

Adam BARYLSKI¹

BADANIA DOCIERANIA POWIERZCHNI PŁASKO-RÓWNOLEGŁYCH NA DOCIERARKACH

Zamieszczono wyniki badań powierzchni docieranych na docierarkach dwutarczowych o obiegowym układzie kinematycznym. Określono wpływ nacisku jednostkowego i czasu obróbki na jakość powierzchni w aspekcie współzależności dokładności kształtu powierzchni czynnych tarcz docierających i powierzchni obrabianych.

1. WSTĘP

Obecnie, wraz ze wzrostem wymagań obróbkowych rośnie znaczenie obróbki bardzo dokładnej. W przypadku powierzchni płaskich i płasko-równoległych jest to między innymi docieranie [1],[2],[3],[8]. Obróbka ta umożliwia uzyskanie, oprócz odpowiedniej mikrostereometrii powierzchni, małych tolerancji wymiaru i małych odchyłek płaskości i równoległości powierzchni. Na poziom tych błędów wpływa nie tylko stan płaskości czynnych powierzchni tarcz docierających, ale i warunki kinematyczne, materiałowe i technologiczne procesu [4],[7]. Z uwagi na złożoność układu obróbkowego, oprócz prac analitycznych i numerycznych, konieczne są badania doświadczalne. Umożliwi to weryfikację opracowywanych modeli teoretycznych docierania dwutarczowego [9],[10].

2. UKŁAD KINEMATYCZNY DOCIERANIA PŁASKO-RÓWNOLEGŁEGO

Badania przeprowadzono na docierarce dwutarczowej o standardowym, obiegowym układzie kinematycznym (rys.1). Dla takiego układu wykonawczego obrabiarki prędkość względną (prędkość docierania) opisuje się zależnością [5]:

$$v = \pi n_w(R + kr)/30 \quad (1)$$

gdzie:

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

n_w – względna prędkość obrotowa środka separatora, odniesiona do obracającej się tarczy docierającej,

R – odległość środka separatora od środka tarczy docierającej (długość wyobraźnego jarzma),

r – odległość środka obrabianego elementu od środka separatora,

k – współczynnik układu kinematycznego,

przy czym

$$n_w = n_j - n_t \quad (2)$$

gdzie:

n_j – prędkość obrotowa wyobraźnego jarzma,

n_t – prędkość obrotowa tarczy docierającej,

zaś

$$n_j = n_1 z_1 / (z_1 + z_3) \quad (3)$$

gdzie:

n_1 – prędkość obrotowa wieńca napędzającego w układzie planetarnym, o liczbie zębów z_1 ,

z_3 – liczba zębów wieńca nieruchomego (zewnątrznego),

oraz

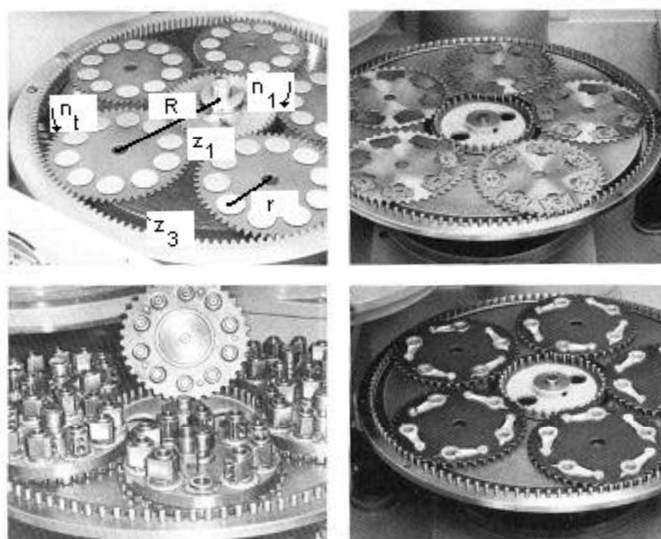
$$k = 1 + 2w_z z_3 / (z_1 - z_3)(w_z - p_c) \quad (4)$$

przy czym współczynnik charakterystyczny przekładni obiegowej

$$w_z = z_1 / (z_1 + z_3) \quad (5)$$

i współczynnik kształtu trajektorii

$$p_c = n_t / n_1 \quad (6)$$



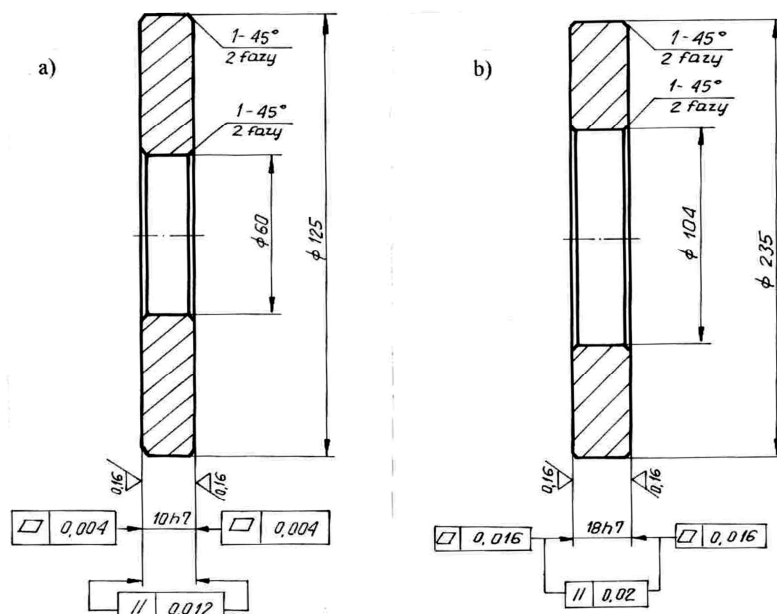
Rys. 1. Układy kinematyczne docierania dwutarczowego (Hahn & Kolb) [6]

Fig. 1. Kinematic systems of two-disk lapping machines (Hahn & Kolb) [6]

W przypadku zastosowanej docierarki ZL800H (firmy Hahn & Kolb) mamy: $R = 272,5\text{mm}$, $z_1 = 29$, $z_2 = 125$, $n_t = 30\text{min}^{-1}$, $n_1 = 28\text{min}^{-1}$, $n_j = 5,264\text{min}^{-1}$, $n_w = -24,736\text{min}^{-1}$ (kierunek przeciwny do kierunku obrotów tarczy docierającej), $w_z = 0,188$, $k = 1,555$, $p_c = 1,071$. Ponadto, dla położenia przedmiotu w separatorze $r = 35\text{mm}$ otrzymujemy $v = 0,85\text{m/s}$, zaś dla $r = 75\text{mm}$ predkość $v = 1,01\text{m/s}$.

3. WYNIKI BADAŃ

Badania docierania mikroziarnami BC F600/9 przeprowadzono na elementach płasko-równoległych ze stali ŁH15 (62-65HRC) po szlifowaniu (rys.2).

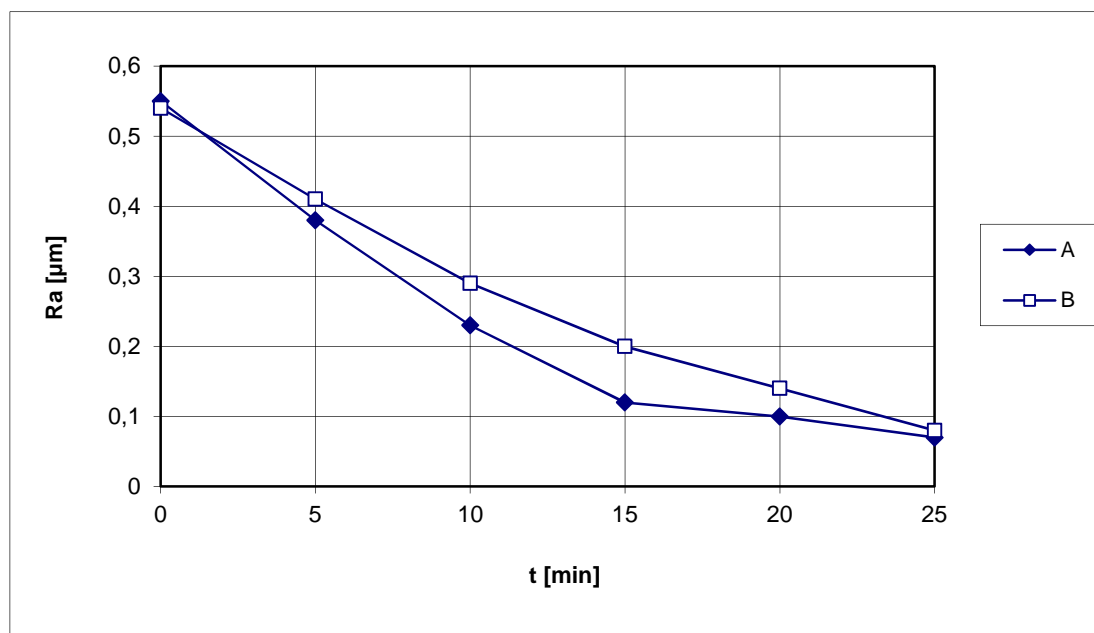
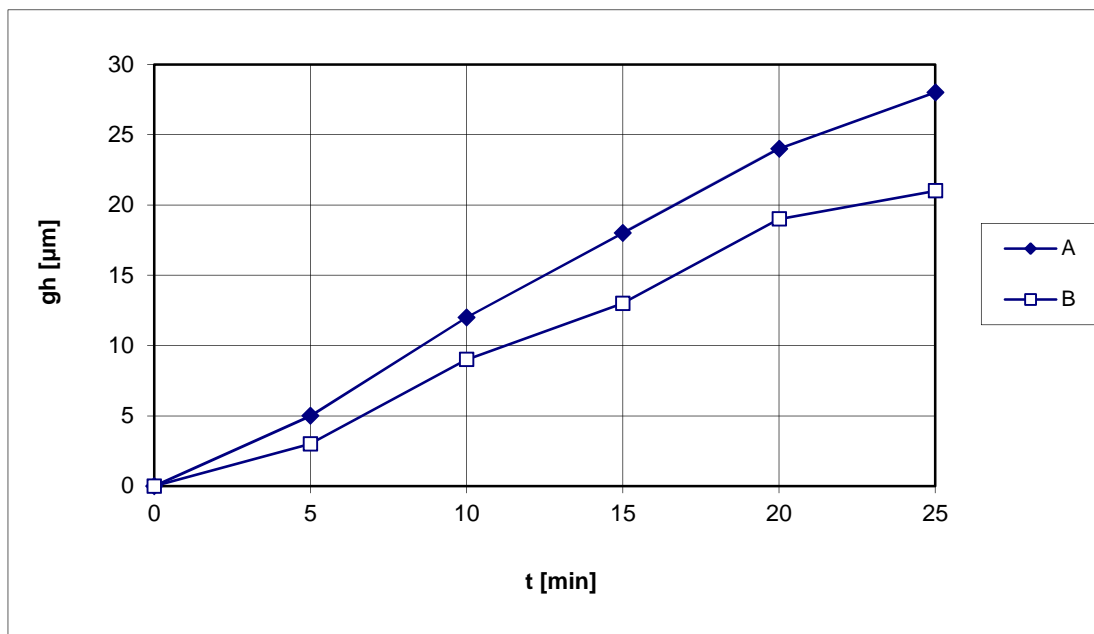


Rys. 2. Elementy docierane ze stali ŁH15: a) o polu powierzchni obrabianej $88,7\text{cm}^2$, b) o polu powierzchni $383,1\text{cm}^2$
 Fig. 2. Workpieces made of ŁH15 steel : a) where lapping surface has 88.7cm^2 , b) where lapping surface has 383.1cm^2

Przed eksperymentami tarcze docierające wyrównywano przez wzajemne ich docieranie, przy przesunięciu osi tarcz równym 210mm , co odpowiada $0,26$ średnicy zewnętrznej narzędzia. Otrzymano błąd płaskości powierzchni czynnej tarczy górnej $T_{Pt} = 4\ \mu\text{m}$ oraz $T_{Pt} = 6\ \mu\text{m}$ – na tarczy dolnej. Analizowano dokładność wymiarową oraz płaskość, równoległość i chropowatość powierzchni oraz ubytek liniowy elementów. Ilustrują to wyniki podane na rys. 3 i 4 (wartości średnie z 10 pomiarów dla każdej próby).

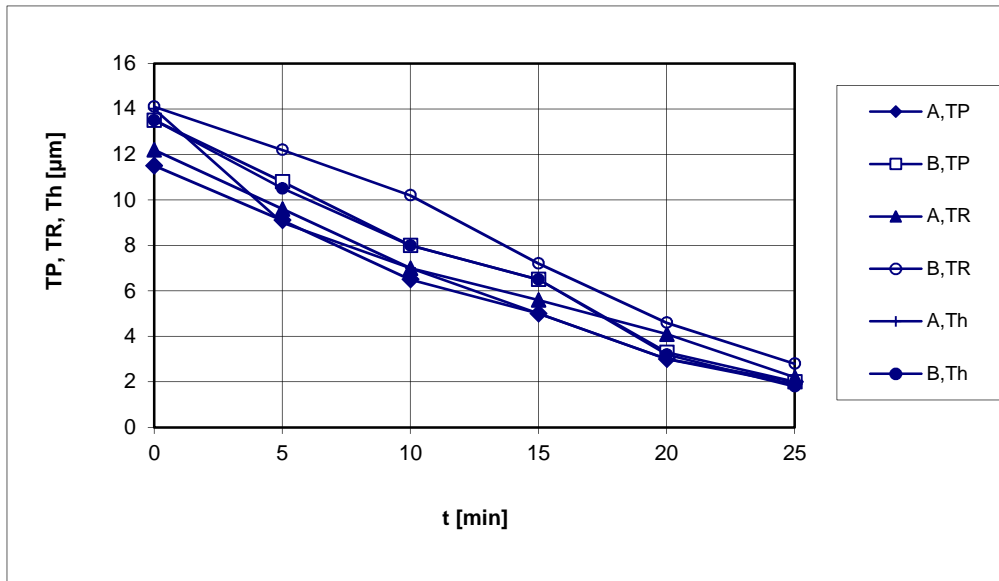
Eksperymenty potwierdziły fakt zwiększenia wydajności wraz ze zwiększeniem nacisku jednostkowego (rys. 3), podobnie jak w przypadku chropowatości powierzchni. Badania przeprowadzono w warunkach przemysłowych, ograniczając się do pomiarów tylko podstawowego parametru chropowatości powierzchni. Wpływ nacisku jednostkowego na błędy płaskości powierzchni po docieraniu okazał się nieistotny. Również na dokładność

kształtu elementów nie miała wpływu tolerancja płaskości po szlifowaniu. Przykładowo, jeżeli przed docieraniem $T_{P0} = 11,25\mu\text{m}$, to po 25min obróbki uzyskano $T_P = 2,08\mu\text{m}$; w innej próbie elementy po szlifowaniu miały $T_{P0} = 13,5\mu\text{m}$, zaś po docieraniu ($t = 25\text{min}$) $T_P = 2,0\mu\text{m}$ ($T_{P0}/T_P = 5,41 - 6,75$).



Rys. 3. Ubytek liniowy g_h i chropowatość powierzchni R_a przedmiotu docieranego A ($v = 1,01\text{m/s}$, $p = 0,038\text{MPa}$) i B ($v = 0,85\text{m/s}$, $p = 0,026\text{MPa}$)

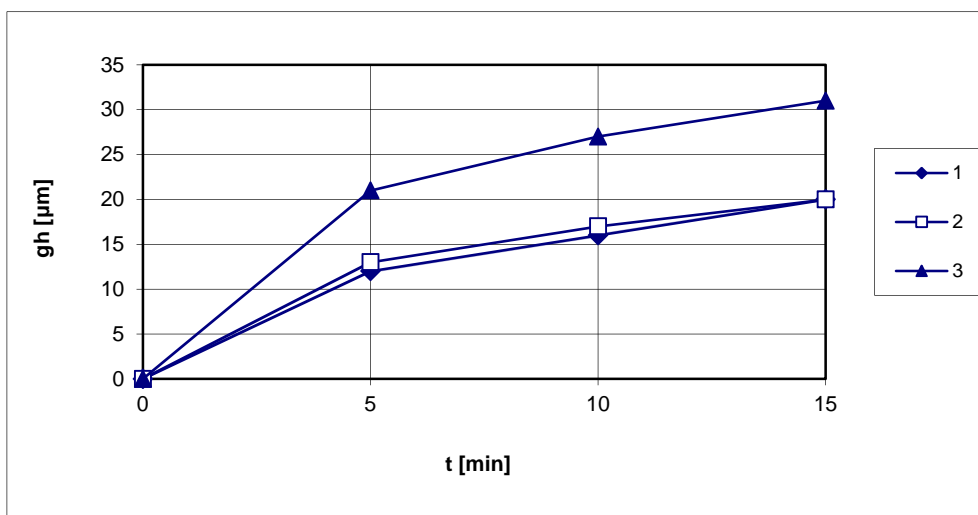
Fig. 3. Attrition of g_h and surface roughness R_a of the workpiece A ($v = 1.01\text{m/s}$, $p = 0.038\text{MPa}$) and B ($v = 0.85\text{m/s}$, $p = 0.026\text{MPa}$)



Rys. 4. Zmiany błędów płaskości T_P i równoległości T_R powierzchni oraz dokładności T_h grubości elementów A ($v = 1,01\text{m/s}$, $p = 0,038\text{MPa}$) i B ($v = 0,85\text{m/s}$, $p = 0,026\text{MPa}$) w czasie docierania t

Fig. 4. Error modifications of T_P flatness, T_R parallelism and T_h procession of element thickness, for workpieces marked as A ($v = 1.01\text{m/s}$, $p = 0.038\text{MPa}$) and B ($v = 0.85\text{m/s}$, $p = 0.026\text{MPa}$) where lapping time equals t

Przeprowadzono także badania docierania przedmiotów płasko-równoległych (ze stali ŁH15, 63HRC) o zróżnicowanym polu powierzchni czołowych (odpowiednio, dolna: 341cm^2 i górna: 361cm^2). Elementy rozmieszczono w separatorach na promieniu $r = 35\text{mm}$. Wyniki prób przedstawiono na rys. 5-8. Dla przejrzystości wykresów nie podano przedziałów ufności.

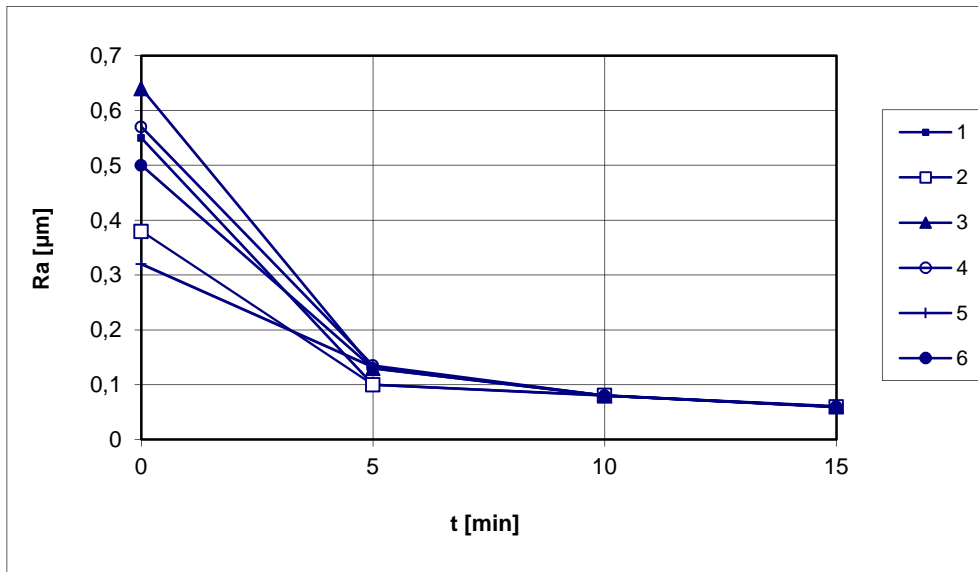


Rys. 5. Ubytek liniowy g_h elementów płasko-równoległych, docieranych przy nacisku na powierzchni dolnej/górnej:

1 - $p = 0,039/0,051\text{MPa}$, 2 - $p = 0,043/0,056\text{MPa}$, 3 - $p = 0,047/0,061\text{MPa}$

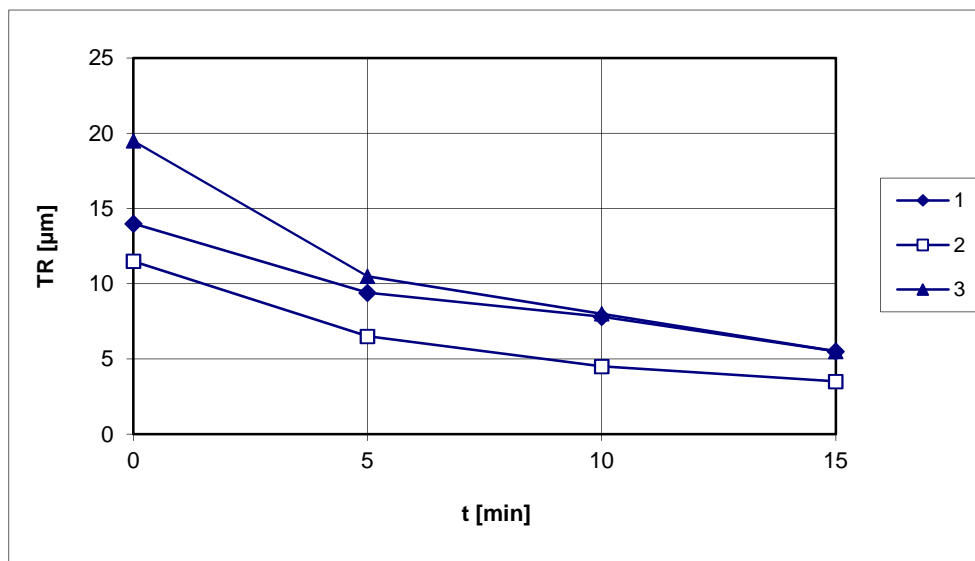
Fig. 5. Attrition g_h double-sided lapping elements, lapped at pressure on bottom/top surface:

1 - $p = 0.039/0.051\text{MPa}$, 2 - $p = 0.043/0.056\text{MPa}$, 3 - $p = 0.047/0.061\text{MPa}$



Rys. 6. Zmiany chropowatości powierzchni R_a w czasie docierania; 1 – $p = 0,039\text{MPa}$, 2 – $p = 0,051\text{MPa}$, 3 – $p = 0,043\text{MPa}$, 4 – $p = 0,056\text{MPa}$, 5 – $p = 0,047\text{MPa}$, 6 – $p = 0,061\text{MPa}$

Fig. 6. Modifications of R_a surface roughness during lapping; 1 – $p = 0.039\text{ MPa}$, 2 – $p = 0.051\text{MPa}$, 3 – $p = 0.043\text{MPa}$, 4 – $p = 0.056\text{MPa}$, 5 – $p = 0.047\text{MPa}$, 6 – $p = 0.061\text{MPa}$

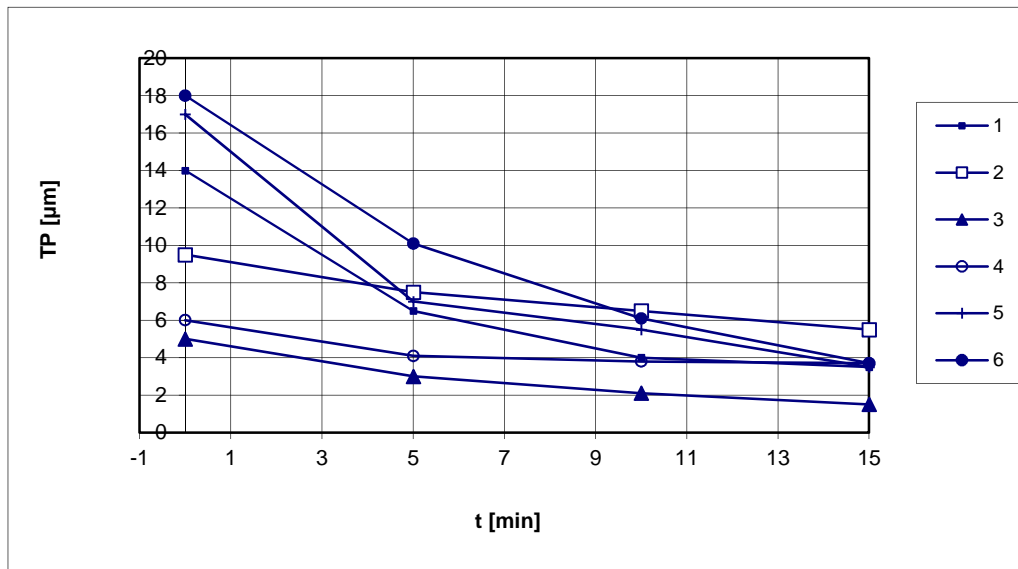


Rys. 7. Zmniejszenie nierównoległości T_R powierzchni elementów w czasie docierania, przy: 1 – $p = 0,039/0,051\text{MPa}$, 2 – $p = 0,043/0,056\text{MPa}$, 3 – $p = 0,047/0,061\text{MPa}$ (jak dla rys. 5)

Fig. 7. Reduction of T_R non-parallelism of workpieces surface during lapping, where: 1 – $p = 0.039/0.051\text{MPa}$, 2 – $p = 0.043/0.056\text{MPa}$, 3 – $p = 0.047/0.061\text{MPa}$

Po 380 min docierania elementów nastąpił wzrost temperatury na powierzchni roboczej tarcz do 311K. Na powierzchni obrabianej, stykającej się z docierakiem górnym pojawiła się wklęsłość (tolerancja nieprostoliniowości $T_1 = 0,6\mu\text{m}$). Stosunek

prostoliniowości określonej na powierzchni docieranej, do płaskości powierzchni tarczy wyniósł 0,9%, przy czym stosunek średnicy próbki do szerokości pierścienia roboczego docieraka był równy 0,45. Na dolnej powierzchni obrabianej wystąpiła wypukłość ($T_1 = 4,0\mu\text{m}$).



Rys. 8. Zmniejszenie niepłaskości T_p powierzchni elementów w czasie docierania;
 1 – $p = 0,039\text{MPa}$, 2 – $p = 0,051\text{MPa}$, 3 – $p = 0,043\text{MPa}$, 4 – $p = 0,056\text{MPa}$, 5 – $p = 0,047\text{MPa}$, 6 – $p = 0,061\text{MPa}$
 Fig. 8. Reduction of T_R non-flatness of workpieces surface during lapping, where:
 1 – $p = 0.039\text{MPa}$, 2 – $p = 0.051\text{MPa}$, 3 – $p = 0.043\text{MPa}$, 4 – $p = 0.056\text{MPa}$, 5 – $p = 0.047\text{MPa}$, 6 – $p = 0.061\text{MPa}$

Krzywizny powierzchni docieranych są zatem przeciwne do zarysów promieniowych docieraków, co należy uznać za prawidłowość. Odwzorowanie kształtu narzędzia na przedmiocie obrabianym jest jednak niepełne.

4. PODSUMOWANIE

Docierarki dwutarczowe do płaszczyzn mają zwykle ograniczone możliwości zmiany prędkości docierania, realizowanej wskutek zmian prędkości obrotowych tarcz. Najczęściej też prędkości te nie są równe, co uniemożliwia uzyskanie identycznych warunków skrawania obu powierzchni równoległych, a w konsekwencji odmienne zużycie kształtowe tarcz docierających.

Mając na uwadze złożoność współzależności pomiędzy stanem płaskości powierzchni roboczych tarcz docierających a niepłaskością i nierównoległością powierzchni elementów docieranych, badaniom tej problematyki towarzyszyć powinna analiza symulacyjna. Przedstawione eksperymenty wykazały, iż dla sterowania dokładnością wymiarowo-kształtową docierania niezbędna jest bezstopniowa regulacja prędkości obrotowych tarcz i pozostałych elementów kinematycznego układu wykonawczego obrabiarki.

LITERATURA

- [1] BARYLSKI A., 1990, *Docierarki do płaszczyzn. Cz. III. Docierarki dwutarczowe*, Mechanik, 3, 75-80.
- [2] BARYLSKI A., 1992, *Podstawy docierania jednotarczowego powierzchni płaskich*, Zesz. Nauk. Pol. Gdań., 491, Mechanika LXVII, Gdańsk, 3-196.
- [3] MARINESCU I.D., TÖNSHOFF H.K., INASAKI I., 2000, *Handbook of ceramic grinding and polishing*, Noyes Publications, Park Ridge, ISBN: 978-0-8155-1424-4.
- [4] KÖNIG W., KLOCKE F., 1996, *Fertigungsverfahren (Studium und Praxis), Bd. 2. Schleifen, Honen, Läppen.*, VDI-Verl., Düsseldorf.
- [5] KUBIK K., 1966, *Zależności kinematyczne w układzie planetowym docierania płasko-równoległego*, Mechanik, 3, 129-132.
- [6] Materiały firmy Hahn & Kolb, Stuttgart.
- [7] TÖNSHOFF H.K., 1998, *Technologie und die Berliner Schule. Innovative Produktionstechnik*, Carl Hanser Verlag, München-Wien, red. F.-L. Krause i E. Uhlmann, 115-125.
- [8] EVANS C.J., PAUL E., DORNFELD D., LUCCA D.A., BYRNE G., TRICARD M., KLOCKE F., DAMBON O., MULLANY B.A., 2003, *Material removal mechanisms in lapping and polishing*, Annals of the CIRP, 52/2, 1-23.
- [9] JINDONG Y., DUO L., ZIQIANG H., HAIYANG Y., 2010, *A new method of controlling lapping speed in high speed lapping machine*, International Conference on Computer, Mechatronics and Electronic Engineering (CMCE), IEEE, 97-100.
- [10] ZHANG X., CUI L., LIU J., 2010, *The research of disk abrader uniformity for the double-side lapping*, International Conference Communication, Networking and Broadcasting; Components, Circuits, Devices and Systems, Computing and Processing (Hardware/Software), E- Product, E-Service and E-Entertainment (ICEEEE), IEEE, 1-4.

STUDY OF LAPPING SURFACES ON TWO-DISK LAPPING MACHINE

This paper contains experimental results of surface lapped by double-plate lapping machine with circular drive. The influence of unit pressure and machining time on processing quality is determined regarding interdependence of shape exactness of active surfaces of laps and lapped surfaces.