

УДК 624.941.2+621.91+658.52

Ю. Кузнєцов

Професор, д-р техн. наук

В. Гумінов

Інженер

Національний технічний
університет України «КПІ»,
м. Київ

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СУПОРТА ДЛЯ ОБТОЧУВАННЯ КРИСТАЛІВ ПРИРОДНИХ АЛМАЗІВ

Розглянуто поетапний процес обточування кристала алмаза алмазом, що закріплений у супорті, який здійснює різноманітні траєкторії руху в залежності від стану обробки. При прийнятих допущеннях запропонована математична модель роботи супорта у вигляді системи диференціальних рівнянь з врахуванням мас, жорсткостей та демпфувальних властивостей системи.

обточування, кристал, алмаз, модель

Однією з операцій при виготовленні діамантів є обточування, яке, в переважній більшості, до 80-х років ХХ сторіччя виконувалось вручну без використання механічних пристроїв, зокрема, супортів, що давно існують у металообробці. Такий стан справ стримував виробництво діамантів, а при низькій продуктивності процесу обточування вимагав підвищення чисельності працівників вищої кваліфікації, від яких також залежали точність обробки і зменшення відходу алмазів. Тому проблема створення автоматичних верстатів з супортом і удосконалення процесу обточування природних алмазів є актуальною і потребує теоретичних та експериментальних досліджень.

Характер фізико-хімічних процесів, які проходять при обточуванні (обдиранні), досліджений слабо. Більшість учених, які займаються цими питаннями, притримуються механічної теорії обробки, згідно з якою при обточуванні поверхні алмазів викришуються більш дрібні, а деколи і більш крупні частки. Істотне значення при цьому має анізотропія твердості алмаза при різних кристалографічних напрямках.

Але неможливо повністю ототожнювати цей процес з процесом різання плоскої поверхні гострими кутами або кромками різця. Це відбувається тільки тоді, коли обдираючи частка має твердість значно більшу, ніж твердість оброблюваної поверхні. Коли оброблювана поверхня і

різець з одного матеріалу не мають значних розходжень за твердістю, це виглядає трохи інакше. Відомо, що алмаз більш стійкий до стискання, ніж до розтягу. Тому найбільш можливими місцями розриву поверхні алмаза є місця з найбільшою величиною розтягу.

Розглядаючи процес обточування можна виділити такі його стадії (рис. 1): I – сколювання кутів; II – обдирання; III – обточування до отримання рундиста, який визначається діаметром і шириною.

У початковій стадії обточування, коли кристали мають ще гострі виступи, процес обточування відрізняється від обробки алмаза алмазним порошком. Виступаючі частини в кристала, що обертається, і гостра кромка в різця в окремі моменти можуть деформуватись від дії нормальних складових сил різання, а також можуть сколювати

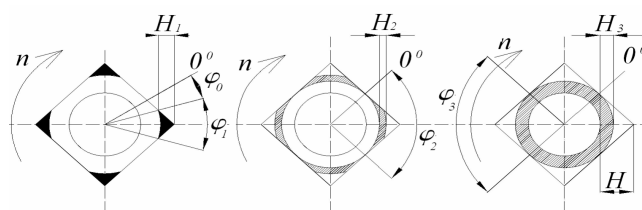


Рис. 1. Стадії обточування кристалів природнього алмаза: а – 1-а стадія, б – 2-а стадія, в – 3-я стадія

один одного за рахунок появи згинних моментів і тангенціальних сил різання. Поверхні алмазів, які виготовляються при обточуванні, характеризуються різко вираженим рельєфом, характер якого залежить від кристалографічної орієнтації оброблених поверхонь.

Дослідження по різному зорієнтованих мікроповерхонь рундиста алмазів показало, що незалежно від орієнтації обточуваного алмаза, з поверхонь, які наближені до площин куба, вириваються більш або менш ізометричні зерна. По мірі обточування кристалів їх контактуючі поверхні вирівнюються, а виступи стають все меншими.

При досягненні достатньої овальності контактуючу поверхню в першому наближенні можливо розглядати, як поверхню при звичайній обробці кристала алмазним порошком. Різниця буде лише в тому, що в контактуючій поверхні оброблюваного алмаза і різця невисокі виступи, які сумірні з виступаючою частиною зерен алмазного порошку, міцно зв'язані з поверхнею різця. Тому можна розглядати останню стадію обробки рундиста діаманта (обточування кристала) як процес звичайного шліфування алмаза і, відповідно, відходи, які створюються у процесі обточування кристала алмаза, можливо ідентифікувати з відходами при звичайному процесі шліфування алмаза на ограночному диску.

Такий підхід опису процесу обточування в три стадії покладений в основу аналітичного визначення витрат алмазної сировини при обточуванні рундиста в кристалах з різною кількістю граней [1].

Відповідно до запропонованих стадій обточування кристалів природного алмазу (див. рис. 1) можемо припустити, що подача алмаза-різця з наступною стадією буде зменшуватися (рис. 2).

З рис. 2 видно, що об'єму $V_1(\Delta G_1)$ відповідає подача S_I , об'єму $V_2(\Delta G_2)$ – подача S_{II} , об'єму $V_3(\Delta G_3)$ – подача S_{III} , тобто для безруйнівного обточування потрібно на кожній стадії переходити з однієї подачі на іншу, зменшуючи її. Це підтверджують спостереження, які були зроблені при фотографуванні роботи робочого за допомогою високошвидкісного кінознімання.

На перших двох стадіях обточування (обдирання) інтегральна сила різання поступово збільшується (рис. 3). Ця зміна складових сил різання на I і II стадіях обточування якоюсь мірою визначає ріст піків навантажень при обточуванні при кожному вході у взаємодію алмаза-різця з алмазом-виробом.

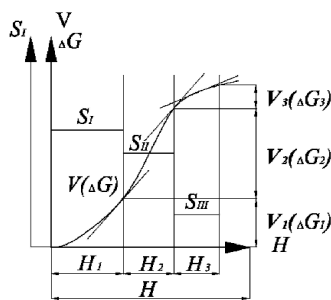


Рис. 2. Графік залежності об'єму V (ваги G) знятого кристалу і поступового зменшення подачі S на кожній стадії обточування (глибини H)

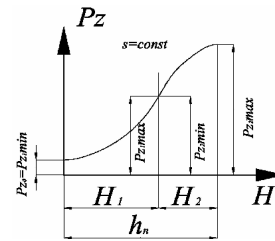


Рис. 3. Припустимий графік залежності складової сили різання P_z при обточуванні алмаза – виробу і зношування алмаза-різця

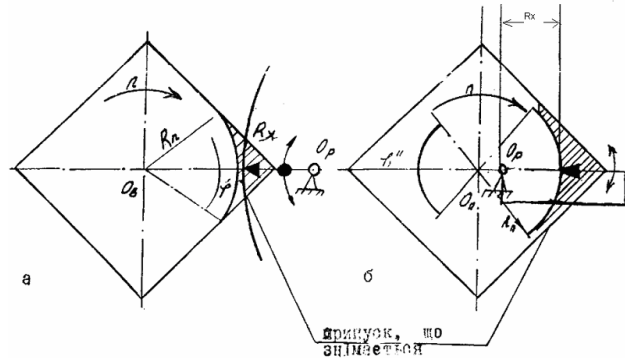


Рис. 4. Характер знятого припуску кристала-виробу при різних траєкторіях коливання кристала-різця: а – осі обертання на різних сторонах поверхні, б – осі обертання на одній стороні поверхні, що обробляється

Якщо врахувати, що в процесі обточування робочий виконує коливальні (осуплюючі) рухи то, залежно від розташування центра коливання супорта з кристалом-різцем, по різному змінюється припуск на кристалі-виробі (рис. 4).

З рис. 4 видно, що при розташуванні осі обертання шпинделя кристала виробу O_n і осі коливання кристала-різця O_p по обидві сторони поверхні, що обробляється, зняття припуску буде менше, а характер зміни сил різання різкий порівняно з розташуванням осей O_n і O_p з однієї сторони. Це відіграє істотну роль при виборі та проектуванні нових схем конструкцій супортів вестатів для обточування алмазів [2, 3]. Вибір місця коливання кристала-різця O_p повинен бути обґрунтований експериментально.

За один оберт кристала-виробу правильної форми на кожній стадії обточування буде різний характер зміни сили різання і кута взаємодії (див. рис. 1), якщо не враховувати анізотропію міцності алмаза (рис. 4).

Слід відмітити, що при зношуванні кристала-різця сили різання при одній і тій же подачі повинні зростати (рис. 5), що особливо важливо враховувати на I та II стадіях обточування.

Викладені припущення, як запропонована гіпотеза, деякою мірою, повинні враховуватися в подальших теоретичних дослідженнях, при моделюванні процесу обточування і при проектуванні варіантів супортів, від точності і повільності руху якого залежить якість, чистота, відсоток придатності і точність кристала алмаза, що оброблюється.

Для аналізу впливу різних факторів на процес обточування [4] кристалів алмазів була розроблена динамічна

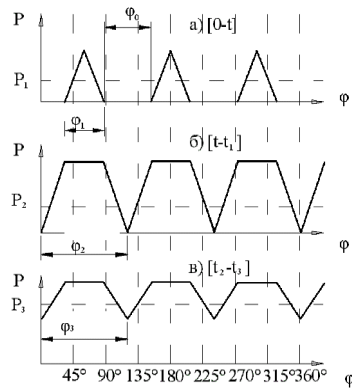


Рис. 5. Характер зміни сили різання за один оберт кристала-виробу на трьох стадіях обточування: а – I стадія, б – II стадія, в – III стадія; P_1, P_2, P_3 – інтегральні значення сил різання на кожній стадії відповідно в діапазонах часу обточування $[0-t_1], [t_1-t_2], [t_2-t_3]$

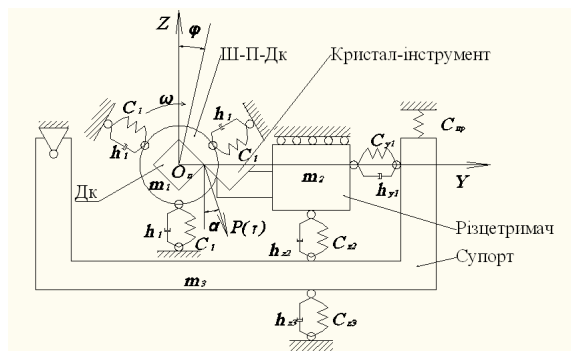


Рис. 6. Узагальнена схема динамічної моделі верстата для обточування алмаза алмазом-різцем

системи верстата, яка складається з підсистем «шпиндель-алмаз» і «алмазотримач-супорт».

На рис. 6 наведена узагальнена схема динамічної моделі верстата з механічним супортом, де прийняті такі позначення: m_1, m_2, m_3 – маси відповідно шпинделя з кристалом-виробом, різцетримача з кристалом-різцем, супорта; C_1 і h_1 – коефіцієнти жорсткості і демпфування системи шпиндель-патрон затискний – деталь або виріб-кристал (Ш-П-Дк); C_{y2}, h_{y2} і C_{z2}, h_{z2} – коефіцієнт жорсткості і демпфування різцетримача відповідно в напрямку координат Y і Z ; C_{sp} – жорсткість пружини; C_{z3} і h_{z3} – коефіцієнт жорсткості і демпфування системи супорт – верстат (основа); J_1 – момент інерції ротора двигуна приводу обертання шпинделя з зведеними до нього моментами інерції зв'язних деталей; J_2 – момент інерції шпинделя з зведеними до нього моментами інерції патрона з оправкою для кристала виробу; C_{12}, h_{12} – коефіцієнти жорсткості та демпфування системи шпинделя.

Математична модель процесу обточування кристала алмаза супортом містить систему диференціальних рівнянь для супорта з кристалом-інструментом:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{z}_2 + h_{z_2} \dot{z}_2 + C_{z_2} z_2 - h_{z_3} \dot{z}_3 - C_{z_3} z_3 + C_{sp} z_3 = P(\tau) \cos \alpha \\ m_3 \ddot{z}_3 + (h_{z_2} + h_{z_3}) \dot{z}_3 + (C_{z_2} + C_{z_3}) z_3 - h_{z_2} \dot{z}_2 - C_{z_2} z_2 = 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + h_{y_2} \dot{y}_2 + C_{y_2} y_2 - h_{y_3} \dot{y}_3 - C_{y_3} y_3 = P(\tau) \sin \alpha \\ m_3 \ddot{y}_3 + (h_{y_2} + h_{y_3}) \dot{y}_3 + (C_{y_2} + C_{y_3}) y_3 - h_{y_2} \dot{y}_2 - C_{y_2} y_2 = 0. \end{cases}$$

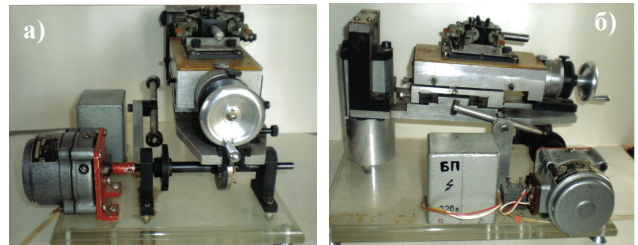


Рис. 7. Загальний вигляд станда діючого макета супорта для обточування алмазів з механізмом траєкторій: а – з переду, б – з боку

і систему диференціальних рівнянь шпиндель-виріб

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\phi}_1 + h_{12} (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + C_{12} (\phi_1 - \phi_2) = M_g \\ J_2 \ddot{\phi}_2 + h_{12} (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_1) + C_{12} (\phi_2 - \phi_1) = -P(\tau) \cos \alpha \times \rho_i. \end{cases}$$

Висновки. Враховуючи ударний процес обточування алмаза, особливо на I та II стадіях, навантаження на шпиндель, як і на алмаз-різець, розглядається як одиночний імпульс, спрямований під різним кутом залежно від траєкторії руху алмаза-різця: динамічна модель процесу обточування буде складатися з системи диференціальних рівнянь, які враховують маси, коефіцієнти жорсткості і деформування системи шпиндель-патрон-затискний-виріб (кристал алмаза).

Результати моделювання дозволять удосконалити параметри супорта і верстата в цілому, що є предметом наступних досліджень з врахуванням даних експериментів на виготовленому зразку супорта з механізмом траєкторій (рис. 7).

Література

1. Гумінов В.В. Визначення втрат сировини при обточуванні рундиста кристалів алмазів із формою шестикутної піраміди // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 1 (60). – Част. 1. – С. 91–94
2. Кузнецов Ю., Гумінов В. Пошук перспективних конструкцій супортів верстатів для обточування кристалів алмазів // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2002. – Т. 7, №2. – С. 41–49.
3. Кузнецов Ю.Н., Іванюк І.А., Шишкин В.Н. Автоматизовані супорти для обточки гранних хрупких матеріалів // Технологія і автоматизація машиностроєння. – 1979. – №24. – С. 34–39
4. Орликов М.Л. Динаміка станків. – 2-е изд., перераб. і доп. – К.: Выща шк., 1989.—272 с.

Отримана 23.05.10

Y. Kuznetsov, V. Huminov

Modeling of work of the support for cutting process of the crystals of natural diamonds

National Technical University of Ukraine «KPI», Kyiv

The stage-by-stage cutting process of diamond is considered by another crystal of the diamond, fastened in support, accomplishing the different trajectories of motion depending on the state of treatment. At the accepted assumptions the mathematical model of work of support is offered as a system of differential equalizations taking into account the masses, inflexibilities and antivibration properties of the system.