

Adam BARYLSKI¹

ANALIZA KINEMATYKI DOCIERAREK TARCZOWYCH

Przedstawiono analizę kinematyki docierania powierzchni płaskich. Omówiono opracowane modele standardowych układów kinematycznych. Wykazano, że stan płaskości powierzchni czynnej docieraka ma zasadniczy wpływ na płaskość powierzchni obrabianych. Decyduje o tym stosunkowo złożona kinematyka docierania.

1. WSTĘP

Współcześnie do docierania powierzchni płaskich wykorzystywane są głównie dwa układy kinematyczne: pierścieniowy – w docierarkach jednotarczowych i obiegowy – w docieraniu dwutarczowym. Prędkość względna w układzie docierak (tarcza docierająca) – przedmiot obrabiany jest jednym z podstawowych kryteriów obróbki [1]. Kinematyka docierania decyduje o zużyciu kształtowym narzędzia, zaś wartość prędkości ma istotny wpływ na intensywność docierania. W standardowym układzie kinematycznym docierania elementów płaskich kształty trajektorii przedmiotów na docieraku mają zarys epicykloidalny, pericykloidalny, bądź hipocykloidalny, o różnym stopniu wydłużenia lub skrócenia. Z wcześniej przeprowadzonych badań wynika, że o wydajności docierania, oprócz średniej prędkości v , decyduje także stosunek prędkości ekstremalnych $\lambda=v_{\max}/v_{\min}$ oraz wartość przyspieszenia stycznego a_t [2]. Mając to na uwadze podjęto się analizy układów wykonawczych obrabiarek o standardowym układzie kinematycznym.

2. STANDARDOWE UKŁADY KINEMATYCZNE DOCIERAREK

2.1. DOCIERARKI JEDNOTARCZOWE

Standardowy układ wykonawczy docierania na docierarce jednotarczowej przedstawiono na rys. 1 i 2. W tym układzie kinematycznym (rys. 2) na powierzchni

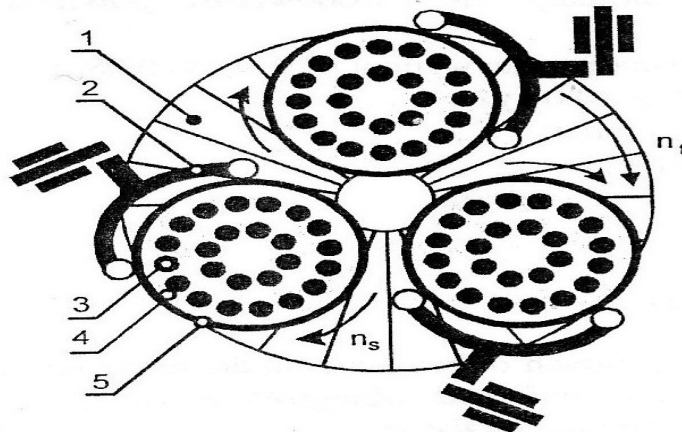
¹ Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji,
E-mail: abarylsk@pg.gda.pl

robotycznej docierarki (1) poruszają się żeliwne pierścienie prowadzące (5) z prędkością obrotową n_s . Tarcza docierająca, obracająca się z prędkością n_t , napędza pierścienie, w których umieszczone są swobodnie separatory (4), umożliwiające zwykle pomijany, dodatkowy ruch przedmiotów obrabianych (3). Na przedmioty wywierane jest obciążenie poprzez podkładkę filcową, dla zapewnienia bardziej równomiernego rozłożenia nacisku [4-20].

Dociążenie elementów obrabianych odbywa się za pomocą układu pneumatycznego lub grawitacyjnie. Tylko nieliczne firmy, przykładowo GMT [17], proponują wymuszony napęd pierścieni prowadzących.

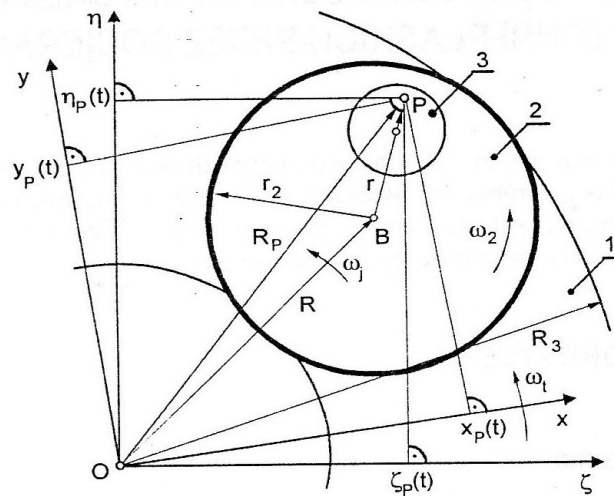


Rys. 1. Docierarki jednotarczowe [16]
Fig. 1. Single-disk lapping machines [16]



Rys. 2. System kinematyczny docierarki jednotarczowej
Fig. 2. Kinematic system of single-disk lapping machine

W celu analizy kinematyki należy wyznaczyć położenie dowolnego punktu P, należącego do przedmiotu obrabianego, określonego za pomocą wektora promienia wodzącego $\overline{R}_p(t)$ w dwóch układach współrzędnych: absolutnym $\zeta-\eta$ i względnym $x-y$, związanym z obracającym się docierakiem (rys. 3).



Rys. 3. Układ kinematyczny docierarki jednotarczowej: 1-docierak, 2-separator, 3-przedmiot obrabiany
 Fig. 3. Kinematic system of single-disk lapping machine: 1- lapping disk, 2 – separator, 3- workpiece

Współrzędne x_p i y_p są ciągłymi funkcjami czasu i można je opisać równaniami:

$$x_p(t) = R \cdot \cos(\omega_j \cdot t - \omega_t \cdot t) + r \cdot \cos(\omega_2 \cdot t - \omega_t \cdot t) \quad (1)$$

$$y_p(t) = R \cdot \sin(\omega_j \cdot t - \omega_t \cdot t) + r \cdot \sin(\omega_2 \cdot t - \omega_t \cdot t) \quad (2)$$

Prędkość względna w układzie przedmiot-docierak wynika z różnicy prędkości kątowej pierścienia prowadzącego i prędkości kątowej tarczy docierającej. Wprowadzenie dodatkowego parametru k ,

$$k = \frac{\omega_2 - \omega_t}{\omega_j - \omega_t} \quad (3)$$

którego wartość decyduje o rodzaju trajektorii ruchu spowoduje, że równania ruchu punktu P przedmiotu docieranego (w większości konstrukcji docierarek jednotarczowych prędkość $\omega_j=0$) przyjmą postać:

$$x_p(t) = R \cdot \cos(\omega_w \cdot t) + r \cdot \cos(k \cdot \omega_w \cdot t) \quad (4)$$

$$y_p(t) = R \cdot \sin(\omega_w \cdot t) + r \cdot \sin(k \cdot \omega_w \cdot t) \quad (5)$$

Wartość chwilowej prędkości punktu P wyniesie zatem:

$$V_p(t) = \omega_w \sqrt{R^2 + r^2 \cdot k^2 + 2 \cdot r \cdot R \cdot k \cdot \cos(\omega_j \cdot t - \omega_2 \cdot t)} \quad (6)$$

zaś chwilowego przyspieszenia punktu P:

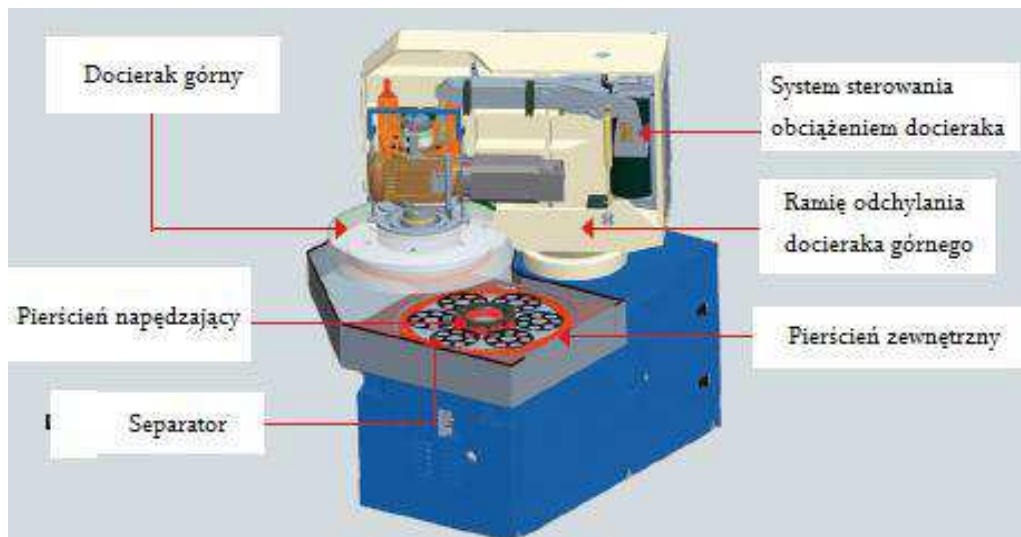
$$a_p(t) = \omega_w^2 \sqrt{R^2 + r^2 \cdot k^4 + 2 \cdot R \cdot r \cdot k^2 \cdot \cos(\omega_j \cdot t - \omega_2 \cdot t)} \quad (7)$$

Czas jednego cyklu ruchu określa zależność:

$$T_z = \frac{2\pi}{|\omega_j - \omega_2|} \quad (8)$$

2.2. DOCIERARKI DWUTARCZOWE

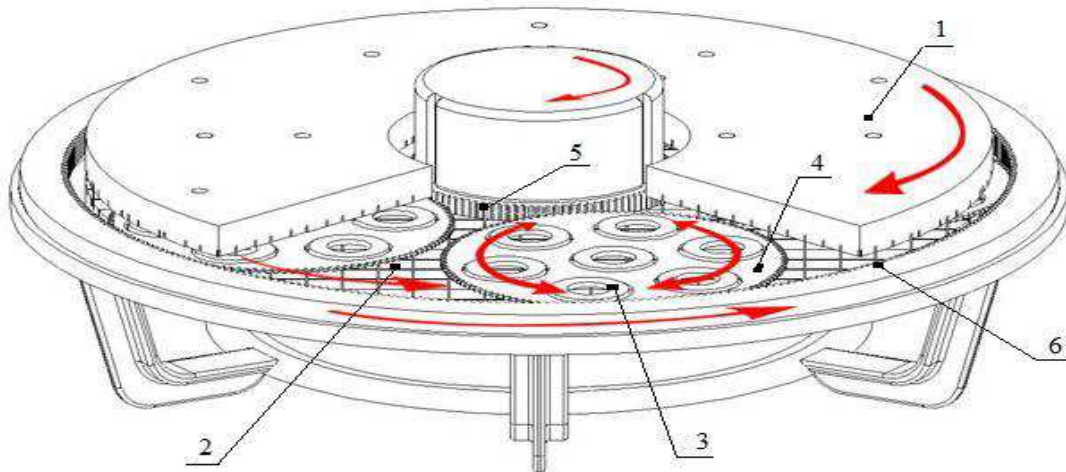
Docieranie dwutarczowe umożliwia jednoczesną obróbkę przeciwległych powierzchni płaskich (rys. 4). Ma ono zastosowanie w praktyce, kiedy wymagana jest zarazem duża płaskość, jak i równoległość powierzchni. Średnice docieraków produkowanych współcześnie obrabiarek wynoszą od 300 do 1800mm. Wyposażenie docierarek dwutarczowych (rys. 5) różni się od jednotarczowych tym, że posiadają one oddzielne napędy dolnego (6) i górnego (1) docieraka, z bezstopniową regulacją prędkości obrotowych, oraz zespoły do automatycznej zmiany kierunku obrotów obiegowych separatorów przedmiotowych (w liczbie od 4 do 6), co w znacznym stopniu zapewnia samoczynne utrzymywanie płaskości powierzchni roboczych tarcz docierających. Separator (4), o grubości mniejszej od wysokości docieranego przedmiotu (3), są napędzane wewnętrznym (niekiedy i zewnętrznym) wieńcem zębatym lub kołkowym (5) i poruszają się wraz z przedmiotami ruchem planetarnym.



Rys. 4. Docierarka dwutarczowa (Peter Wolters) [20]
Fig. 4. Two-disk lapping machine (Peter Wolters) [20]

W przypadku docierarki dwutarczowej prędkość średnią v_p dowolnego punktu P przedmiotu leżącego na powierzchni obrabianej wyznaczyć można ze wzoru [3]:

$$v_p = 0,052\omega_w [R^2 + k^2r^2 - 2Rrk\cos\omega_2t]^{1/2} \quad (9)$$



Rys. 5. Układ kinematyczny docieraki dwutarczowej [16]
 Fig. 5. Kinematic system of two-disk lapping machine [16]

gdzie:

ω_w - kątowna prędkość względna w układzie planetarnym,

R - odległość środka separatora przedmiotowego od środka tarczy docierającej,

r - odległość geometrycznego środka przedmiotu obrabianego od środka separatora,

ω_2 - prędkość kątowna separatora przedmiotowego,

t - czas,

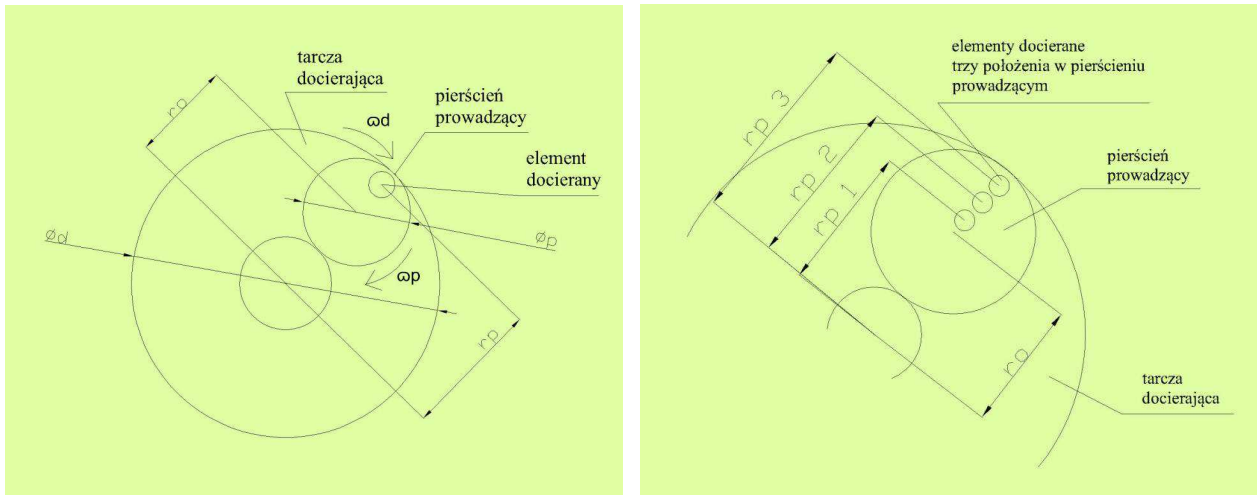
zaś, $k = (\omega_w + \omega_2) \omega_w^{-1}$

3. WYNIKI OBLICZEŃ

3.1. DOCIERANIE JEDNOTARCZOWE

Obliczenia prędkości w docieraniu jednotarczowym przeprowadzono dla trzech położzeń elementu obrabianego w separatorze r_{p1} , r_{p2} i r_{p3} (rys. 6). Pozostałe parametry geometryczne i kinematyczne to: $r_o = 121\text{mm}$, $\omega_p/\omega_d = 0,365$. Analizowano obróbkę krążków o średnicy 20 i wysokości 15mm.

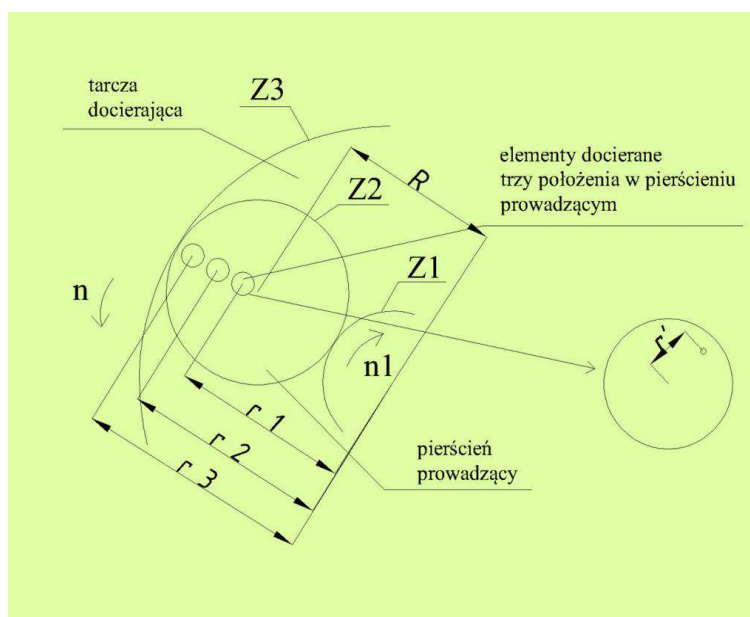
W przypadku obróbki na docierarce Kemet 15 (średnica zewnętrzna tarczy docierającej 381mm, prędkość obrotowa docieraka 70min^{-1} , liczba separatorów 3) prędkość docierania zmieniała się w zakresie od 1,81 do 2,02m/s (przy $r_p = 132 - 167\text{mm}$). Dla docierarki firmy FLM 1000 firmy Stähli (średnica zewnętrzna tarczy docierającej 1000mm, prędkość obrotowa docieraka 60min^{-1} , liczba separatorów 3) prędkość docierania – wynosiła odpowiednio od 2,63 – 2,95m/s (przy $r_p = 328 - 434\text{mm}$), zaś dla obrabiarki GMT 05-06 (średnica zewnętrzna tarczy docierającej 1800mm, prędkość obrotowa docieraka $10-32\text{min}^{-1}$, liczba separatorów 4) prędkość docierania – zmieniała się od 0,76 – 1,96m/s (przy $r_p = 605 - 787\text{mm}$).



Rys. 6. Schemat do analizy
Fig. 6. Diagram of the analysed

3.2. DOCIERANIE DWUTARCZOWE

Obliczenia prędkości w docieraniu dwutarczowym przeprowadzono dla układu pokazanego na rys. 7 (z_1, z_2, z_3 – odpowiednio, liczby zębów elementów układu wykonawczego docierarki, n – prędkość obrotowa tarczy docierającej, n_1 – prędkość obrotowa wewnętrznego pierścienia napędzającego), przy obróbce elementów o identycznych wymiarach jak powyżej.



Rys. 7. Schemat do analizy – docierarka dwutarczowa
Fig. 7. Diagram of the analysed - two-disk lapping machine

W przypadku obróbki na docierarce dwutarczowej AC 470 firmy Peter Wolters (średnica zewnętrzna/wewnętrzna tarczy docierającej 475/445mm, prędkość obrotowa docieraków $50 - 275\text{min}^{-1}$) prędkość docierania zmieniała się w zakresie od 0,11 do 1,03 m/s (przy $r = 13,7 - 67,2\text{mm}$ i dla $r' = 9,5\text{mm}$). Dla docierarki AC 1000F (średnica zewnętrzna tarczy docierającej 1050mm, prędkość obrotowa docieraka 150 i 250min^{-1} , liczba separatorów 5 lub 6) prędkość docierania – wynosiła odpowiednio od 0,33 – 2,72m/s (przy $r = 27 - 131\text{mm}$ i dla $r' = 20\text{mm}$), zaś dla obrabiarki AC 2000F (średnica zewnętrzna tarczy docierającej 1809mm, prędkość obrotowa docieraka 40min^{-1} , liczba separatorów 5) prędkość docierania – zmieniała się od 0,30 – 2,03m/s (przy $r = 53,5 - 249\text{mm}$ i dla $r' = 38,8\text{mm}$).

4. UWAGI OGÓLNE

W docieraniu powierzchni płaskich i płasko-równoległych wraz ze wzrostem prędkości obrotowej tarczy docierającej wzrasta prędkość docierania, co jak wiadomo, intensyfikuje proces obróbkowy i jednocześnie wpływa na pogorszenie chropowatości powierzchni. Projektując operacje docierania należy zachować więc warunki sprzyjające uzyskaniu wysokiej wydajności przy możliwie małej chropowatości powierzchni, w jak najkrótszym czasie. Konieczne są więc tu działania optymalizacyjne. Z przeprowadzonych rozważań wynika, iż analizowane docierarki jedno- i dwutarczowe mogą być wykorzystane zarówno do docierania wstępnego, jak i dokładnego, czy bardzo dokładnego.

Wpływ rozmieszczenia przedmiotów w separatorze nie ma dużego wpływu na zmiany prędkości docierania i aby uzyskać najmniejsze zmiany prędkości skrawania należałoby rozmieszczać przedmioty jak najbliżej średnicy podziałowej tarczy docierającej, co nie jest jednak korzystne z uwagi na właściwe w docieraniu kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni obrabianej. Wpływ na prędkość docierania jednotarczowego ma prędkość separatora (pierścienia prowadzącego), która zależna jest od prędkości docieraka i warunków tarcia w układzie pierścieni prowadzący – zawiesina ścierna – powierzchnia robocza narzędzia. Zmiana tych złożonych warunków wymaga wprowadzenia niezależnego napędu pierścieni prowadzących, współbieżnie lub przeciwbieżnie w stosunku do obrotów tarczy docierającej.

LITERATURA

- [1] ARDELT Th., 2001, *Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik*, Dissertation, TU Berlin, Reihe Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum, Berlin.
- [2] BARYLSKI A., 2010, *Analiza kinematyki docierarek tarczowych*, W.: Podstawy i technika obróbki ścierniej, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź.
- [3] FELD M., BARYLSKI A., 1979, *Docieranie wytyczne doboru warunków obróbki*, Wyd. WEMA, Warszawa.
- [4] <http://www.engis.com>
- [5] <http://www.joke.de>
- [6] <http://www.lappingmachines.com>
- [7] <http://www.lapmaster.com>
- [8] <http://www.lapping-polish.com>
- [9] <http://www.logitech.uk.com>
- [10] <http://www.maw-gmbh.de>

- [11] <http://www.peter-wolters.com>
- [12] <http://www.speedfam.com>
- [13] <http://www.stahli.com>
- [14] <http://strasbaugh.com>
- [15] <http://www.yj-cn.com>
- [16] [http:// www.specialize.lapping.com.au](http://www.specialize.lapping.com.au)
- [17] Materiały firmy Guindy Machine Tools Limited, 2013, *Lapping Machines*.
- [18] Materiały firmy Kemet International Limited, 2012, *Flat lapping system & accessories*.
- [19] Materiały firmy Stahli Lapping Technology Ltd, 2012, *Feelin for finishing*.
- [20] Materiały firmy Peter Wolters, 2012, *High precision surface finishing*.

ANALYSIS OF LAPPING MACHINE KINEMATICS

Analysis of the lapping machine kinematic system for planes is presented. We have developed a models of standard kinematic systems. The flatness of working surface of a lapping tool has the essential influence on work surface. Relatively complex lapping kinematics is also an important factor.