

	<b>Organizatorzy:</b>  <b>Politechnika Łódzka</b>  <b>Wydział Mechaniczny</b>	<b>XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNEJ</b> <b>Łódź - Uniejów</b> 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

## Badania wpływu koncentracji ścierniwa i intensywności dawkowania zawiesiny na efekty docierania jednotarczowego

### Examination of impact of abrasant concentration and suspension dosage intensity on single-disk lapping results

ADAM BARYLSKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.334

Omówiono techniki dawkowania zawiesiny ścierniej w docierarkach do płaszczyzn. Przedstawiono wyniki badań wpływu koncentracji mikroziaren ściernych w dawkowanej zawieszynie na wydajność i jakość obróbki powierzchni płaskich. Analizowano wpływ podstawowych warunków docierania materiałów ceramicznych z uwzględnieniem intensywności dawkowanego ścierniwa.

**SŁOWA KLUCZOWE:** docieranie, ceramika techniczna, zawieszina ścierna

*In the paper techniques of abrasive suspension dosage in lapping tools for plains were discussed. Findings of the influence of the abrasive micrograins concentration suspension in administered suspension to the productivity and the quality of flat areas machining were presented. An influence of essential machining conditions of ceramic materials including abrasant's dosing intensity was being analyzed.*

**KEYWORDS:** lapping, technical ceramics, abrasive suspension

Obecnie, jedną z częściej stosowanych metod ścierniej obróbki bardzo dokładnej jest docieranie. Obróbka ta umożliwia kształtowanie nie tylko powierzchni płaskich oraz płasko-równoległych, ale i walcowych (zewnątrznych i wewnętrznych), kulistych oraz krzywoliniowych. W praktyce przeważa jednak docieranie elementów płaskich, przy czym wymagania obróbkowe dotyczą zarówno odchyłek płaskości powierzchni, jak i jej mikrostruktury [2]. W docieraniu płasko-równoległym otrzymujemy też małe odchyłki równoległości obrabianych powierzchni, przy możliwie dużej wydajności procesu. Nie można też mówić o ograniczeniach w stosunku do obrabianych materiałów. Docierane są zarówno materiały miękkie, jak i bardzo twarde (metalowe

i niemetalowe) [3-5]. W każdym z tych przypadków, w docieraniu standardowym, w strefę obróbki dawkowana jest kroplowo zawieszina ścierna (w sposób ciągły) lub наносzona ręcznie (okresowo) określona dawka pasty. Często w praktyce produkcyjnej dawkowanie to jest zbyt obfite. Część mikroziaren zostaje bardzo szybko usunięta z powierzchni docieraka i nie bierze udziału w skrawaniu. Szczególnie ma to miejsce w obróbce jednostronnej powierzchni płaskich, w przypadku swobodnego zbrojenia (aktywizacji naturalnej) powierzchni czynnej narzędzia.

Celem ogólnym artykułu jest przedstawienie problematyki dawkowania czynnika docierającego w operacjach docierania zaś celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu dawkowania zawiesiny ścierniej na podstawowe efekty docierania elementów ceramicznych na docierarce jednotarczowej. Skutkiem praktycznym wykonanych badań był aspekt ekonomiczny, pozwalający zminimalizować koszty używanego w procesie czynnika docierającego.

#### Technika dawkowania zawiesiny ścierniej

Ziarna ścierne dozowane są do strefy docierania zwykle w postaci zawiesiny na bazie oleju lub wody, z odpowiednimi dodatkami, w celu umożliwienia możliwie równomiernego rozprowadzenia ich na powierzchni czynnej tarczy docierającej. Także pasty ścierne powinny wykazywać odpowiednią konsystencję i dobrze zwilżać powierzchnie. Zawiesiny olejowe mają niekorzystny wpływ na środowisko naturalne i wymagają kosztownej utylizacji. Istotne są też takie składniki płynne, które wchłaniając produkty obróbki ułatwiają pooperacyjne oczyszczanie elementów. Zawiesiny na bazie wody zawierają dodatki rozpuszczalne w wodzie i środki emulgujące oraz lepiej odprowadzają ciepło wytworzone w procesie docierania. Często też zawierają inhibitory korozji, z uwagi na ochronę metalowych elementów obrabiarki oraz środki aktywne chemicznie – w przypadku docierania chemiczno-mechanicznego [1].

\* dr hab. inż. Adam Barylski, prof. nadzw. Politechniki Gdańskiej (abarylsk@pg.gda.pl)

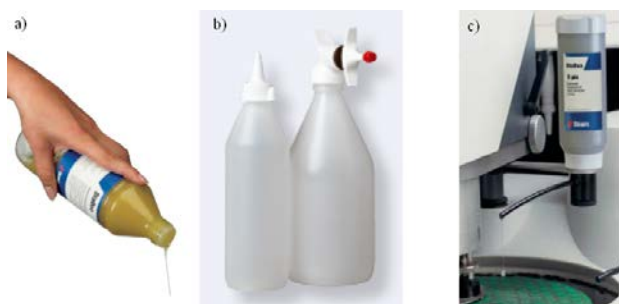
Zbyt obfite dawkowanie zawiesiny ścierniej może być przyczyną unoszenia („pływania”) elementów na powierzchni narzędzia, szczególnie przy większych prędkościach względnych w układzie docierak – przedmiot obrabiany i małych naciskach jednostkowych. Niekorzystnym zjawiskiem jest także zbyt mała ilość zawiesiny (pasty) ścierniej w strefie obróbki, co może doprowadzić do bezpośredniego kontaktu przedmiotów z powierzchnią metalowego docieraka lub znacząco zwiększyć obciążenie jednostkowe mikroziaren ściernych.

Zazwyczaj w praktyce dawkowanie zawiesiny ścierniej zawiera się od 0,5 do 20 ml/min, przy średnim udziale wagowym ścierniwa rzędu 150 g na litr płynu. Na rys. 1. przedstawiono, przykładowo, przewidywane wartości zużycia zawiesiny ścierniej w ciągu godziny, zależności od średnicy zewnętrznej tarczy docierającej.

Peter Wolters Maschinentyp	1	2	Durchschnittsverbrauch Liter/Stunde							
	3	4	5	6	7	8	9	10		
3 R 380										
3 R 600										
3 R 900										
4 R 1200										
4 R 1500										
4 R 1800										
4 R 2150										

Rys. 1. Przeciętne zużycie zawiesiny ścierniej [litr/h] w zależności od wielkości docierarki jednotarczowej firmy Peter Wolters [10]

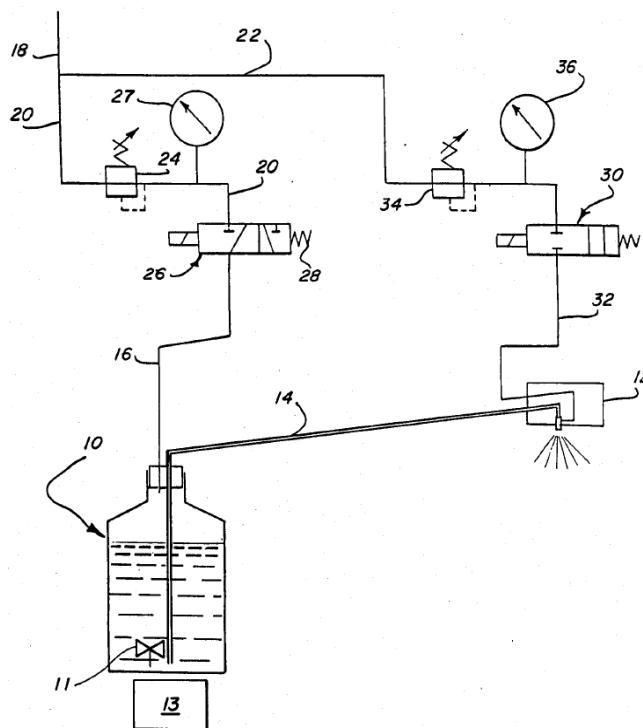
Ogólnie, wyróżnia się dwa główne sposoby zbrojenia docieraka - zbrojenie w sposób swobodny lub wymuszony. Przy zbrojeniu docieraka w sposób swobodny dawkowanie czynnika docierającego odbywa się w określonych odstępach czasu za pomocą specjalnych dozowników, z których zawiesina spływa grawitacyjnie (rys 2). Proces zbrojenia narzędzia może odbywać się też ręcznie, w sposób wymuszony. Wtedy, w pierwszej kolejności na powierzchnię docieraka metalowego, po jej oczyszczeniu, nanoszona jest pasta. Następnie mikroziarna wgniatają się rolką walcową. Czynność tą należy powtarzać kilkakrotnie w różnych kierunkach. Przed bezpośrednim wykorzystaniem tak uzbrojonego narzędzia powierzchnię czynną zmywa się natryskowo i suszy. Czas zbrojenia ręcznego jest stosunkowo długi, zaś jakość tego procesu nie jest wysoka, gdyż istnieją trudności w równomiernym rozprowadzeniu mikroziaren. Nie zachowany jest także stały nacisk elementów roboczych, co wiąże się z różną głębokością wnikania mikroziaren w poszczególnych fragmentach docieraka.



Rys. 2. Sposoby dawkowania zawiesin ściernych: a), b) ręczne, c) grawitacyjne [9]

Kolejnym ze sposobów dawkowania zawiesiny ścierniej w sposób swobodny może być wykorzystanie układu przedstawionego na rys. 3, gdzie w zbiorniku zawierającym zawiesinę ścierną (10) umieszczone jest mieszadło magnetyczne (11) zapobiegające osiadaniu się ziaren ściernych na dnie zbiornika. Magnes stały (13) kontroluje pracę mieszadła. Dysza (12) ma za zadanie dostarczenie zawiesiny ścierniej do strefy obróbki. Rurka (14) łączy dyszę ze zbiornikiem. Powietrze dostarczane pod ciśnieniem przez

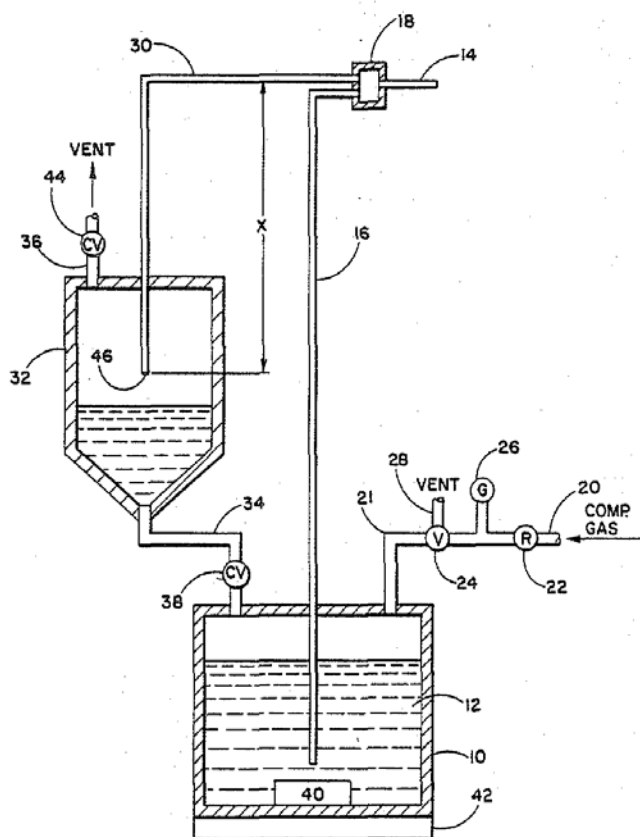
przewód (16) wymusza przepływ zawiesiny rurką (14) do dyszy. Źródło powietrza (18) dostarcza powietrze do przewodów (20) i (22). Gałąź z przewodem (20) zawiera regulator ciśnienia (24) - regulujący ciśnienie powietrza dostarczanego do zbiornika. Manometr (27) mierzy ciśnienie na wylocie z regulatora (24). Przewód (20) jest połączony z trójdrogowym rozdzielaczem (26), który z kolei przez przewód (16) łączy się ze zbiornikiem. W położeniu jak na rysunku, gdzie gałąź zasilająca (20) jest odcięta, przewód (16) jest połączony z atmosferą. W drugim położeniu zawór (26) połączony jest z gałęzią (20) i powietrze pod ciśnieniem jest wprowadzane do zbiornika by wymusić przepływ zawiesiny rurką (14) do dyszy. Druga linia powietrzna (22) prowadzi do zaworu (30), a później do dyszy (12) poprzez przewód (32). Linia ta zawiera także regulator ciśnienia (34) oraz manometr (36). Regulator (34) kontroluje ciśnienie i otwarte. W pozycji jak na rys. 3 gałąź (22) jest zamknięta. W pozycji otwartej przewód 22 jest połączony z przewodem (32) dostarczając powietrze pod ciśnieniem do dyszy (12), umożliwiając mieszanie powietrza z zawiesiną ścierną i powstanie mgły zawiesiny diamentowej, rozpylanej na tarczę docieraka.



Rys. 3. Budowa układu dawkującego zawiesinę ścierną [6]

Innym przykładowym układem służącym do dawkowania zawiesiny ścierniej jest system przedstawiony na rys. 4. Różnice w tych rozwiązaniach polegają na tym, że układ z rys. 4 (w porównaniu do układu rys. 3) ma dodatkową możliwość oczyszczania dyszy dawkującej zawiesinę. Dawkowanie małej liczby kropeł zawiesiny ścierniej na minutę może powodować zatykanie dyszy. Zastosowany tutaj system eliminuje czasowe zatrzymywanie obrabiarki i wymianę dyszy. Dodatkowo, układ z rys. 4 wyposażony jest w zbiornik, w którym odyskiwać można nadmiar zawiesiny doprowadzanej do dyszy. Nadmiar zawiesiny nie rozpylanej przez komorę (18) jest odprowadzany przewodem (30) do zbiornika pośredniego (32). Po przestawieniu trójdrogowego zaworu (24) w pozycję otwarcia, w celu odpowietrzenia wnętrza zbiornika (10) przez przewody (21) i (28), następuje obniżenie ciśnienia w zbiorniku i w przewodzie (16) prowadzącym do komory (18) połączonej z dyszą (14). Zawiesina ścierna

zgrupowana w przewodzie (30) pomiędzy wylotem (46) i komorą (18) wywołuje zredukowane podciśnienie i poprzez przewód (16) sphywa do zbiornika (10). Odzyskiwanie zawiesiny dokonuje się przez otwarcie zaworu zwrotnego (38), przez który grawitacyjnie sphywa do zbiornika (10).



Rys. 4. Budowa układu dawującego zawiesinę ścierną z systemem oczyszczania dyszy i odzyskiem zawiesiny: 10 – zbiornik, 12 – zawieszona ścierna, 40 – mieszadło magnetyczne, 42 – magnes stały, 20 – przewód dostarczający powietrze, 22 – regulator ciśnienia, 26 – manometr, 24 – rozdzielacz trójdrogowy, 21, 28 – przewody, 16 – przewód dostarczający zawiesinę, 18 – komora, 14 – dysza rozpylająca zawiesinę ścierną, 30 – przewód sphywowy dla nadmiaru zawiesiny, 32 – zbiornik pośredni, 34, 38 – przewody, 36, 44 – zawory zwrotne [7]

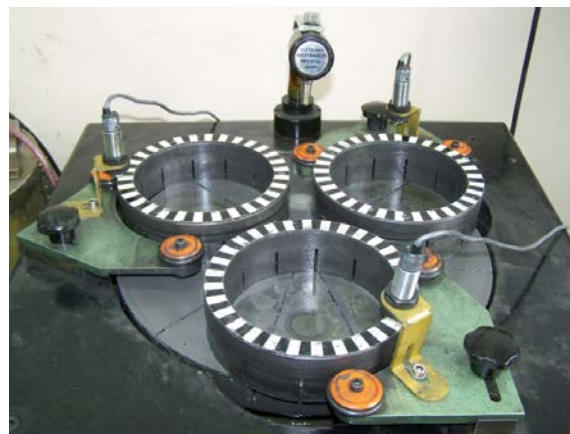
Widok wybranej docierarki laboratoryjnej wyposażonej w system dawowania zawiesiny ścierną zamieszczono na rys.5.



Rys.5. Docierarka jednotarczowa Lapmaster 20 [8]

## Warunki i wyniki badań

Badania eksperymentalne przeprowadzono na docierackę jednotarczową Abralap 380 o pierścieniowym (standardowym) układzie kinematycznym (rys. 6). Trzy pierścienie prowadzące (z elementami obrabianymi umieszczonymi w odpowiednich separatorach) obracają się w wyniku występującego momentu tarcia, a ich prędkość zależy od warunków tribologicznej współpracy pierścieni – docierak, z uwzględnieniem wywieranego ciężarowo obciążenia na elementy docierane. Zawieszona ścierna podawana jest na powierzchnię czynną żeliwnego docieraka kroplowo (w sposób ciągły). Prędkość obrotową tarczy docierającej i pierścieni prowadzących mierzono przy pomocy odbiciowych czujników optycznych SC00-1002P.



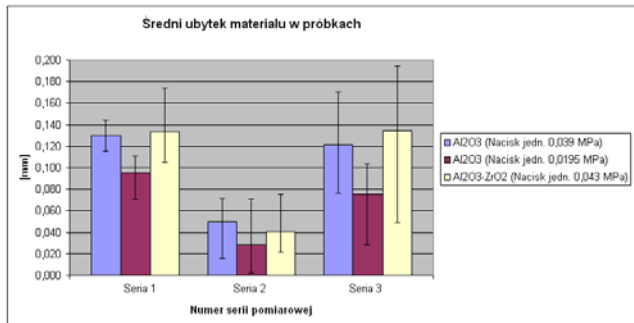
Rys. 6. Widok ogólny układu wykonawczego docierarki jednotarczowej stosowanej w badaniach

W wykonanych doświadczeniach wielkościami badanymi (niezależnymi) były: skład zawiesziny ścierną (gatunek i wielkość mikroziaren), koncentracja wagowa ścierniwa w zawieszynie, intensywność dawkowania zawiesziny, nacisk jednostkowy oraz prędkość i czas docierania. Wielkościami wynikowymi (zależne) to: ubytek liniowy elementu obrabianego i parametry chropowatości powierzchni po docieraniu. Obrabiano elementy z ceramiki technicznej  $Al_2O_3$  i  $Al_2O_3 - ZrO_2$ . Stosowano zawiesziny mikroziaren zielonego węgla krzemu F400/17 z olejem maszynowym, przy koncentracji ścierniwa 4,76 i 9 %. Zawieszinę ścierną dawkowano w ilości  $7,5 \pm 2$  i  $13,5 \pm 2$  ml/min. Łącznie wykonano 24 serie pomiarowe, stosując nacisk jednostkowy 0,0195, 0,0390 i 0,043 MPa. Na rys. 7-10 przedstawiono wybrane wyniki przeprowadzonych badań. Pomiaru ubytku elementów docieranych wykonano przy użyciu czujnika pomiarowego firmy Mitutoyo z cyfrowym odczytem o dokładności pomiarowej  $\pm 0,002$  mm i działce elementarnej 0,001 mm.

Zbiornicze zestawienie otrzymanych wyników pomiarowych ubytku docieranej ceramiki technicznej zamieszczono na rys. 11.

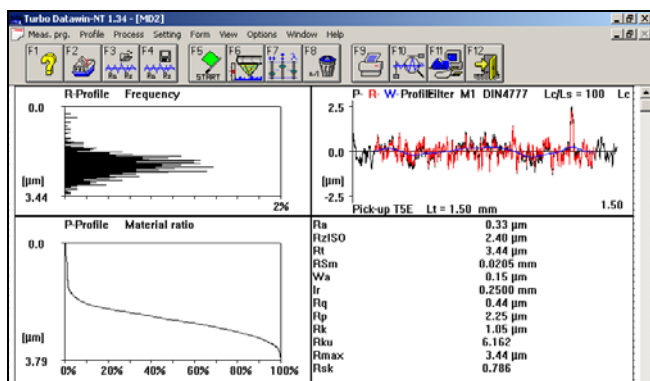
Analizując uzyskane wyniki badań łatwo stwierdzić, iż wzrost intensywności dawkowania zawiesziny ścierną z 7,5 na 19,5 ml/min spowodował średnio ok. 30 % zwiększenie ubytku liniowego obrabianych elementów ceramicznych (przez 15 min docierania). Zmiana ta jest jeszcze mniejsza w przypadku wydłużenia czasu docierania do 30 min. Sytuacja ta ma miejsce w przypadku każdego z obrabianych gatunków ceramiki, niezależnie od wywieranego w badaniach nacisku jednostkowego. Prawie dwukrotny wzrost koncentracji (wagowo) ziaren węgla krzemu w zawieszynie nie miał istotnego statystycznie wpływu na średni ubytek docieranych elementów.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono również, iż dwukrotne zwiększenie koncentracji ścierniwa w zawieszinie spowodowało 50-60% wzrost parametru Ra chropowatości powierzchni. Wydłużenie zaś czasu obróbki z 15 do 30 min nie miało wpływu na poziom wartości Ra. Jest to sytuacja w procesie docierania oczywista w przypadku ciągłego (kropłowego) dawkowania zawiesziny ścierniej.



Rys. 7. Wyniki badań ubytku elementów docieranych w czasie 15 min; dawkowanie zawiesziny 7,5 ± 2 ml/min, koncentracja mikroziaren 4,76 % (wagowo), średnia prędkość docierania v = 25 m/min (trzy powtórzone serie pomiarowe)

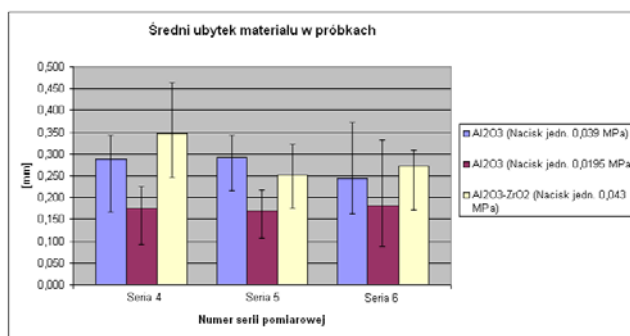
a)



b)

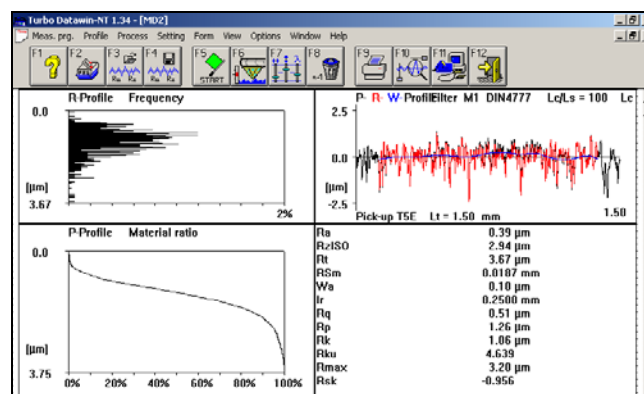
Nr.	Parameter	Xq	Range	S	Xmax	Xmin
1	Ra	0.35	0.05	0.02	0.38	0.33
2	RzISO	2.50	0.53	0.23	2.82	2.29
3	Rt	3.15	0.83	0.38	3.44	2.61
4	RSm	0.0192	0.0021	0.0009	0.0205	0.0184
5	Rp	1.46	1.28	0.56	2.25	0.97
6	Rsk	-0.195	1.577	0.699	0.786	-0.791
7	Rq	0.46	0.07	0.03	0.50	0.43
8	Rz	2.35	0.29	0.12	2.51	2.22
9	Rpk*					
10	Rpk					
11	Rk	1.07	0.11	0.05	1.13	1.02
12	Rvk*					
13	Rvk					
14	Rvk/Rk					
15	Wa	0.14	0.04	0.02	0.16	0.12
16	Wt'	0.61	0.10	0.04	0.67	0.57

Rys.8. Wyniki pomiarów parametrów chropowatości powierzchni po docieraniu: a) losowo wybrana próbka z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (p = 0,0195 MPa), seria pomiarowa 1), b) wartości średnie z 3. pomiarów



Rys. 9. Wyniki badań ubytku elementów docieranych w czasie 30 min; dawkowanie zawiesziny 7,5 ± 2 ml/min, koncentracja mikroziaren 4,76 % (wagowo), średnia prędkość docierania v = 25 m/min (4, 5 i 6 seria pomiarowa)

a)



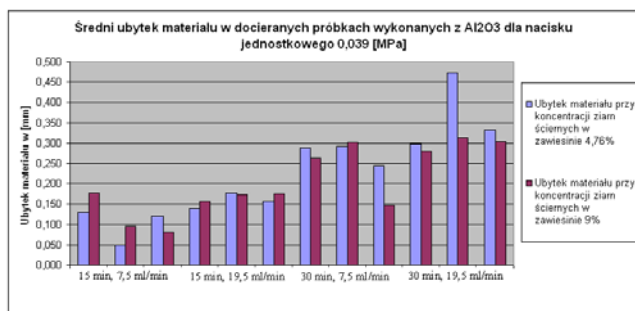
b)

Nr.	Parameter	Xq	Range	S	Xmax	Xmin
1	Ra	0.41	0.03	0.01	0.42	0.39
2	RzISO	3.12	0.31	0.13	3.25	2.94
3	Rt	4.23	1.03	0.43	4.70	3.67
4	RSm	0.0190	0.0014	0.0006	0.0198	0.0184
5	Rp	1.18	0.22	0.10	1.26	1.04
6	Rsk	-1.237	0.471	0.203	-0.956	-1.427
7	Rq	0.54	0.04	0.02	0.55	0.51
8	Rz	2.89	0.22	0.09	2.99	2.77
9	Rpk*					
10	Rpk					
11	Rk	1.10	0.43	0.18	1.34	0.91
12	Rvk*					
13	Rvk					
14	Rvk/Rk					
15	Wa	0.11	0.03	0.01	0.13	0.10
16	Wt'	0.46	0.16	0.07	0.56	0.40

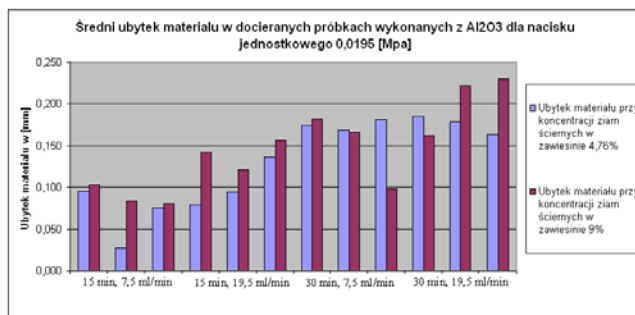
Rys. 10. Wyniki pomiarów parametrów chropowatości powierzchni po docieraniu: a) losowo wybrana próbka z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub> (p = 0,043 MPa), seria pomiarowa 6), b) wartości średnie z 3. pomiarów

Aczkolwiek wyniki przeprowadzonych badań wstępnych jednoznacznie wskazują na brak uzasadnienia zwiększania intensywności dawkowania czynnika docierającego i koncentracji ścierniwa w zawieszinie (w zakresie badanym) w aspekcie poprawy wydajności i jakości procesu, to pełna interpretacja wielkości wyjściowych będzie możliwa po rozszerzeniu prób na inne wartości prędkości docierania i nacisku jednostkowego, przy zastosowaniu odpowiedniego wnioskowania statystycznego.

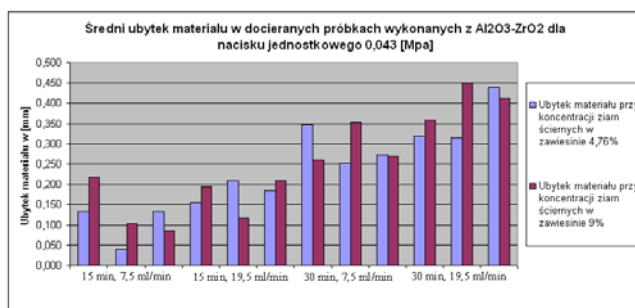
a)



b)



c)



Rys.11. Średni ubytek elementów ceramicznych w czasie 15 i 30 min docierania (dawkowanie zawiesiny 4,76 i 19,5 ml/min): a) obróbka ceramiki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> przy nacisku 0,039 MPa, b) obróbka ceramiki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> przy nacisku 0,0195 MPa, c) obróbka ceramiki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub> przy nacisku 0,043 MPa

## Podsumowanie

Porównując otrzymane wyniki pomiarów należy mieć na uwadze, że wzrost intensywności dawkowania zawiesiny (koncentracji ścierniwa na powierzchni czynnej docieraka) powoduje zmniejszenie obciążenia jednostkowego ziaren w strefie obróbki, czego konsekwencją jest zmniejszenie wydajności procesu (przy nie zmienionym powierzchniowym nacisku jednostkowym).

Przeprowadzone badania wykazały, iż zarówno zwiększenie dawkowania ścierniwa, jak i większa koncentracja ziaren w zawieszynie (w zakresie badanym) nie ma dominującego wpływu na intensywność obróbki, a jedynie podnosi koszty narzędziowe operacji. Skutecznym zwiększeniem wydajności procesu jest wzrost nacisku jednostkowego i prędkości docierania. Ograniczają to jednak wymagania dotyczące mikrostruktury powierzchni. W przypadku docierania ceramiki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub> uzyskano większe ubytki liniowe niż w przypadku elementów z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Otrzymane wyniki charakteryzują się stosunkowo dużą rozpiętością, na co ma wpływ nierównomierność kroplowego dawkowania zawiesi-

ny. Ma to szczególnie miejsce przy wymuszonym (przelewowym) dawkowaniem zawiesiny, jak podczas wykonywania badań na jednotarczowej docierarce produkcyjnej.

Chcąc zmniejszać wartości parametrów chropowatości powierzchni po docieraniu należy dążyć do minimalizacji dozowania czynnika docierającego. W przypadku docierania wstępnego dawkowanie zawiesiny ścierniej nie powinno być również zbyt intensywne, gdyż znaczna część czynnika roboczego dostarczana na tarczę docierającą zostaje szybko usunięta przez poruszające się pierścienie prowadzące i przedmioty obrabiane, co sprawia, że nie bierze udziału w procesie obróbkowym. Ma to znaczące konsekwencje ekonomiczne i ekologiczne. Powtórne wykorzystanie mikroziaren ściernych wyodrębnionych z produktów docierania jest obecnie w praktyce produkcyjnej nieopłacalne.

## LITERATURA

1. Bakoń A., Barylski A., Preparaty na bazie nano- i mikrodiamentów do operacji docierania i polerowania. *Mechanik*, 8-9, 8-12/720, 2014.
2. Barylski A., Docieranie powierzchni płaskich na docierarkach. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2013.
3. Barylski A., Technological problems in Lapping on Flat Surfaces of Ceramic parts. *Solid State Phenomena*, 199, 627-632, 2013.
4. Marinescu I. D., Uhlmann E., Doi T. K., Handbook of Lapping and Polishing. Manufacturing Engineering and Materials Processing. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.
5. Klocke F., Manufacturing Processes 2 - Grinding, Honing, Lapping. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg 2009.
6. Patent nr 4678119. Abrasive slurry supply system for use in metallographic sample preparation. Twórca wynal.: Ralph R. Doyle, <http://www.google.com/patents/US4678119> [dostęp 3.04.2011].
7. Patent nr 4784295. Slurry dispensing system having self-purging capabilities. Twórca wynal.: Allan L. Holmstrand, <http://www.google.com/patents/US4784295?hl=pl> [dostęp 12.09.2012]
8. Materiały informacyjne firmy Lapmaster, [http://www.communicatevirtuallyanything.com/Challenge\\_Info/Business\\_Challenges/6\\_Complex/Lapmaster\\_Corporate.pdf](http://www.communicatevirtuallyanything.com/Challenge_Info/Business_Challenges/6_Complex/Lapmaster_Corporate.pdf) [dostęp 1.05.2012]
9. Materiały informacyjne wyrobów DiaDuo-2 firmy Struers, [http://www.struers.com/resources/elements/12/190190/DiaDuo-2\\_BrochureEnglish.pdf](http://www.struers.com/resources/elements/12/190190/DiaDuo-2_BrochureEnglish.pdf) [dostęp 15.09.2012]
10. Materiały informacyjne firmy Peter Wolters, <http://www.peter-wolters.com/archiv/technologies/downloads/LappfibelD.pdf> [dostęp 28.04.2012].