

Docieranie i szlifowanie powierzchni płasko-równoległych na docierarkach dwutarczowych

ADAM BARYLSKI *

Docieranie należy obecnie do podstawowych sposobów ścierniej obróbki bardzo dokładnej. Nie występują w tej technologii ograniczenia w zakresie obrabianych materiałów i kształtowanych powierzchni. Docierane są między innymi elementy metalowe i ceramiczne oraz różnego rodzaju kryształy. W przypadku obróbki powierzchni płasko-równoległych coraz częściej stosowane jest też szlifowanie z kinematyką docierania. Porównanie docierania i szlifowania na docierarkach dwutarczowych jest głównym celem artykułu.

Docieranie powierzchni płasko-równoległych

W praktyce przemysłowej przeważa obecnie docieranie powierzchni płaskich i płasko-równoległych na obrabiarkach tarczowych. W docieraniu jednotarczowym możliwe jest dozowanie zawiesiny ścierniej w sposób ciągły (zalewowo lub kropłowo), a także wymuszony, czyli natryskowo w wybrane miejsce powierzchni roboczej metalowej (najczęściej żeliwnej) tarczy docierającej [2]. W przypadku docierania powierzchni płasko-równoległych, zawieszina ścierna podawana jest w strefę obróbki otworami przez górną tarczę docierającą.

Podstawowym układem kinematycznym obróbki na docierarkach dwutarczowych jest układ obiegowy (planetarny) – rys. 1. Docierane elementy umieszczone są w indywidualnie zaprojektowanych separatorach, które jednocześnie są elementami układu wykonawczego docierarki. Większość docierarek dwutarczowych wyposażonych jest w wodny układ chłodzenia narzędzi (rys. 2).

Na rys. 3 przedstawiono geometryczne i kinematyczne parametry układu obiegowego w docieraniu powierzchni płasko-równoległych.

Wartość chwilową prędkości punktu P_w w chwili t wyznaczyć można ze wzoru:

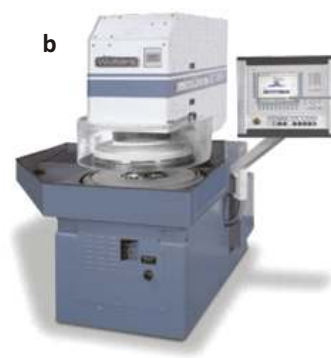
$$v(t) = |\vec{v}(t)| = \sqrt{a_z^2 \omega_z^2 + e_H^2 \omega_H^2 + 2a_z e_H \omega_z \omega_H \cos((\omega_z - \omega_H)t)}$$

zaś przyspieszenia z zależności:

$$a(t) = |\vec{a}(t)| = \sqrt{e_H^2 \omega_H^4 + a_z^2 \omega_z^4 + 2a_z e_H \omega_z^2 \omega_H^2 \cos((\omega_z - \omega_H)t)}$$

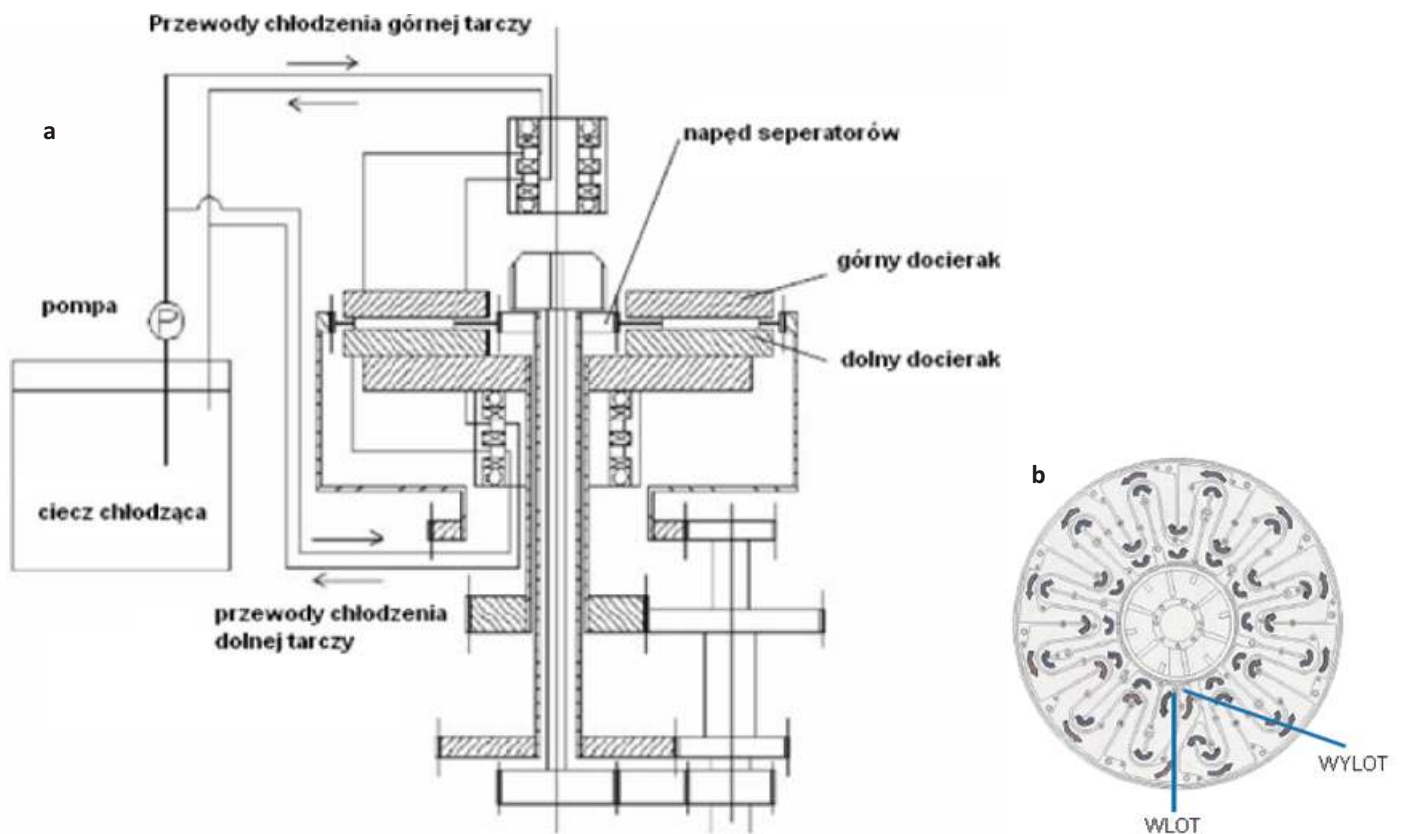
Dowolny punkt P_w , oddalony od środka separatora o e_H , porusza się po krzywej $\vec{r}(t)$ w płaszczyźnie X-Y, zaś promień krzywizny k trajektorii w chwili t wynosi:

$$k(t) = \frac{\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}y}{\sqrt{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^3}} = \frac{e_H^2 \omega_H^3 + a_z^2 \omega_z^3 + a_z e_H \omega_z \omega_H (\omega_H + \omega_z) \cos((\omega_z - \omega_H)t)}{\sqrt{[e_H^2 \omega_H^2 + a_z^2 \omega_z^2 + 2a_z e_H \omega_z \omega_H \cos((\omega_z - \omega_H)t)]^3}}$$

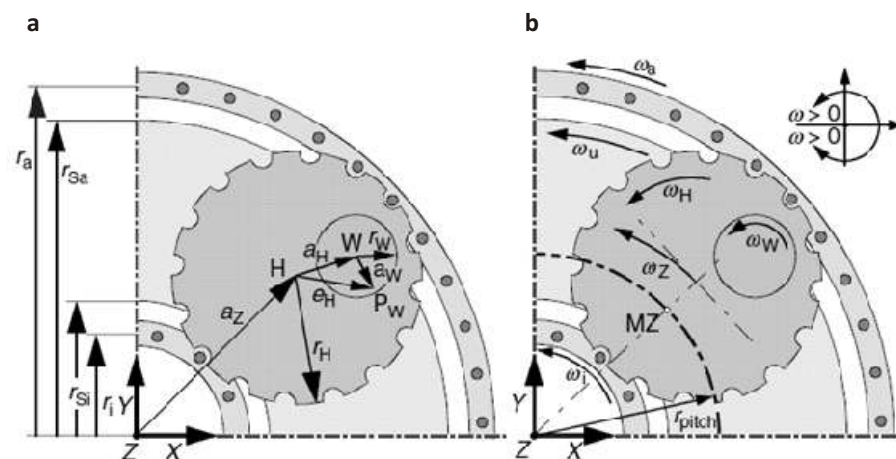


Rys. 1. Widok: a) obiegowego układu kinematycznego docierarki do obróbki powierzchni płasko-równoległych [5], b) docierarki dwutarczowej AC 700-F firmy Peter Wolters (prędkości obrotowe tarcz docierających 160/300 min⁻¹, prędkość obrotowa kołkowego pierścienia wewnętrznego 83 min⁻¹) [7]

* Prof. dr hab. inż. Adam Barylski, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Instytut Technologii Maszyn i Materiałów, abarylsk@pg.edu.pl



Rys. 2. Schemat systemu chłodzenia tarcz docierarki dwutarczowej (a) oraz sposób przepływu czynnika chłodzącego w kanałach pod tarczą docierającą (b) [4]



Rys. 3. Schemat układu obiegowego określający: a) parametry geometryczne, b) parametry kinematyczne docierarki dwutarczowej (r_a – promień kołkowego wieńca zewnętrznego, r_{sa} – promień zewnętrzny tarczy docierającej, r_{si} – promień wewnętrzny tarczy docierającej, r_f – promień kołkowego napędowego wieńca wewnętrznego, r_h – promień separatora przedmiotowego, a_z – odległość środka H separatora od środka Z układu, a_w – odległość środka W docieranego elementu od środka separatora, r_w – promień docieranego elementu kołkowego, e_H – odległość rozpatrywanego punktu P_w na powierzchni docieranej od środka separatora, a_w – odległość punktu P_w od środka docieranego elementu, ω_b – prędkość kątowa zewnętrznego pierścienia kołkowego – najczęściej $\omega_b = 0$, ω_u – prędkość kątowa tarczy docierającej, ω_H – prędkość kątowa separatora, ω_w – prędkość kątowa wewnętrznego pierścienia kołkowego, ω_w – prędkość kątowa obrabianego elementu – w analizie kinematyki najczęściej pomijana, ω_z – prędkość kątowa punktu na średnim promieniu tarczy docierającej) [4]

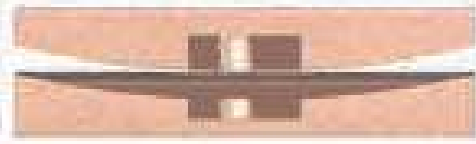
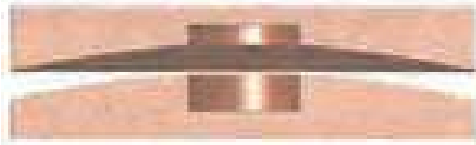
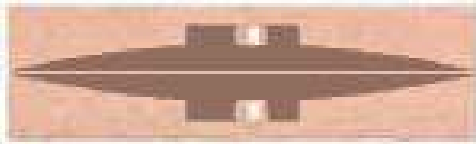
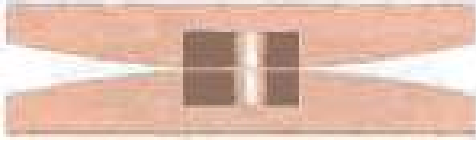



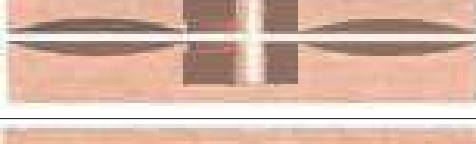
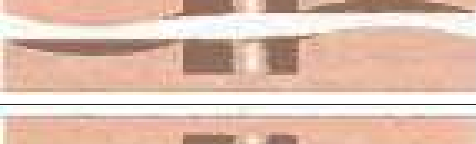

Szerszą analizę kinematyki docierania dwutarczowego przedstawiono w pracy [1].

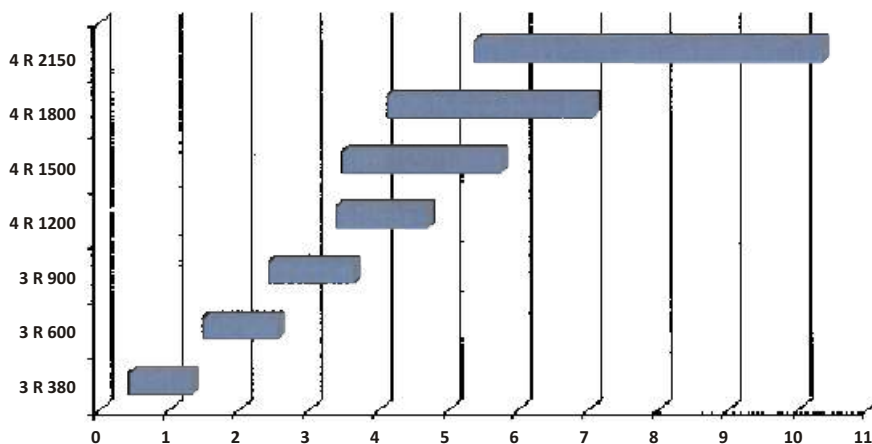
Zużycie zawiesziny ścierniej, przykładowo, dla przypadku docierarki firmy Peter Wolters pokazano na rys. 4.

Kinematyka docierania ma między innymi wpływ na zużycie tarcz docierających (Tablica 1), co bezpośrednio związane jest z kształtowaną płaskością powierzchni obrabianej, gdyż bazą obróbkową jest sama powierzchnia docierana. Chcąc poprawić płaskość narzędzia należy odpowiednio zmienić parametry kinematyczne układu obiegowego lub przeprowadzić stosunkowo pracochłonne wzajemne wyrównanie tarcz.

W Tablicy 2 scharakteryzowano wybrane elementy obrabiane na docierarkach firmy Stähli.





Tablica 1. Możliwe błędy kształtu tarcz docierających [10]

Przypadek	Schemat zużycia tarcz docierających	Opis
1		Zwiększone zużycie strefy wewnętrznej tarczy dolnej
2		Zwiększone zużycie strefy zewnętrznej tarczy dolnej
3		Zwiększone zużycie strefy wewnętrznej tarczy dolnej i górnej
4		Zwiększone zużycie strefy zewnętrznej tarczy dolnej i górnej
5		Zwiększone zużycie strefy środkowej tarczy dolnej
6		Zwiększone zużycie strefy środkowej tarczy górnej
7		Zbyt mała liczba obrabianych elementów rozmieszczonych na małym promieniu w separatorze
8		Zwiększone zużycie strefy środkowej tarczy dolnej i górnej. Zbyt duża liczba obrabianych elementów rozmieszczonych na małym promieniu w separatorze
9		Faliste zużycie tarcz. Nierównomierne rozmieszczenie docieranych elementów w separatorach
10		Faliste zużycie tarcz



Rys. 4. Średnie zużycie zawiesiny ścierniej [dm³/h] podczas docierania na obrabiarkach dwutarczowych firmy Peter Wolters [7]

Tablica 2. Charakterystyka docierania powierzchni na obrabiarkach firmy Stähli [9]

Widok obrabianych elementów				
Docierarka	FLM 400	DLM 1000	DLM 1000	DLM 1000
Materiał tarczy docierającej	żeliwo szare	żeliwo szare	żeliwo szare	żeliwo szare
Naddatek na docieranie [µm]	50	20		
Liczba elementów docieranych jednocześnie	2700	30	72	3
Czas docierania [min]		20	38	
Czynnik docierający	AWS-SiC 800	AWS-SiC 500	SiC / olej	SiC / olej
Materiał obrabiany	stal H1	AlMgSi1Wa	31CrMoV9 + QT	stal nierdzewna
Obróbka poprzedzająca docieranie	wykrawanie	toczenie	toczenie	
Wymiary gabarytowe elementu obrabianego [mm]	1 × 12	∅ 82 × 7,85	∅ 31,9 × 62,1	∅ 210 / ∅ 194 × 2,8
Kształtowany wymiar nominalny [mm]	0,35	7,85	62,09 – 60,08	3
Niepłaskość powierzchni przed docieraniem [µm]	20	20		20
Nierównoległość powierzchni przed docieraniem [µm]	30	30		30
Odchyłki wymiaru po docieraniu [µm]	± 2	± 2	- 150	± 2
Cpk	1,33	1,33	>1,00	1,33
Ra [µm]	0,02	0,08	< 0,07	0,08
Rz [µm]	0,5	1		1
Odchyłka płaskości po docieraniu [µm]	2	0,4	6–8	0,5
Odchyłka równoległości po docieraniu [µm]	5	1		1
Obraz powierzchni po docieraniu	matowa	matowa	matowa	matowa

Szlifowanie z kinematyką docierania obiegowego

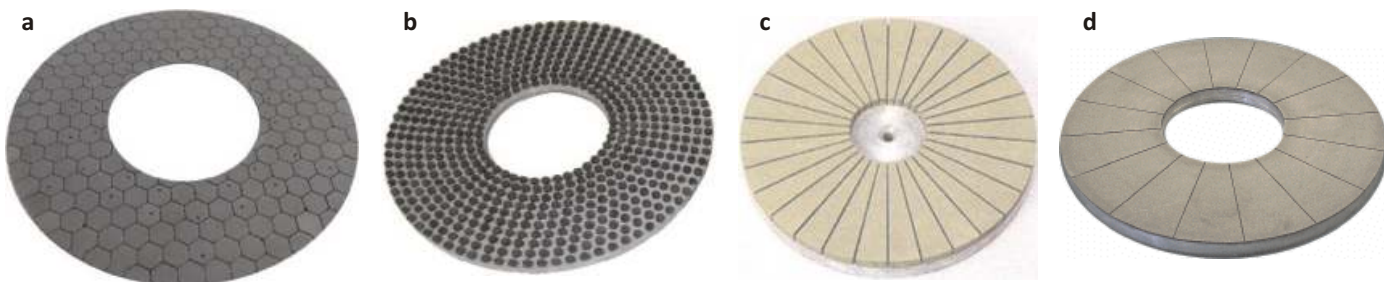
Kinematyka szlifowania na docierarkach dwutarczowych jest identyczna jak przy docieraniu powierzchni płasko-równoległych (rys. 5). Najczęściej stosowane są

wtedy narzędzia segmentowe, przy czym mogą być to zarówno segmenty ściernic, wkładki kołowe jak i heksagonalne (rys. 6). Zakres obrabianych materiałów jest bardzo szeroki [11,12].

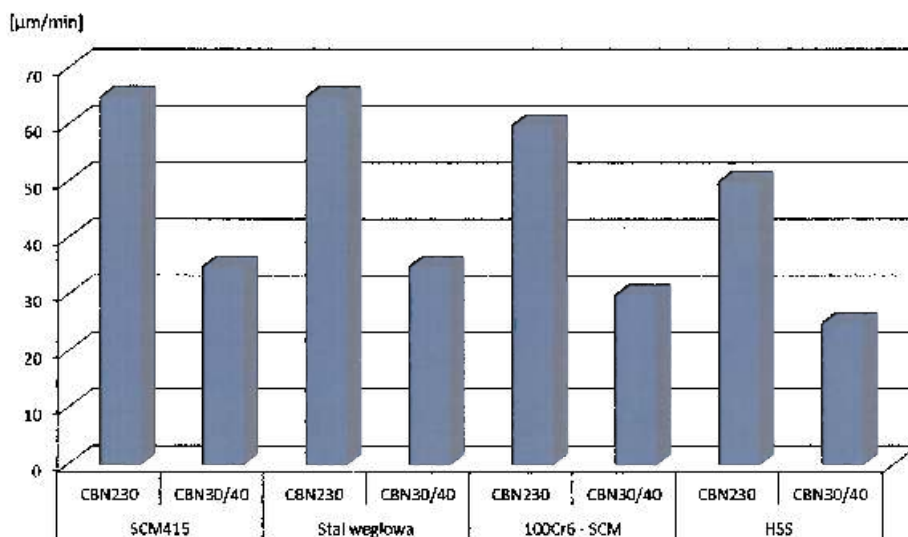
Na rys. 7 i 8 podano uzyskiwane wydajności podczas szlifowania na docierarkach dwutarczowych, zaś na rys. 9 – wartości parametru chropowatości R_a podczas obróbki wybranych materiałów.



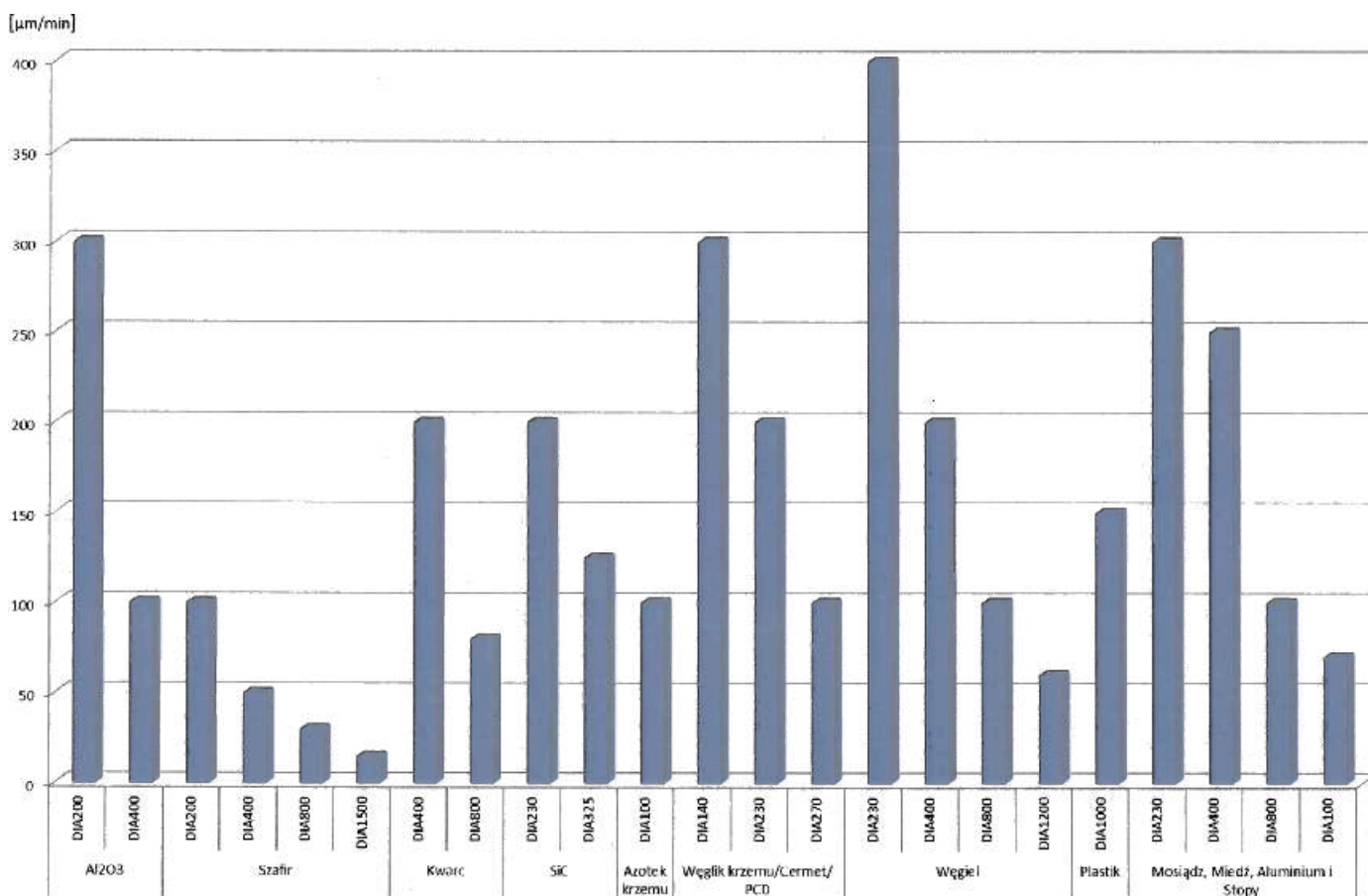
Rys. 5. Widok: a) układu wykonawczego szlifowania z kinematyką docierania dwutarczowego [8], b) docierarki dwutarczowej do szlifowania powierzchni płasko-równoległych (ze stołem załadowniczym i wyladowczym) firmy Stähli [9]



Rys. 6. Przykładowe narzędzia do szlifowania na docierarkach: a) segmenty heksagonalne [6], b) wkładki kołowe, c) segmenty diamentowe rozmieszczone promieniowo, d) nasyp diamentowy [9]



Rys. 7. Wydajność szlifowania narzędziami z regularnego azotku boru (CBN) na docierarkach dwutarczowych [9]



Rys. 8. Wydajność szlifowania narzędziami diamentowymi na docierarkach dwutarczowych [9]

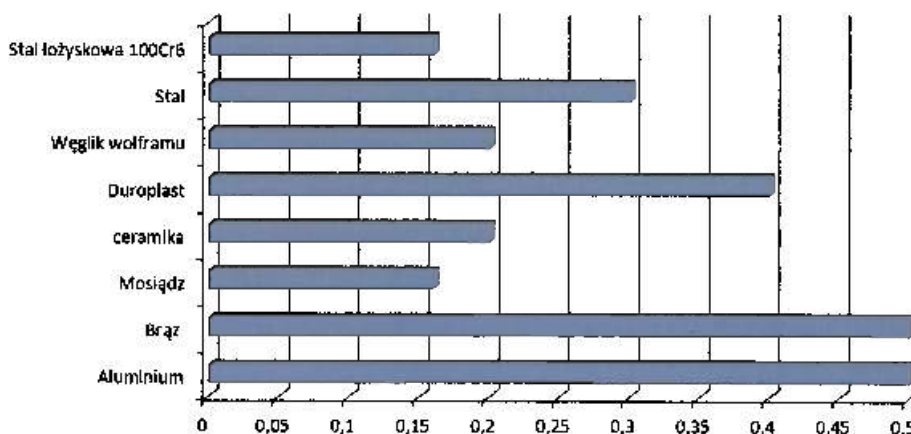
W Tabelcy 3 zamieszczono charakterystykę ogólną technologii szlifowania na docierarce DLM 705 firmy Stähli wybranych elementów konstrukcyjnych.

Narzędzia do szlifowania na docierarkach muszą być okresowo obciążane (rys. 10), zwykle 2–3 razy na zmianę produkcyjną (obciążacz standardowy) lub po 100–150 tys. obrabianych elementów (obciążacz typu vDD) [3].

Porównanie docierania i szlifowania na docierarkach dwutarczowych

Wady i zalety docierania na docierarkach to:

- możliwość obróbki przedmiotów o niewielkiej grubości;
- brak występowania odkształceń cieplnych przedmiotu;
- możliwość obróbki przedmiotów kruchych;
- brak ograniczeń w zakresie docieranych materiałów;







Rys. 9. Uzyskiwane wartości średnie parametru chropowatości powierzchni Ra podczas szlifowania z kinematyką docierania dwutarczowego wybranych materiałów [9]



Rys. 10. Widok obciążacza: a) standardowego, umieszczanego w separatorze zębatym, b) typu vDD (firmy Stähli) [3]

Tablica 3. Charakterystyka szlifowania powierzchni na docierarce dwutarczowej DLM 705 firmy Stähli [9]

Widok obrabianych elementów				
Obrabiarka	DLM 705	DLM 705	DLM 705	DLM 705
Materiał ścierny narzędzi	CBN 46	CBN 46	D46	D46
Nadatek na szlifowanie [μm]	110	650	650	300
Liczba elementów szlifowanych jednocześnie	168	132	126	250
Czas szlifowania	4 min	2 min 30 s	2 min 50 s	10 min
Płyn obróbkowy	olej	olej	olej	olej
Materiał obrabiany	100Cr ₆ 60-65 HRC	AlMgSi ₁ 60-65 HRC	węglik spiekany	stal miękka
Obróbka poprzedzająca szlifowanie	toczenie obróbka cieplna	odlewanie frezowanie	spiekanie	wykrawanie
Wymiary gabarytowe obrabianego elementu [mm]	$\varnothing 30 \times \varnothing 14 \times 13$	$\varnothing 100 \times \varnothing 55 \times 32$	$12 \times 15 \times 3$	$\varnothing 23 \times 6,25$
Kształtowany wymiar nominalny [mm]	$13,8 \pm 0,045$	32,5	3,1	6,25
Niepłaskość powierzchni przed szlifowaniem [μm]	30	500	20	
Nierównoległość powierzchni przed szlifowaniem [μm]	50	700	20	
Odchyłki wymiaru po szlifowaniu [μm]	$\pm 2,5$	± 5	$\pm 2,5$	$6,1 \pm 5$
Cpk	1,33	1,33	1,33	1,33
Ra [μm]	0,15	0,4	0,017	0,5
Rz [μm]	1,2	4	0,287	
Odchyłka płaskości po szlifowaniu [μm]	1	2	1,2	5
Odchyłka równoległości po szlifowaniu [μm]	2	3	1	2
Obraz powierzchni po szlifowaniu	Błyszcząca, rysy skrzyżowane	Błyszcząca, rysy skrzyżowane	Błyszcząca, rysy skrzyżowane	Rysy skrzyżowane

- kształtowanie powierzchni matowej lub z wyraźnymi kraterami;
- produkty docierania nie są poddawane recyklingowi;
- przedmioty po docieraniu wymagają dokładnego mycia;
- wydajność obróbki jest względnie mała.

W przypadku szlifowania z kinematyką docierania uzyskujemy:

- zwiększoną od 3 do 20 razy wydajność obróbki (w porównaniu z docieraniem);

- możliwość obróbki metalowych elementów drobnych (również wykrawanych) oraz elementów spiekanych, ze stopów żelaza i metali nieżelaznych;
- możliwość obróbki zgrubnej, dokładnej i bardzo dokładnej elementów ceramicznych oraz z tworzyw polimerowych, również o nieregularnym zarysie);

- możliwość wprowadzenia zaawansowanego systemu sterowania procesem, w tym parametrami kinematycznymi;

- brak czasochłonnego oczyszczania (po szlifowaniu występuje pokrycie powierzchni przedmiotów jedynie cienką warstwą płynu obróbkowego);

- możliwość automatyzacji załadunku i rozładunku przedmiotów (brak znacznego zanieczyszczenia elementów produktami obróbki);

- płyn obróbkowy poddawany jest recyklingowi;

- powierzchnia przedmiotu po obróbce jest błyszcząca wraz z typowymi skrzyżowanymi śladami obróbki.

Współcześnie, na docierarkach dwutarczowych możliwe jest uzyskanie odchyłki płaskości i równoległości powierzchni docieranych elementów poniżej $0,5 \mu\text{m}$ (parametr chropowatości Ra jest równy nawet poniżej $0,005 \mu\text{m}$, zaś $Rz < 0,005 \mu\text{m}$). W przypadku szlifowania z kinematyką docierania obiegowego, wartości te odpowiednio wynoszą: $1 \mu\text{m}$ (niepłaskość powierzchni) i $2 \mu\text{m}$ (nierównoległość powierzchni) oraz $Ra < 0,2 \mu\text{m}$.

Szlifowanie na docierarkach tarczowych staje się obecnie technologią konkurencyjną względem standardowego docierania luźnym ścierniwem, a dalszy rozwój tego sposobu obróbki uzależniony jest od postępów w wytwarzaniu narzędzi segmentowych, również w aspekcie ich kosztocłonności.

Literatura

1. Barylski A.: Kinematyka docierarek tarczowych. Przegląd Mechaniczny. 2019, nr 7-8, s. 48-52.
2. Barylski A.: Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2013.
3. Beyer P., Ravenzwaaij M.: Innovative flat honing with vitrified-bond grinding and conditioning tools. Industrial Diamond Review. 2005, nr 4, s. 47-50.
4. Handbook of lapping and polishing. Red. I.D. Marinescu, E. Uhlmann, T.K. Doi. CRC Press. Boca Raton, London, New York, 2007.
5. <http://www.anstac.com.my/products/product1.asp>
6. Materiały informacyjne firmy Lapmaster Wolters.
7. Materiały informacyjne firmy Peter Wolters.
8. Materiały informacyjne firmy Slugger Diamond Inserts.
9. Materiały informacyjne firmy Stähli.
10. Stähli A.W., Stähli B.: Flathoning and lapping with two-wheel machines. Stähli Lapping Technology Ltd. Pieterlen/Biel. 2006.
11. Wang L.J., Hu Z.W., Chen Y., Yu Y.Q., Xu X.P.: Material removal mechanism of sapphire substrates with four crystal orientation by double-sided planetary grinding. Ceram. Int. 2020, nr 46, s. 7813-7822.
12. Xiong Q., Nie X., Lu J., Yan Q., Deng J.: Processing performance of vitrified bonded fixed-abrasive lapping. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022, nr 3, s. 1945-1955. ■

reklama



LASER-STAL
PRECYZJA W KAŻDYM DETALU

LASEROWE CIĘCIE blach, rur i profili
GIĘCIE DETALI cnc

ul. Brunatna 35, Konin · tel. 63 222 30 18
biuro@laser-stal.pl · www.laser-stal.pl