

# Tests for lapping of flat surfaces of ceramic elements with forced dosing of abrasive slurry

## Badania docierania powierzchni płaskich elementów ceramicznych z wymuszonym dawkowaniem zawiesiny ścierniej

ADAM BARYLSKI  
MACIEJ GNIOT\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.10.89>

The issues related to the forced dosing system of the abrasive slurry in single-disk lapping are presented. This system allows dosing of a suspension with different fluid viscosities. The innovative system developed was adapted to work on the Abralap 380. The advantages of this type of abrasive sling dosing system and the procedure for planning testing of lapping of flat elements from technical ceramics, on the example of  $Al_2O_3$  treatment, are described. Selected results of defect investigations are presented, which were subjected to detailed statistical analysis.

**KEYWORDS:** lapping the flat surfaces, forced dosage abrasive slurry

Przedstawiono zagadnienia dotyczące systemu wymuszonego dawkowania zawiesiny ścierniej w docieraniu jednotarczowym. Umożliwia on dawkowanie zawiesiny o zróżnicowanej lepkości płynu. Opracowany innowacyjny układ przystosowano do pracy na docierarce Abralap 380. Opisano zalety takiego systemu dawkowania zawiesiny ścierniej oraz sposób postępowania podczas planowania badań docierania elementów płaskich z ceramiki technicznej na przykładzie obróbki  $Al_2O_3$ . Zaprezentowano wybrane wyniki badań ubytku liniowego elementów, które następnie poddano analizie statystycznej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** docieranie powierzchni płaskich, wymuszone dawkowanie zawiesiny ścierniej

### Wprowadzenie

Proces docierania powierzchni płaskich realizuje się przede wszystkim maszynowo na docierarkach jednotarczowych [4, 11, 12]. Efektywność tej obróbki wykończeniowej zależy od bardzo wielu czynników. Są one związane z obrabianym materiałem, rodzajem i właściwościami tarczy docierającej, warunkami kinematycznymi obrabiarce, wywieranym naciskiem jednostkowym na docierane elementy oraz rodzajem i charakterystyką mikroziaren ściernych zastosowanych w zawieszynie. Duży wpływ ma też sam sposób dawkowania zawiesiny ścierniej [1, 2, 5].

W przypadku swobodnego (ciągłego) podawania zawiesiny część mikroziaren ściernych zostaje bardzo szybko usunięta z powierzchni czynnej docieraka (przez poruszające się na nim pierścienie prowadzące separatory z obrabianymi elementami) i nie bierze udziału w skrawaniu [3]. Z tego powodu na Politechnice Gdańskiej, we współpracy z Uniwersytetem Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy, rozwijany jest wymuszony (okresowy) sposób dozowania zawiesiny ścierniej [6, 8, 9]; wybrane wyniki tych badań przedstawiono w artykule. Posłużono się przykładem docierania jednostronnego elementów ceramicznych.

### Model badań doświadczalnych

Jako czynniki wejściowe (badane) przyjęto w badaniach (rys. 1):

- $K$  – zawartość ziaren ściernych w substancji nośnej [%],
- $V_s$  – ilość dawkowanej zawiesiny ścierniej w ciągu 20 min [ml/20 min],
- $L_e$  – lepkość mieszaniny składników płynnych w zawieszynie [ $mPa \cdot s$ ].

Warunki stałe badań:

- $C_{D1}$  – prędkość obrotowa tarczy docierającej [obr/min],
- $C_{D2}$  – materiał obrabiany,
- $C_{D3}$  – kinematyka docierania, materiał docieraka oraz wielkość i sposób wywierania nacisku na elementy (stanowisko obróbkowe),
- $C_{D4}$  – konstrukcja urządzenia do wymuszonego dawkowania zawiesiny ścierniej.

Zakłócenia występujące w procesie dotyczą głównie:

- $U_{D1}$  – spadku napięcia w sieci elektrycznej,
- $U_{D2}$  – rozrzutu wysokości próbek obrabianych jednocześnie.

Czynnikiem wynikowym (wyjściowym) był  $U_b$  – ubytek liniowy próbek [ $\mu m$ ].

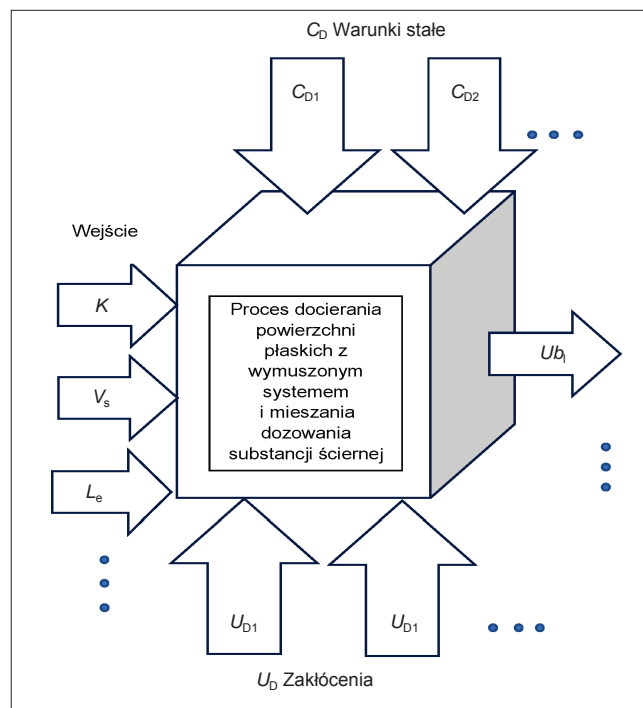


Fig. 1. Diagram of flat surface lapping tests  
Rys. 1. Schemat badań docierania powierzchni płaskich

\* Prof. dr hab. inż. Adam Barylski, [abarylsk@pg.edu.pl](mailto:abarylsk@pg.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0003-1672-8445> – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, Polska  
Mgr inż. Maciej Gniot, [maciej.gniot@utp.edu.pl](mailto:maciej.gniot@utp.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0002-2707-0696> – Wydział Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz, Polska

W badaniach wykorzystano mikroziarna węgla krzemu 98C F400/17, dawkiowane na żeliwną tarczę docierającą. Średnia prędkość docierania wynosiła: 0,58 m/s, a wartość nacisku jednostkowego: 0,045 MPa. Jako substancję płynną w dawkiowanej zawieszynie ścierniej zastosowano mieszaninę oleju maszynowego i nafty.

### Program i wybrane wyniki badań

Widok ogólny zastosowanego systemu dawkiowania zawieszyny ścierniej zamieszczono na rys. 2.

W eksperymentach zastosowano plan badań statyczny, zdeterminowany, selekcyjny, wieloczynnikowy, quasi-rotabilny drugiego rzędu [10] opracowany przez Boxa i Huntera [7], o kulistym rozkładzie informacji. Zapewnia on stałość oszacowania funkcji regresji w pewnym otoczeniu punktu centralnego planu PS/DS-P:λ [13].

TABLE I. Values of tested factors

TABLICA I. Wartości badanych czynników

Numer próby	Wartości kodowe czynników badanych		
	Zawartość ziaren ściernych $K$ [%]	Ilość substancji ścierniej $V_s$ [ml/20 min]	Lepkość substancji płynnej w zawieszynie $L_e$ [mPa·s]
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,682	0	0
10	1,682	0	0
11	0	-1,682	0
12	0	1,682	0
13	0	0	-1,682
14	0	0	1,682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
Wartości czynników badanych			
Wartości kodowe	Przed kodowaniem		
	Zawartość ziaren ściernych $K$ [%]	Ilość substancji ścierniej $V_s$ [ml/20 min]	Lepkość substancji płynnej w zawieszynie $L_e$ [mPa·s]
-1,682	5	10	10,3
-1	9	26	16,5
0	15	50	23
1	21	74	29,5
1,682	25	90	34

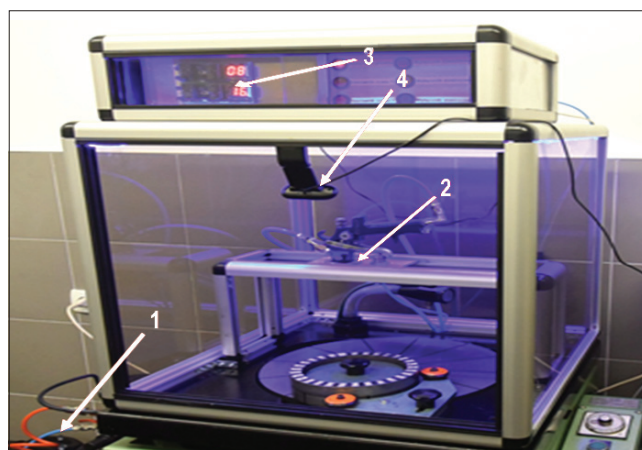


Fig. 2. Forced abrasive slurry dosing system: 1 – continuous slurry mixing system, 2 – abrasive slurry dosing system on the lapping disc, 3 – control system, 4 – process recording camera

Rys. 2. Wymuszony system dozowania zawieszyny ścierniej na tarczę docierającą, 3 – układ sterujący, 4 – kamera rejestrująca proces

Plan charakteryzuje się stosunkowo dużą informatywnością i efektywnością, co jest istotne z punktu widzenia kosztocłonności badań. Wymaga on przeprowadzenia  $n = 20$  prób przy podanych wartościach czynników badanych, zamieszczonych w tabl. I.

Funkcja matematyczna wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych ma postać:

$$Ub_1 = b_1x_1 + b_2K + b_3V_s + b_4L_e + b_5K^2 + b_6V_s^2 + b_7L_e^2 + b_8(K \cdot V_s) + b_9(K \cdot L_e) + b_{10}(V_s \cdot L_e) \quad (1)$$

gdzie:

$Ub_1$  – ubytek liniowy próbek [ $\mu\text{m}$ ],

$K$  – zawartość ziaren ściernych w nośniku [%],

$V_s$  – dawka zawieszyny ścierniej [ml/20 min],

$L_e$  – lepkość mieszaniny płynnej w zawieszynie ścierniej [mPa·s],

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}$  – współczynniki równania,  $b_1x_1$  – wyraz wolny, gdzie:  $x_1 = 1$ .

Z analizy wpływu trzech badanych czynników na ubytek liniowy docieranych próbek ceramicznych otrzymano wartości współczynników równania drugiego stopnia, które zawarto w tabl. II.

TABLE II. Coefficients of the quadratic equation

TABLICA II. Współczynniki równania kwadratowego

$b_1$	-571,550
$b_2$	38,6214
$b_3$	1,2930
$b_4$	30,8078
$b_5$	-0,9653
$b_6$	-0,0163
$b_7$	-0,6466
$b_8$	0,0226
$b_9$	-0,3077
$b_{10}$	0,0401

Na rys. 3 przedstawiono wpływ procentowej zawartości ziaren w substancji ścierniej oraz nanoszonej dawki zawiesiny na docierak w czasie 20 min na ubytek liniowy próbek.

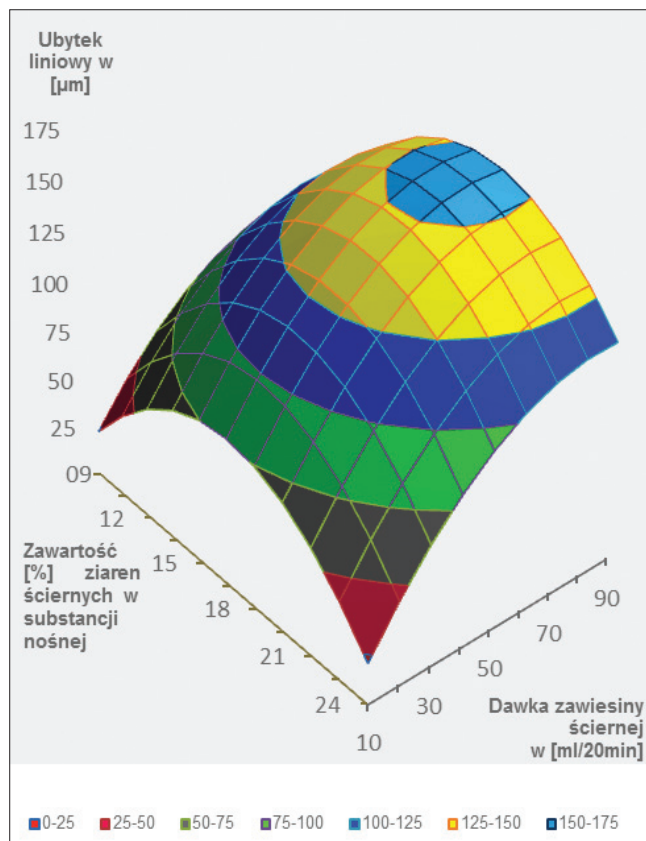


Fig. 3. Line loss of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  technical ceramics, lapped on a Abralap 380 single-disc lapping machine, with a forced abrasive slurry dosing system  
Rys. 3. Ubytek liniowy elementów z ceramiki technicznej  $\text{Al}_2\text{O}_3$  docieranych na docierarce jednotarczowej Abralap 380 z wymuszonym systemem dozowania zawiesiny ścierniej

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że lepkość substancji płynnej w zawieszynie ścierniej (w zakresie badanym) nie ma istotnego wpływu na ubytek obrabianych elementów. Z praktycznego punktu widzenia najistotniejszy wpływ ma wielkość dawki i zawartość procentowa ziaren ściernych.

W eksperymencie przyjęto zakres tej dawki od 10 ml/20 min do 90 ml/20 min. Najlepsze rezultaty, w aspekcie wydajności procesu, otrzymano przy dawce 90 ml/20 min.

Analizie poddano również wpływ zawartości ziaren ściernych w substancji nośnej. Na potrzeby eksperymentu określono przedział zawartości ziaren węgla krzemowego w substancji nośnej – przygotowanej na bazie oleju maszynowego i nafty kosmetycznej – od 5% do 25%. Stwierdzono, że najlepsze efekty ubytku liniowego próbek ceramicznych można uzyskać, jeżeli zawartość ziaren ściernych w substancji nośnej wynosi ok. 15%.

### Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu wymuszonego dozowania i nanoszenia zawiesiny ścierniej na powierzchnię roboczą docieraka żeliwnego na efektywność procesu docierania elementów płaskich wykonanych z ceramiki  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , można stwierdzić, że:

- wymuszony system dozowania przyczynia się znacząco do oszczędności związanych ze zużyciem zawiesiny ścierniej,

- zastosowany sposób dawkowania zawiesiny generuje mniejszą ilość szkodliwych substancji, które należy poddawać kosztownej utylizacji,
- istotny wpływ na wydajność procesu docierania ma odpowiedni dobór zawartości procentowej ziaren ściernych; w analizowanym przypadku najlepsze wyniki uzyskano przy 15-procentowym udziale ziaren ściernych w substancji nośnej,
- nadmierna zawartość ziaren ściernych nie zwiększa efektywności procesu docierania,
- istotnym czynnikiem mającym wpływ na efektywność procesu docierania jest wielkość dawki substancji ścierniej przypadająca na jeden obrót tarczy docierającej,
- na podstawie przeprowadzonego eksperymentu stwierdzono, że największy ubytek materiału uzyskano, stosując sumaryczną dawkę 90 ml/20 min,
- lepkość składników płynnych zawiesiny ścierniej nie ma istotnego wpływu na ubytek liniowy przy wymuszonym systemie dozowania (w badanym zakresie).

Przedstawione rozwiązanie systemu dozowania i nanoszenia zawiesiny ścierniej pozwala znacząco zmniejszyć koszty związane z obróbką wykończeniową i przyczynia się do rozwoju automatyzacji operacji docierania. Zaprojektowany i wykonany układ umożliwia nanoszenie substancji o zróżnicowanej lepkości. Jego zaletą jest również równomierne nanoszenie zawiesiny ścierniej na powierzchnię roboczą metalowej tarczy docierającej, tak aby straty narzędziowe były jak najmniejsze.

### LITERATURA

- [1] Bakoń A., Barylski A. „Preparaty na bazie nano- i mikrodiamentów do operacji docierania i polerowania”. *Mechanik*. 87, 8–9 (2014): 8–12.
- [2] Bakoń A., Barylski A. „Ziarna i mikroziarna diamentowe. Rodzaje ścierniw i przykłady zastosowania”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2017.
- [3] Barylski A. „Badania wpływu koncentracji ścierniwa i intensywności dawkowania zawiesiny na efekty docierania jednotarczowego”. *Mechanik*. 88, 8–9 (2015): 20–24, <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2015.8-9.334>.
- [4] Barylski A. „Docieranie powierzchni płaskich na docierarkach”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
- [5] Barylski A. „Technological problems in lapping on flat surfaces of ceramic parts”. *Solid State Phenomena*. 199 (2013): 627–632, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.199.627>.
- [6] Barylski A., Gniot M. „Wpływ zawiesiny ścierniej dawkowanej w sposób wymuszony na wydajność docierania jednotarczowego elementów ceramicznych”. *Mechanik*. 91, 8–9 (2018): 734–736, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.118>.
- [7] Box G., Hunter J. „Multifactor experimental designs for exploring response surfaces”. *Ann. Math. Statist.* 28, 1 (1957).
- [8] Gniot M., Barylski A., Migawa K. „System dozowania zawiesiny ścierniej w docieraniu powierzchni płaskich”. *Mechanik*. 90, 10 (2017): 894–896, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.139>.
- [9] Gniot M., Barylski A. „Hydrodynamiczne dozowanie zawiesiny ścierniej w docieraniu jednotarczowym powierzchni płaskich”. *Mechanik*. 89, 8–9 (2016): 1110–1111, <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.8-9.272>.
- [10] Mańczak K. „Technika planowania eksperymentu”. Warszawa: WNT 1976.
- [11] Marinescu I.D., Uhlmann E., Doi T.K. „Handbook of Lapping and Polishing. Manufacturing Engineering and Materials Processing”. London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.
- [12] Klocke F. „Manufacturing Processes 2 – Grinding, Honing, Lapping”. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [13] Polański Z. „Metody optymalizacji w technologii maszyn”. Warszawa: PWN, 1977.