

Analiza możliwości docierania dwutarczowego wałków w aspekcie kinematyki

Analysis of the possibility of double-disk lapping of rollers in the aspect of the kinematics

ADAM BARYLSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.111>

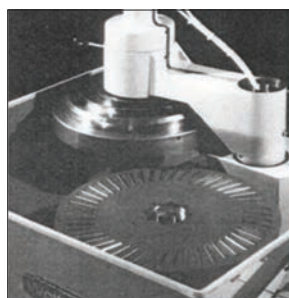
Przedstawiono kinematykę docierania maszynowego wałków. Analizowano mimośrodowy i planetarny układ wykonawczy docierarek dwutarczowych.

SŁOWA KLUCZOWE: docieranie wałków, kinematyka, analiza

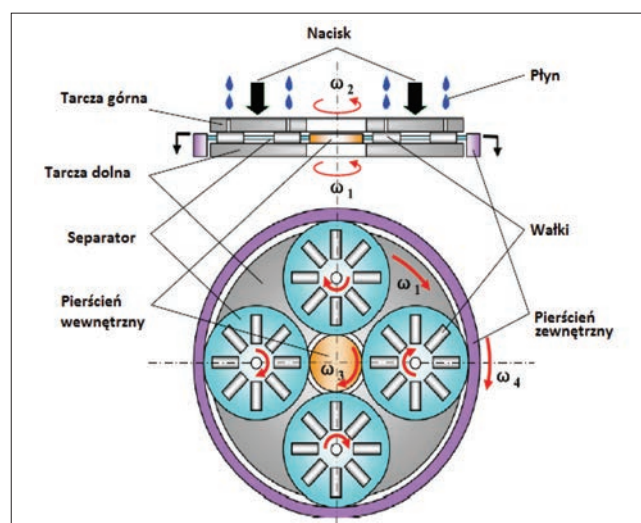
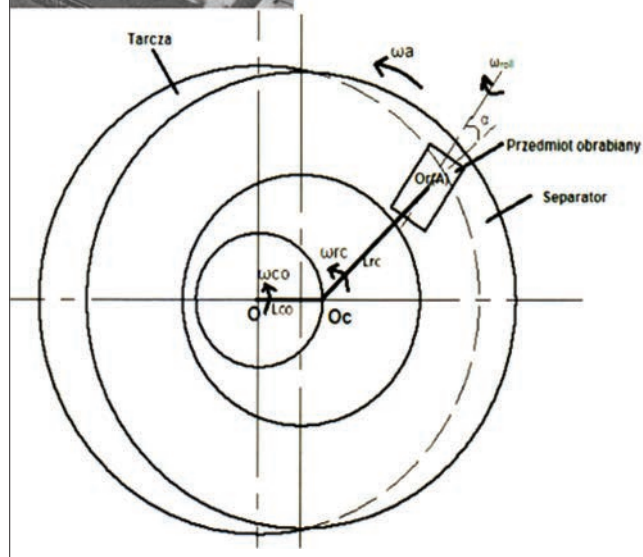
Kinematics of shafts machining was described. An eccentric and planetary implementation arrangement of double-disk lapping machines was analyzed.

KEYWORDS: cylindrical lapping process, kinematics, analysis

Technologiczne docieranie zewnętrznych powierzchni walcowych można wykonać ręcznie, maszynowo-ręcznie lub maszynowo [1, 2, 7]. Standardowo w przypadku obróbki maszynowej mamy do czynienia z docierarkami dwutarczowymi i mimośrodowym napędem elementów docieranych [3, 4, 10], rozmieszczonych w jednym separatorze (rys. 1).



Rys. 1. Docierarka dwutarczowa AL00-1-Z firmy Peter Wolters (średnica docieraka 445 mm, prędkość obrotowa tarczy dolnej/górnej 100/60 min⁻¹) [8] i schemat jej układu wykonawczego



Rys. 2. Schemat planetarnego układu wykonawczego w docieraniu wałków (prędkość kąтова: ω_1 – tarczy dolnej; ω_2 – tarczy górnej; ω_3 – napędowego pierścienia wewnętrznego, kołkowego lub zębatego; ω_4 – pierścienia zewnętrznego, zwykle $\omega_4 = 0$)

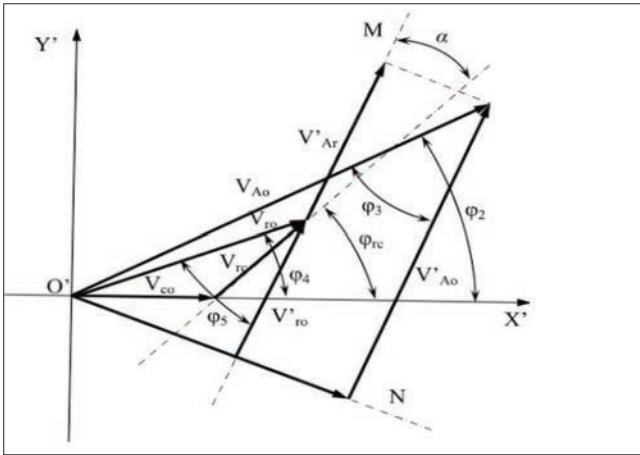
Znane jest także docieranie wałków między obracającymi się wałkami [6], np. na docierarkach CLM 150-500 firmy Stähli. W takim przypadku możliwa jest obróbka pojedynczych niestopniowanych wałków lub kilku krótszych o tej samej średnicy [9]. Z uwagi na powszechność stosowania docierarek tarczowych do obróbki elementów płasko-równoległych z układem planetarnym nasuwa się pytanie o możliwość ich wykorzystania w docieraniu wałków niestopniowanych (rys. 2) [5, 10, 11].

Celem niniejszej analizy było porównanie zmienności podstawowych parametrów kinematycznych tych układów.

Analiza układu mimośrodowego

W tym układzie kinematycznym docierania wałków o promieniu r (rys. 1), gdy rozpatruje się punkt $O_r(A)$ położony w połowie długości przedmiotu, można wyróżnić prędkość kątową tarczy docierającej ω_a i separatora ω_{rc} względem jego środka O_c oraz prędkość kątową separatora ω_{co} względem środka układu O , a ponadto: kąt pochylenia osi przedmiotu w gnieździe separatora α , prędkość kątową docieranego wałka ω_{rol} , odległość L_{co} środka separatora O_c od środka tarczy O i odległość L_{rc} punktu $O_r(A)$ od środka separatora O_c . Punkt O_r leżący na osi wałka N jest oddalony od środka tarczy docierającej o wartość L_{ro} . Chwilowe położenie odpowiednich wektorów prędkości w ruchu względnym docierania pokazano na rys. 3.

* Prof. dr hab. inż. Adam Barylski (abarylsk@pg.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej



Rys. 3. Wektory prędkości w układzie mimośrodkowym: M – kierunek ruchu tocznego wałka (prostopadły do jego osi centralnej N), V_{Ao} – wektor prędkości punktu położonego na dolnej tarczy docierającej względem środka O' , V_{co} – wektor prędkości środka separatora O_c względem punktu O' , V_{rc} – wektor prędkości środka wałka $O_r(A)$ względem środka O_c , V_{ro} – wektor prędkości środka O_r (punktu A) względem O' , V_{Ar} – wektor prędkości środka tworzącej wałka względem punktu O_r położonego na osi N docieranego wałka (V_{Ar} , V_{Ao} i V_{ro} – odpowiednio rzuty wektorów na oś M)

Ponieważ prędkość docierania (poślizgu wałka) jest określona wzorem:

$$|V'_{Ar}| = |V_{Ao}| \cos \varphi_3 - |V_{ro}| \cos \varphi_5$$

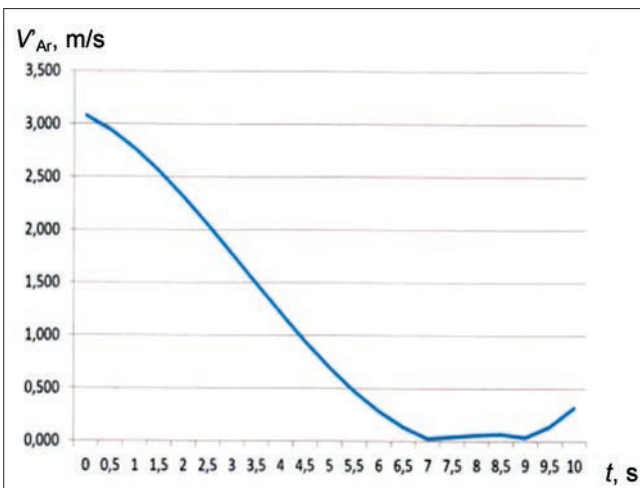
a ponadto (t oznacza czas):

$$\begin{aligned} \varphi_{co} &= \omega_{co}t, \varphi_{rc} = \omega_{rc}t, \varphi_1 = 180 - \omega_{co}t \\ L_{ro} &= [(L_{co})^2 + (L_{rc})^2 + 2L_{co}L_{rc}\cos(\omega_{rc}t)]^{1/2} \\ |V_{Ao}| &= \omega_a L_{ro} \\ |V_{ro}| &= [(\omega_{co}L_{co})^2 + (\omega_{rc}L_{rc})^2 + 2\omega_{co}\omega_{rc}L_{co}L_{rc}\cos(\omega_{rc}t)]^{1/2} \\ \varphi_2 &= \arcsin[L_{rc}\sin(\omega_{rc}t)/L_{ro}] \\ \varphi_3 &= \alpha + \varphi_{rc} - \varphi_2 \\ \varphi_4 &= \arctan[|V_{rc}|\sin\varphi_{rc}/(|V_{co}| + |V_{rc}|\cos\varphi_{rc})] \\ \varphi_5 &= \varphi_{rc} + \alpha - \varphi_4 \end{aligned}$$

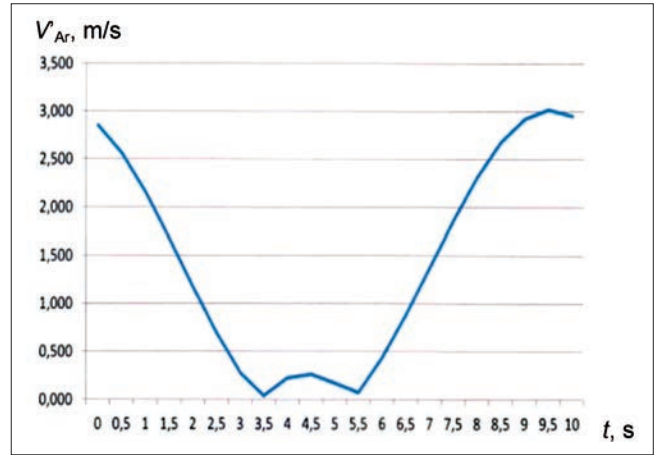
zatem:

$$\omega_{roll} = V'_{Ar}/r$$

Na rys. 4 i 5 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń prędkości docierania na docierarce AL 00-1-Z wałków o średnicy 20 mm i długości 60 mm.



Rys. 4. Zależność prędkości V_{Ar} w funkcji czasu t ($L_{co} = 156$ mm, $L_{ro} = 160$ mm, $\alpha = 0,349$ rad, $\omega_a = 10,5$ rad/s, $\omega_{rc} = 0,350$ rad/s, $\omega_{co} = 0,339$ rad/s)



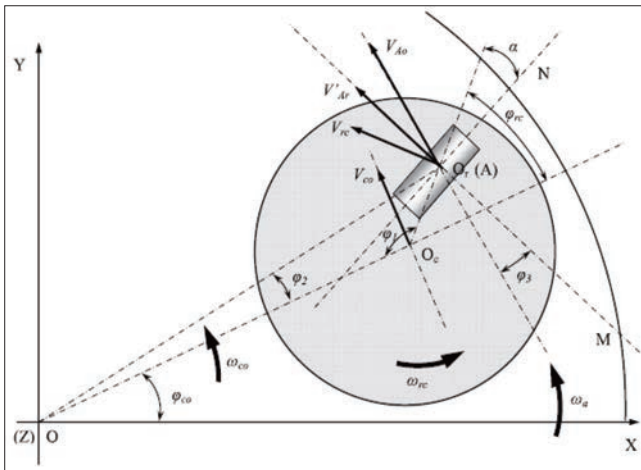
Rys. 5. Zależność prędkości V_{Ar} w funkcji czasu t ($L_{co} = 156$ mm, $L_{ro} = 140$ mm, $\alpha = 0,349$ rad, $\omega_a = 10,5$ rad/s, $\omega_{rc} = 0,628$ rad/s, $\omega_{co} = 0,339$ rad/s)

Analiza układu planetarnego

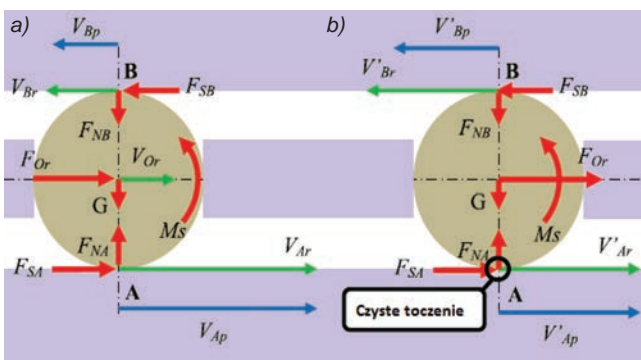
W przypadku układu planetarnego (rys. 6 i 7) schemat występujących sił i prędkości podano na rys. 8. Aby znaleźć pozycję, w której odbywać się będzie „czysty” ruch toczny, należy wektory prędkości (rys. 8a) przetransformować z układu związanego z docierakiem do układu współrzędnych związanego ze środkiem docieranego wałka (rys. 8b).



Rys. 6. Elementy wykonawczego układu planetarnego i widok docierarki Microline AC700 firmy Peter Wolters [8]



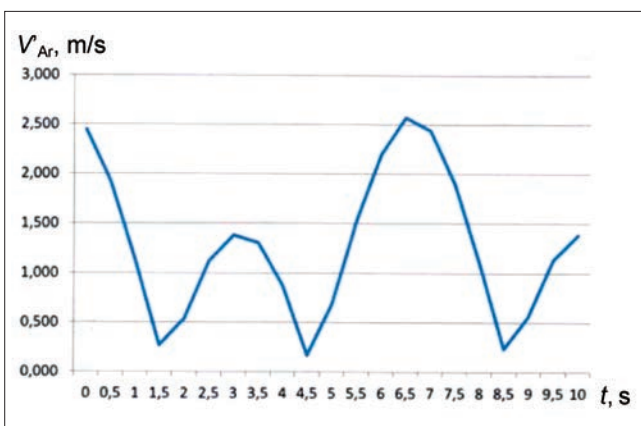
Rys. 7. Schemat układu kinematycznego w napędzie planetarnym (oznaczenia jak na rys. 3)



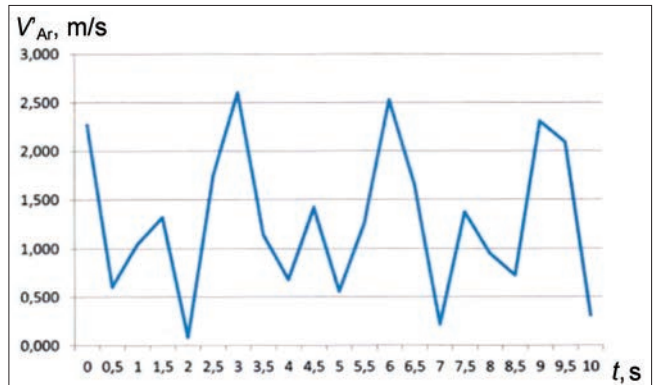
Rys. 8. Schemat sił i prędkości w układzie planetarnym docierania wałków (G – siła ciężkości, M_s – moment tarcia, A – punkt kontaktu wałka z tarczą dolną, B – punkt kontaktu z górną tarczą docierającą, F_{Or} – składowa normalna siły oddziaływania wałka i separatora, F_{SA} i F_{SB} – siły tarcia, F_{NA} i F_{NB} – składowe normalne siły oddziaływania wałka i tarcz docierających)

Z uwagi na podobieństwo analizowanych układów kinematycznych do wyznaczenia wartości poszczególnych prędkości można się posłużyć podanymi wcześniej równaniami.

Przykładowe wyniki takich obliczeń podano na rys. 9 i 10. Dotyczą one obróbki wałków o średnicy 20 mm i długości 60 mm na docierarce Microline AC700 firmy Peter Wolters (średnica zewnętrzna tarcz docierających 720 mm, średnica wewnętrzna tarcz 320 mm, prędkość obrotowa tarczy dolnej do 100 min^{-1} , a tarczy górnej – do 60 min^{-1}) [8].



Rys. 9. Zależność prędkości V_{Ar} w funkcji czasu t ($L_{co} = 250 \text{ mm}$, $L_{rc} = 180 \text{ mm}$, $\alpha = 0,314 \text{ rad}$, $\omega_a = 8 \text{ rad/s}$, $\omega_{rc} = 0,9 \text{ rad/s}$, $\omega_{co} = 0,5 \text{ rad/s}$)



Rys. 10. Zależność prędkości V_{Ar} w funkcji czasu t ($L_{co} = 250 \text{ mm}$, $L_{rc} = 180 \text{ mm}$, $\alpha = 0,436 \text{ rad}$, $\omega_a = 8 \text{ rad/s}$, $\omega_{rc} = 2 \text{ rad/s}$, $\omega_{co} = 0,5 \text{ rad/s}$)

Podsumowanie

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że warunki kinematyczne docierania maszynowego wałków zależą nie tylko od prędkości i wymiarów tarcz docierających oraz prędkości obrotowych separatorów, lecz także od położenia środka geometrycznego separatora oraz kąta pochylenia wałków α . Przy mniejszych wartościach tego kąta prędkość dla rozpatrywanej docierarki planetarnej zmieniła się od ok. 3 m/s do ok. 0,1 m/s w czasie 6 s. Przy zwiększonym kącie pochylenia przedmiotu trwało to znacznie krócej, bo jedynie ok. 3,5 s. W przypadku układu mimośrodkowego występuje nieznaczne zmniejszenie zakresu zmienności prędkości docierania wałków ($2,5 \pm 0,2 \text{ m/s}$) dla tych samych prędkości tarcz docierających. W układzie planetarnym zauważalne są też duże gradienty tych zmian. Określenie, jak to będzie wpływało na zużycie tarcz docierających i tym samym na odchyłki kształtu obrabianych wałków, wymaga dalszych analiz modelowych i badań z uwzględnieniem korzystnej dynamiki procesu (innej w docieraniu elementów metalowych i innej w docieraniu elementów ceramicznych). Z uwagi na powszechność stosowania docierarek dwutarczowych do obróbki płasko-równoległej powierzchni płaskich ustalenie zakresu ich potencjalnego wykorzystania również w docieraniu wałków niestopniowanych jest koncepcją zasadną nie tylko w aspekcie technologicznym, lecz także ekonomicznym.

LITERATURA

- Barylski A. „Analiza kinematyki docierarek tarczowych”. *Inżynieria Maszyn*. 18, 2 (2013): s. 97–104.
- Barylski A. „Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
- „Cylindrical Lapping and Polishing Machines”. Materiały nr 06/2017 firmy Stähli.
- Doi T.K., Ichikawa D. „Lapping and lapping machines”. *Handbook of lapping and polishing*. Eds.: Marinescu L.D., Uhlmann E., Doi T.K. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- Jiang L., Yao W., He Y., Cheng Z., Yuan J., Luo J. „An experimental investigation of double-side processing of cylindrical rollers using chemical mechanical polishing technique”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2015). doi: 10.1007/s00170-015-7370-1.
- Materiały informacyjne nr 7200 (a) firmy Hommelwerke.
- Materiały informacyjne firmy Lapmaster.
- Materiały informacyjne firmy Peter Wolters.
- Materiały informacyjne firmy Stähli.
- Stähli A.W. „The Technique of Lapping”. Pieterlen/Bienne (Szwajcaria).
- Yao W., Yuan J., Zhou F., Chen Z., Zhao T., Zhong M. „Trajectory analysis and experiments of both-sides cylindrical lapping in eccentric rotation”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 88 (2017): s. 2849–2859.
- Yuan J., Yao W., Zhao P., Lyu B., Chen Z., Zhong M. „Kinematics and trajectory of both-sides cylindrical lapping process in planetary motion type”. *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*. 92 (2015): s. 60–71.