau}$ (α – коефіцієнт пропорційності), показано, що коефіцієнти об'ємного зносу $\eta_i = d_i^2/4 \beta_i^2 \tau_c$ залежать від розмірів d_i частинок шламу, часу τ_c їх контакту з поверхнею інструмента, характеристик теплового і силового впливу інструмента на оброблювану поверхню і визначаються коренями β_i рівнянь $f(\beta_i) = D(i)$, в яких $f(\beta_i) = \frac{e^{-\beta_i^2}}{\sqrt{\pi} \operatorname{erf}(\beta_i)}$ і

$D(i) = \frac{L_t}{n_{0i} S_i} \sqrt{\frac{\lambda T \tau_c}{p_a}}$ – допоміжні функції, p_a – номінальний тиск притискання інструмента до оброблюваної поверхні, L_t – довжина шляху тертя елемента робочого шару інструмента по поверхні виробу.

Розв'язки β_i і відповідно коефіцієнти η_i для i -х частинок шламу знаходяться наближеними методами. При зменшенні $D(i)$ збільшується β_i , внаслідок чого коефіцієнт об'ємного зносу η_i зменшується, а концентрація частинок шламу, що мають відповідний до η_i об'єм, в процесах шліфування (рис. 1) і полірування (рис. 2) – збільшується, відповідно зростає і продуктивність видалення оброблюваного матеріалу.

З урахуванням, що швидкість відносного переміщення інструмента і виробу визначається відношенням $u = L_t/\tau_c$, а допоміжна функція

$D(i) = \frac{L_t}{n_{0i} S_i} \sqrt{\frac{\lambda T L_t}{p_a u}} = \frac{L_t \sqrt{S_k}}{n_{0i} S_i} \sqrt{\mathcal{G}}$ (S_k – площа контакту інструменту з поверхнею виробу; $\mathcal{G} = \frac{\lambda T L_t}{p_a u S_k}$ – безрозмірний параметр) встановлено функціональний зв'язок

(рис. 3) між продуктивністю фінішної обробки ПСК ($Q(\tau) \sim V(\tau)$) і параметрами

моделі $(L_t, \lambda, T, p_a, u, n_{0i}, S_i)$.

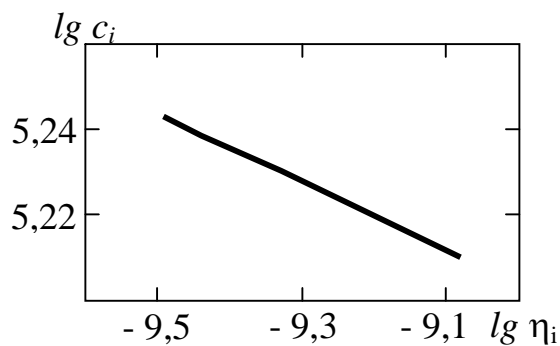


Рис. 1. Залежність концентрації частинок шламу від коефіцієнта об'ємного зносу для процесу шліфування

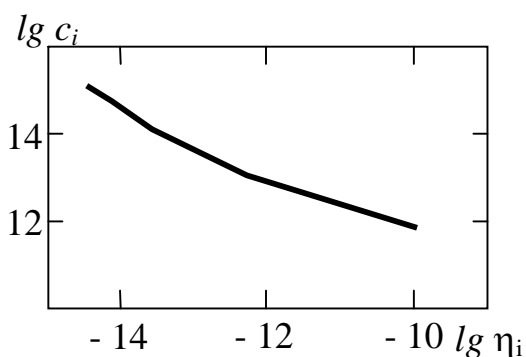


Рис. 2. Залежність концентрації частинок шламу від коефіцієнта об'ємного зносу для процесу полірування

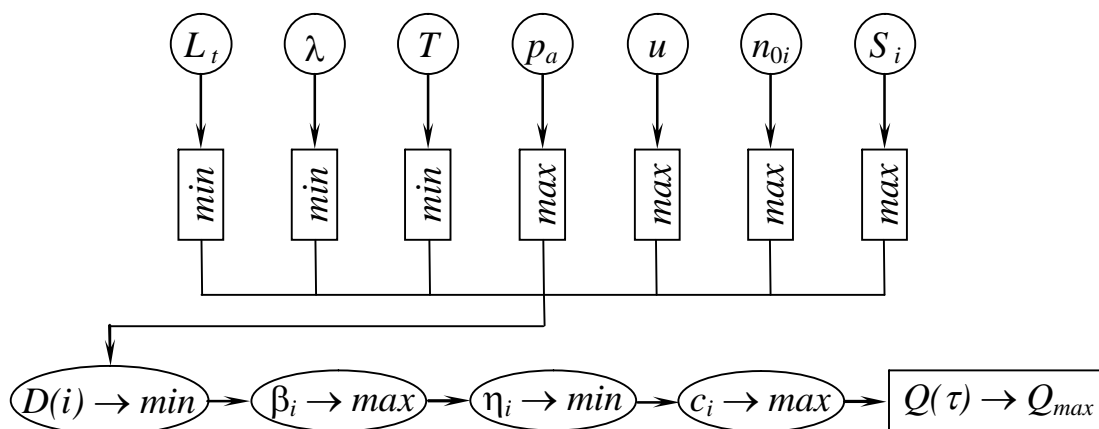


Рис. 3. Функціональний зв'язок між продуктивністю фінішної обробки ПСК і параметрами моделі

Залежність продуктивності полірування різних видів ПСК (агат, родоніт, нефрит, яшма технічна, халцедон, амазоніт, обсидіан, чароїт, яшма орська, габро, зміювик, базальт плавлений, кварц, базальт, технічне скло марок ТК116, ТК21, БФ12, ТФ101, ТФ102, ТФ110, К8) від параметра \mathcal{Q} (рис. 4), апроксимовано функцією $Q(\mathcal{Q}) = Q_0 \exp(-\gamma \cdot \mathcal{Q})$ (величини λ , T , p_a і u подано в системі СІ, коефіцієнт теплопровідності розраховано за хімічним складом згідно з методикою Русса [14], $Q_0 = 0,55$ мкм/хв., $\gamma = 1,13$, похибка розрахунку не перевищує 30 %).

При дослідженні кінетики процесу полірування ПСК показано, що за умови $c_i(z, \tau) \geq 0$ частинки шламу утворюються при характерних величинах часу контакту, за якими розраховано величину їх переміщення, що співпадає зі значенням максимальної висоти нерівностей профілю R_{max} . Це означає, що утворення частинки шламу відбулося, якщо вона перемістилась від границі розділу інструмент-оброблювана поверхня на відстань, що дорівнює R_{max} .

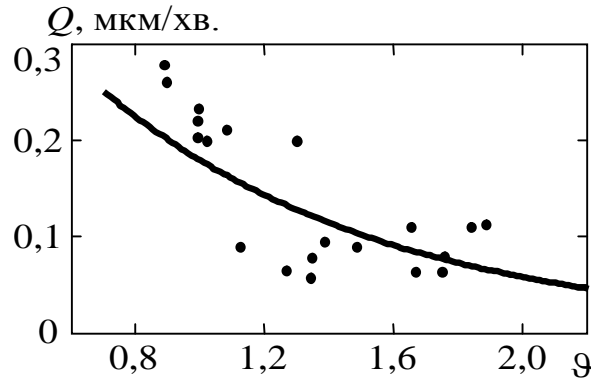


Рис. 4. Залежність продуктивності полірування ПСК від параметра θ

При шліфуванні концентрація частинок шламу нелінійно зростає зі збільшенням часу обробки, умова $c_i(z, \tau) \geq 0$ виконується для значень z , які визначаються законом руху границі інструмент-оброблювана поверхня і співпадають з розмірами d_i частинок. З цього випливає, що частинки шламу відриваються з оброблюваної поверхні, якщо величина переміщення границі розділу (величина лінійного знімання) дорівнює d_i . Аналіз закономірностей утворення частинок шламу при фінішній обробці ПСК показав, що їх розміри задовольняють нерівностям: $d_i < R_{max}$ – для процесу полірування та $d_i > R_{max}$ – для процесу шліфування (рис. 5).

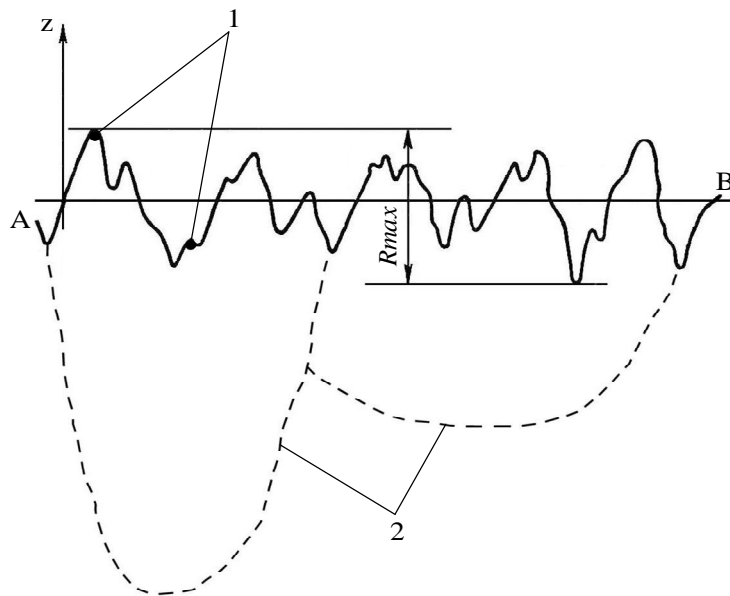


Рис. 5. Мікропрофіль обробленої поверхні

Обґрунтовано характеристики і конструкції робочого шару інструмента для ТАШ, НТАШ і полірування плоских та складнопрофільних поверхонь виробів з ПСК за існуючими технологічними системами (обробка торцем і периферією круга) і кінематичними схемами.

В процесі обробки робочий шар інструмента зношується нерівномірно, його форма змінюється, що призводить до зміни умов його контакту з оброблюваною

поверхнею. Показано, що рівномірність зносу робочого шару інструмента забезпечується за рахунок його функціонально-орієнтованої конструкції відповідно до конкретних технологічних систем і кінематичних схем.

При виборі полірувального порошку, матеріалу зв'язуючого та їхнього вмісту в якості параметрів оптимізації були використані продуктивність полірування та інтенсивність зносу інструмента. Залежності продуктивності полірування граніту (рис. 6) й мармуру (рис. 7) від вмісту полірувального порошку для інструментів з Al_2O_3 і поліетилентерефталату (ПЕТФ) (рис. 6) та ультрадисперсних алмазів (УДА) і кремнійорганічних сполук (рис. 7).

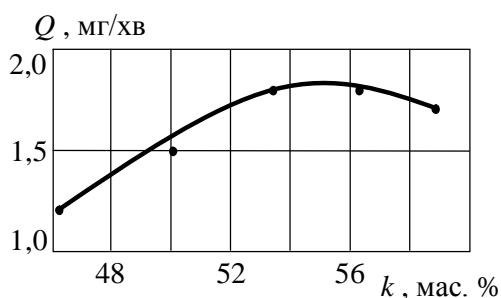


Рис. 6. Залежності продуктивності полірування граніту від процентного вмісту полірувального порошку

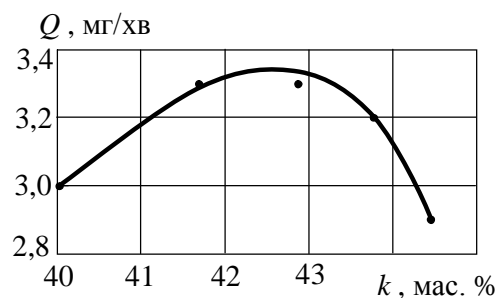


Рис. 7. Залежності продуктивності полірування мармуру від процентного вмісту полірувального порошку

Показники працездатності полірувальних інструментів з алмазних мікропорошків, порошків Al_2O_3 й УДА на основі полімерного зв'язуючого (ПЕТФ після вторинної переробки; ПЕТФ, армованого базальтовими волокнами; кремнійорганічних сполук) при обробці виробів з габро, граніту, керамічного граніту, мармуру і природного кварцу наведено в таблиці.

Таблиця 1. Працездатність полірувальних інструментів

Матеріал зв'язуючого	Полірувальний порошок	Оброблюваний матеріал	Продуктивність обробки Q , мкм/хв	Швидкість зносу інструмента V_i , мкм/хв
ПЕТФ	оксид алюмінію	граніт, габро	0,18-0,20	0,16
	«FR-Remillox»	кварц (рожевий)	0,15-0,22	0,15-0,18
Віксинт + каталізатор	УДА	мармур	0,33-0,42	0,20-0,23
	оксид алюмінію	базальт (плавлений)	0,20-0,30	0,16-0,24
	«FR-Remillox»	керамічний граніт	0,26	0,24

Висновки. На основі дослідження контактної взаємодії інструментів зі зв'язаними алмазними та іншими за складом полірувальними порошками з поверхнею

виробу та встановленого функціонального зв'язку між продуктивністю видалення оброблюваного матеріалу та технологічними і конструктивними параметрами процесу обробки розроблено нові алмазно-абразивні інструменти та технологію їх виготовлення.

При фінішній алмазно-абразивній обробці природного й синтетичного каменю розробленими інструментами встановлені наступні технологічні показники і параметри якості: продуктивність обробки Q , мкм/хв: 50-300 (при шліфуванні), 0,2-0,4 (при поліруванні); шорсткість полірованих поверхонь: Ra 0,012-0,030. В результаті проведеного порівняльного аналізу продуктивності полірування в процесах фінішної обробки виробів із природного й синтетичного каменю розробленими інструментами (1,2-2,1 мг/хв.) і за традиційними технологіями, прийнятими у каменеобробці (0,8-1,5 мг/хв.), показано, що продуктивність обробки підвищується принаймні в 1,5 рази.

Список літератури: **1.** Сідорко В.І. Наукові основи процесів фінішної алмазно-абразивної обробки природного та синтетичного каменю: Автореф. дис....д.т.н.: 05.03.01. – Київ, 2006. – 36 с. **2.** F.W. Preston. The theory and design of plate glass polishing machines. – J. Soc. Glass Technol. 11, P. 214–256 (1927). **3.** Komanduri R., Lucca D.A., Tani Y. Technological Advances in Fine Abrasive Processes/ Annals of the CIRP.– 1997. – N 46/2. – P. 545–596. **4.** Oliver W. Fahnle and Hedser van Brug. Novel approaches to generate aspherical optical surfaces // Part of the SPIE Conference on Optical Manufacturing and Testing, Denver, Colorado, July 1999, SPIE, vol. 3782.– P. 170–176. **5.** ITIRM as a tool for qualifying polishing processes / Oliver W. Fahnle, Torsten Wons, Evelyn Koch, Sebastien Debruyne, Mark Meeder, Silvia M. Booij and Joseph J.M. Braat // Applied Optics, vol. 41. No 19/1, July 2002.– P. 4036–4038. **6.** Characterization and Modeling of Oxide Chemical-Mechanical Polishing Using Planarization Length and Pattern Density Concepts / D. Okumu Ouma, Duane S. Boning, James E. Chung, William G. Easter, Vivek Saxena, Sudhanshu Misra and Annette Crevasse. – IEEE Transactions on semiconductor manufacturing, vol. 15, NO.2, MAY 2002. – P. 232–243. **7.** Филатов Ю.Д. Полирование алюмосиликатных материалов инструментом со связанным полировальным порошком / Сверхтвердые материалы. – 2001. – № 3. – С. 36–49. **8.** Filatov Y., Sidorko V., Skryabin V. Polishing Silica-Alumina Materials // МЕХАНИКА. – 2003. – № 4 (42). – P. 67–69. **9.** Rogov V.V., Filatov Y.D., Kottler W., Sobol V.P. New technology of precision polishing of glass optic. - Optical Engineering. – V. 40, august 2001. – P. 1641–1645. **10.** Филатов Ю.Д., Сидорко В.И. Статистический подход к износу поверхностей деталей из неметаллических материалов при полировании // Сверхтвердые материалы.– 2005. – № 1. – С. 58–66. **11.** Сидорко В.И., Филатов Ю.Д. Производительность обработки деталей из неметаллических материалов при полировании // Наукові праці Донецького національного технічного університету, Серія: Машинобудування і машинознавство, Вып. 92. – Донецк: Дон НТУ, 2005. – 295 с. – С. 99-108. **12.** Мельникова О.П. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей двигунів внутрішнього згорання за рахунок удосконалення фінішних абразивних способів обробки: Автореф. дис...д-ра техн. наук.– Донецьк, 2006. – 33 с. **13.** Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. – М.: Мир – 1985. – 383 с. **14.** Справочник по производству стекла. Т.1 // Под ред. Китайгородского И. И., Сильвестровича С.И.– М.: Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам.– 1963.– 1026 с.

Сдано в редакцію 20.05.07