

# Planowanie ścieżek pierścienia prowadzącego w docieraniu jednotarczowym

## Trajectory planning for conditioning ring in single-sided lapping process

ADAM BARYLSKI  
NORBERT PIOTROWSKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.72  
Międzynarodowa Konferencja IMT 2016

Praktyka pokazuje, że przy danych warunkach kinematycznych docierania tarcza docierająca przyjmuje kształt wklęsły, wypukły lub z osiowym biciem powierzchni roboczej. Aby osiągnąć wymaganą płaskość, docierak musi być kondycjonowany. W artykule zaprezentowano niekonwencjonalny układ docierania jednotarczowego, w którym pierścień prowadzący wykonuje ruch uzupełniający. Przeanalizowano szereg ścieżek pierścienia prowadzącego z uwzględnieniem kinematyki obrabiarki i zużycia narzędzia.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka ścierna, docierarki, kinematyka docierania, planowanie ścieżek

*The practice shows that in given conditions the lapping plate changes their shape to convex, concave or axial runout. In order to achieve the required flatness, the plate has to be conditioned. This paper shows an unconventional single-sided lapping system in which conditioning ring performs an additional movements. A set of the conditioning ring trajectories with respect to the machine and the tool wear are analysed.*

**KEYWORDS:** abrasive machining, lapping machines, lapping kinematics, trajectory planning

### Wprowadzenie

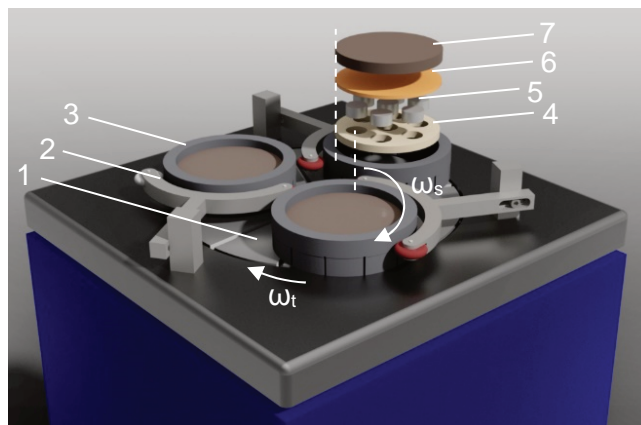
Obecnie docieranie powierzchni płaskich odbywa się najczęściej na docierarkach jednotarczowych ze standardowym układem kinematycznym, wyposażonym w pierścienie prowadzące. Znaczący wpływ na dokładność wymiarową i kształtową oraz na jakość powierzchni przedmiotów obrabianych ma docierak. Jego nadmierne zużycie przez przedmioty obrabiane powoduje błędy zniekształceń: wklęsłość, wypukłość lub występowanie osiowego bicia powierzchni roboczej. Aby osiągnąć właściwe wykończenie powierzchni oraz płaskość przedmiotów obrabianych, powinny być utrzymywane odpowiednie warunki, a narzędzie musi być kondycjonowane [1].

Celem opisanego w artykule niekonwencjonalnego układu docierania jednotarczowego, w którym pierścień prowadzący wykonuje ruch uzupełniający, jest równomierne zużycie docieraka wzdłuż promienia. Przeanalizowano różne ścieżki pierścienia prowadzącego. Dzięki utworzonemu w programie Matlab modelowi kinematycznemu układu możliwe jest zasymulowanie przewidywanego zużycia narzędzia.

### Układ docierania jednotarczowego

Istnieje wielu producentów obrabiarek, którzy oferują technologie obróbki powierzchni płaskich przez docieranie lub szlifowanie z kinematyką docierania. Większość proponowanych docierarek jednotarczowych posiada podstawowy

układ wykonawczy (rys. 1). Na powierzchni roboczej docieraka (1) poruszają się pierścienie prowadzące (3). Tarcza docierająca obracająca się z prędkością  $\omega_t$  napędza pierścienie, w których umieszczone są separatory (4), uniemożliwiające dodatkowe ruchy przedmiotów obrabianych (3). Pierścienie prowadzące obracają się pod wpływem sił tarcia z prędkością  $\omega_s$  zależną od prędkości docieraka, warunków tarcia i od położenia promieniowego, regulowanego dźwignią prowadzącą (2). Dociażenie elementów odbywa się poprzez przekładkę filcową (6) za pomocą krążków dociskowych (7) [2].



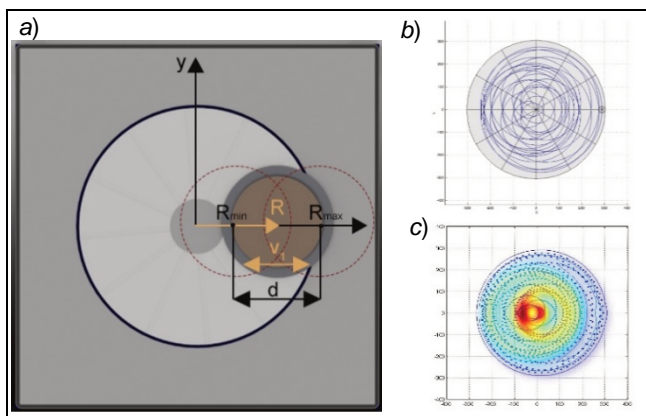
Rys. 1. Docierarka jednotarczowa: 1 – docierak, 2 – dźwignia prowadząca, 3 – pierścień prowadzący, 4 – separator, 5 – przedmiot obrabiany, 6 – przekładka, 7 – krążek dociskowy,  $\omega_t$  – prędkość kątowa docieraka,  $\omega_s$  – prędkość kątowa pierścienia prowadzącego

### Niekonwencjonalny układ docierania

Przeprowadzone symulacje komputerowe wykazały, że zmiana kinematyki docierania jednotarczowego przez wprowadzenie ruchu uzupełniającego pierścienia prowadzącego powoduje zmianę zużycia tarczy docierającej. Badano zagęszczenie ścieżek wykonanych przez punkty znajdujące się na powierzchni przedmiotów obrabianych i pierścienia. Gęstość tych ścieżek traktowana jest jako miara materiału usuniętego z docieraka przez ziarna ściernie. Przeanalizowano m.in. układy, w których pierścień prowadzący wykonuje ruch wahadłowy wzdłuż promienia (rys. 2) lub siecznej tarczy docierającej [3, 4, 5].

Najkorzystniejsze wyniki uzyskano w przypadku układu z ruchem promieniowym. Zagęszczenie ścieżek wzdłuż promienia w tym systemie jest najbardziej równomierne w porównaniu z innymi układami. Ponadto stosunek prędkości maksymalnej do minimalnej jest niewielki. Zakładając jednostajny docisk oraz stałe warunki ścierania, oznacza to, że intensywność zużycia jest niemalże identyczna w każdym punkcie ścieżki. Niemniej jednak można stwierdzić, że wybór ścieżki pierścienia oraz optymalnych parametrów kinematycznych wymaga szczegółowej analizy [3].

\* Prof. dr hab. inż. Adam Barylski (abarylsk@pg.gda.pl), mgr inż. Norbert Piotrowski (np.piotrowski@gmail.com) – Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska



Rys. 2. Docierarka jednotarczowa z ruchem promieniowym pierścienia: a) schemat kinematyczny, b) ścieżki wykresione przez dowolny punkt przy losowych parametrach, c) przewidywane zużycie tarczy

### Ilość materiału usuniętego z tarczy docierającej

Wielkość zużycia tarczy w docieraniu może być opisana za pomocą tribologicznego modelu Prestona, który bada zużycie materiału podczas szlifowania szkła [6]:

$$\frac{dH}{dt} = k \cdot p \cdot v \quad (1)$$

gdzie:  $H$  – zużycie,  $k$  – współczynnik Prestona,  $p$  – nacisk jednostkowy,  $v$  – prędkość analizowanego punktu.

W docieraniu jednotarczowym współczynnik  $k$  oraz nacisk  $p$  są stałe w czasie. Zmienia się jedynie prędkość dowolnego punktu, którą dla układu standardowego można obliczyć ze wzoru:

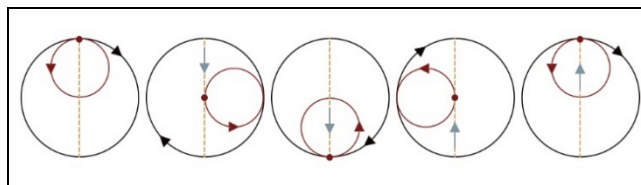
$$v = \omega_t \cdot \sqrt{R^2 + a^2 \cdot r^2 + 2 \cdot r \cdot R \cdot a \cdot \cos(-\omega_t \cdot t)} \quad (2)$$

gdzie:  $\omega_t$  – prędkość kątowa docieraka,  $R$  – odległość pierścienia od środka tarczy,  $r$  – odległość punktu od środka pierścienia,  $t$  – dowolna chwila docierania,  $a = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_1$  – współczynnik prędkości tarczy i pierścienia.

### Planowanie ścieżek pierścienia prowadzącego

W procesie docierania powierzchnia narzędzia odwzorowywana jest na powierzchni przedmiotu obrabianego. Zauważono, że występujące błędy płaskości związane są z typem trajektorii, jakie wykreśla dowolny punkt. Gdy kierunki obrotu pierścienia i tarczy są przeciwne, wykreślone trajektorie są epicykloidami, a tarcza przyjmuje kształt wypukły. Natomiast gdy stosunek prędkości pierścienia do docieraka jest większy niż 1, to trajektorie są hipocykloidami powodującymi wklęsłość tarczy [7]. Celem systemu docierania jednotarczowego, który pozwoli kontrolować położenie pierścienia prowadzącego, jest zminimalizowanie błędów zniekształceń występujących na powierzchni roboczej docieraka.

■ **Tusi couple.** Tusi couple jest to metoda geometryczna polegająca na zmianie sumy dwóch ruchów kołowych na ruch prostoliniowy. Metoda ta została również potwierdzona przez Kopernika, który sformułował twierdzenie, że jeżeli wewnątrz dużego okręgu toczy się koło o dwa razy mniejszym promieniu, to dowolny punkt leżący na mniejszym okręgu porusza się prostoliniowo po średnicy większego [8]. Ścieżkę prostoliniową w docieraniu jednotarczowym udaje się uzyskać, gdy prędkość obrotowa tarczy jest dwa razy mniejsza od prędkości obrotowej pierścienia, a odległość pierścienia prowadzącego od środka docieraka  $R$  jest równa odległości punktu od środka pierścienia  $r$ . Dla innych punktów na powierzchni pierścienia ścieżki nie są prostoliniowe.

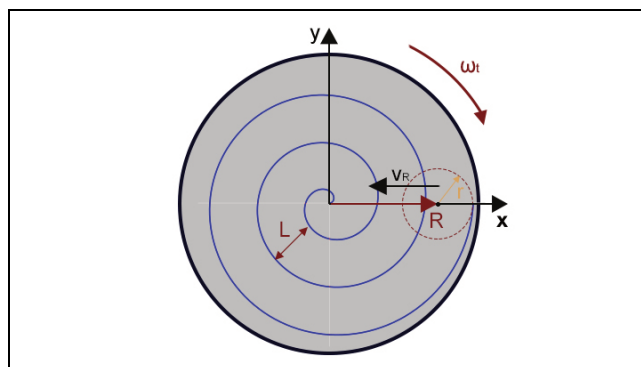


Rys. 3. Metoda Tusi couple

■ **Spirala Archimedesesa.** Spirala Archimedesesa jest to spirala arytmetyczna, która jest jedną z najczęściej używanych ścieżek obróbki. Dzięki temu, że pozwala uzyskać łagodny i równomierny ruch, wykorzystywana jest m.in. w polerowaniu. Rys. 4 pokazuje model ścieżki spiralnej Archimedesesa w docieraniu jednotarczowym, gdzie  $L$  to stała odległość pomiędzy ramionami spirali,  $v_p(t)$  to prędkość liniowa pierścienia prowadzącego. Spirale Archimedesesa we współrzędnych biegunowych opisują równania:

$$R = \frac{L \cdot \theta_t}{2\pi} \quad (3)$$

$$v_R = \sqrt{\dot{R}^2 + R^2 \cdot \omega_t^2} \quad (4)$$



Rys. 4. Spirala Archimedesesa

### Podsumowanie

W artykule zaprezentowano niestandardowy układ docierania jednotarczowego, w którym pierścień prowadzący wykonuje ruch uzupełniający. W programie Matlab utworzono model kinematyczny układu, który umożliwia zasymulowanie przewidywanego zużycia narzędzia. Zauważono, że zmiana kinematyki układu może zminimalizować występujące błędy płaskości.

### LITERATURA

- Uhlmann E., Ardelt T., Spur G. „Influence of kinematics on the face grinding process on lapping machines”. *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* Vol. 48, No. 1 (1999): pp. 281÷284.
- Barylski A. „Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
- Barylski A., Piotrowski N. „Koncepty niekonwencjonalnych układów kinematycznych docierania jednotarczowego z wykorzystaniem robota”. *Mechanik*. R. 87, nr 8–9 (2014): s. 36÷33.
- Kling J., Mathias E. „Workpiece material removal and Lapping Wheel Wear in Plane and Plane-Parallel Lapping”. *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* Vol. 35, No. 1 (1986): pp. 219÷222.
- Barylski A., Piotrowski N. „Multi-criteria Robot Selection Problem for an Automated Single-Sided Lapping System”. *Mechatronics: Ideas, Challenges, Solutions and Applications in: Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 414 (2016): pp. 1÷13.
- Télliez-Arriaga L., Cordero-Dávila A., Robledo-Sánchez I.C., Cuautle-Cortés J. „Correction of the Preston equation for low speeds”. *Applied Optics*. Vol. 46, No. 9 (2007): pp. 1408÷1410.
- Marinescu I.D., Uhlmann E., Doi T. „Handbook of Lapping and Polishing”. Taylor & Francis Publishing House, 2007.
- Veselovsky I. N. „Copernicus and Nasir al-Din al-Tusi”. *Journal for the History of Astronomy*. Vol. 4, No. 2 (1973): pp. 128÷130. ■