



## Wykorzystanie metody sztucznych baz w badaniach zużycia pierścieni prowadzących docierarki jednotarczowej

### Application of artificial base method to research on wear of conditioning rings of single-disk lapping machine

ADAM BARYLSKI\*

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących separatory w układzie kinematycznym standardowej docierarki jednotarczowej. Do analiz wykorzystano metodę sztucznych baz Vickersa. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów mogą być wykorzystane w racjonalnym planowaniu wymiany tego typu elementów układu wykonawczego docierarki.

**SŁOWA KLUCZOWE:** docierarka jednotarczowa, układ kinematyczny, pierścienie prowadzące, zużycie, analiza

*In the paper results of research on wear of separator's conditioning rings in kinematic system of typical single-disk lapping machine are presented. Vicker's artificial base method is used in the analysis. Results of experiments may be a good starting point in rational planning of replacement of such parts in execution system of the lapping machine.*

**KEYWORDS:** single-disk lapping machine, kinematic systems, conditioning rings, wear, analysis

#### Wprowadzenie

Jedną z podstawowych odmian docierania, jako ściernej obróbki bardzo dokładnej powierzchni płaskich, jest docieranie jednotarczowe. W takim układzie kinematycznym na powierzchni roboczej docieraka umieszczone są separatory z elementami obrabianymi, we wnętrzu odpowiednich pierścieni prowadzących w liczbie od 1 do 4 – w zależności od wielkości obrabiarki [2,10,13]. Pierścienie prowadzące spełniają też funkcję elementów wyrównujących powierzchnię metalowego docieraka tarczowego, równomiernie rozprowadzają dawkowaną zawieszynę ścierną, wprowadzają w ruch obrotowy separatory z elementami obrabianymi oraz utrzymują we właściwym położeniu krążki dociskowe – w przypadku obciążnikowego

sposobu wywierania nacisku podczas docierania (rys. 1).

W czasie operacji docierania pierścienie prowadzące ulegają zużyciu ściernemu, a także narażone są na inne formy zużycia w przypadku docierania chemiczno-mechanicznego. Wyznaczenie intensywności zużycia pierścieni jako jednego z podstawowych elementów układu wykonawczego standardowej docierarki jednotarczowej ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne, gdyż pozwoli na zaplanowanie ich czasu eksploatacji, mając na uwadze konstrukcyjny zapas na zużycie (dopuszczalną wysokość pierścieni). Jest to podstawowy cel niniejszej pracy.



Rys.1. Przykładowy układ wykonawczy docierarki jednotarczowej KEMET15: 1 – pierścień prowadzący, 2 – tarcza docierająca, 3 – układ dawkujący zawieszynę ścierną, 4 – rolki prowadzące pierścieni, 5 – układ sterowania, 6 – dozowniki płynu i ścierniwa, 7 - zespół mieszalnika zawiesziny ściernej [8]

Od składu i natężenia wypływu zawiesziny ściernej w stre-  
fę obróbki, prędkości względnej docieraka i pierścieni pro-  
wadzących, materiału części roboczej pierścieni oraz

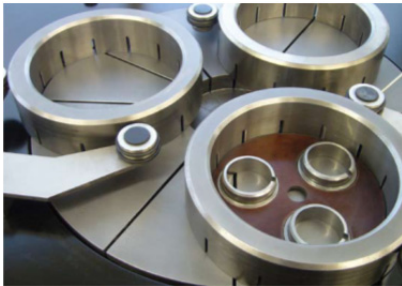
\* Dr hab. inż. Adam Barylski, prof. nadzw. PG, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny (abarylsk@pg.gda.pl)

nacisku jednostkowego (wymiarów pierścieni) zależy głównie od okresu ich użytkowania (wymiany).

### Konstrukcja pierścieni prowadzących

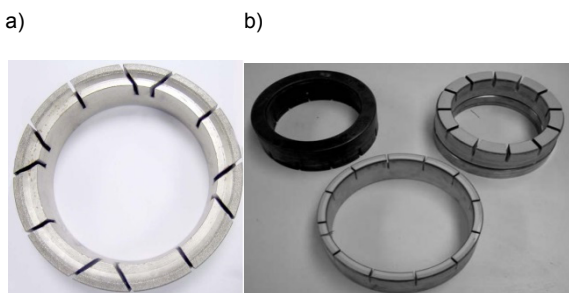
Eksploatacja pierścieni prowadzących w układzie wykonawczym docierarki jest możliwa do chwili występowania nacięć od strony roboczej lub gdy zachowanie właściwego położenia rolek prowadzących utrzymujących obracające się pierścienie staje się niemożliwe. Stopniowe zużywanie się pierścieni zmniejsza ich masę, co w konsekwencji zmienia prędkość obrotu wywołanego momentem sił tarcia w układzie tarcza docierająca – pierścień prowadzący.

W celu zmniejszenia intensywności zużywania się pierścieni wprowadzane są obecnie przez producentów docierarek różne rozwiązania konstrukcyjne oraz różne materiały. Mając na uwadze sposób napędu pierścieni przeważają rozwiązania, w którym obrót powodowany jest ruchem obrotowym narzędzia i warunkami kontaktowej współpracy z powierzchnią roboczą tarczy docierającej (rys. 2). Napęd własny pierścieni prowadzących, przez układ zębaty, stosowany jest bardzo rzadko. Nieliczne przykłady to: docierarka FP8 firmy Peter Wolters [1, 12], jedna z opcji obrabiarki M.M.8400 firmy Lam-Plan [9] i rozwiązanie firmy GMT [11].



Rys. 2. Standardowy napęd pierścieni prowadzących w docierarce firmy JOKE [7]

W przeważającej większości zastosowań pierścienie prowadzące posiadają od strony roboczej nacięte rowki promieniowe lub ukośne (rys. 3). Coraz częściej proponowane są też rozwiązania zespolone (rys. 4).



Rys. 3. Przykładowe konstrukcje jednolitych pierścieni prowadzących: a) firmy Kemet [8], b) firmy Engis [6]



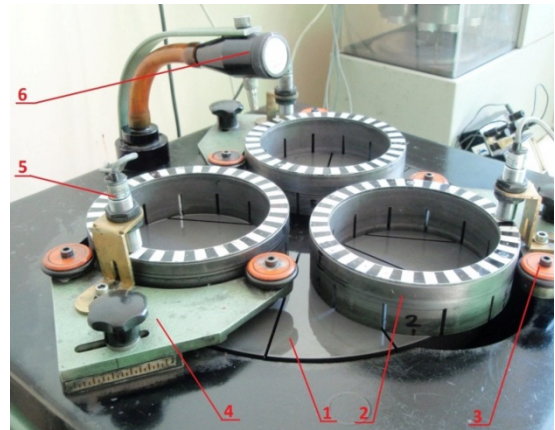
Rys. 4. Wybrane konstrukcje pierścieni zespolonych z wkładkami ceramicznymi lub diamentowymi firmy Engis [6]



Liczba i wielkość stosowanych pierścieni prowadzących zależy oczywiście od wymiarów tarczy docierającej, zaś informacje udzielane przez producentów docierarek zwykle nie zawierają danych materiałowych, a jedynie geometryczne. W przypadku pierścieni wykonanych z żeliwa ułatwiony jest proces zbrojenia (aktywizacji) ich powierzchni roboczej ścierniwem. Korzystnym jest względnie wysoka odporność na zużycie ściernie, co wykazują nisko- i wysokowęglowe żeliwa białe lub stopowe, głównie o podwyższonej zawartości chromu. Pierścienie z wkładkami ceramicznymi firmy Engis posiadają także wieńce wykonane ze stali nierdzewnej, np. ze stali 304 [6]. Na wkładki ceramiczne stosowana jest głównie ceramika tlenkowa ( $Al_2O_3$ ). Obecnie najczęściej w praktyce mamy jednak do czynienia z jednolitymi rowkowanymi pierścieniami żeliwnymi, wykonanymi z tego samego żeliwa co tarcza docierająca.

### Warunki i wyniki badań zużycia

Badania doświadczalne [5] zużycia żeliwnych pierścieni prowadzących (z żeliwa EN-GJL-250 o twardości 175 HB) przeprowadzono na przykładzie docierarki ABRALAP 380 (rys. 5) [3].

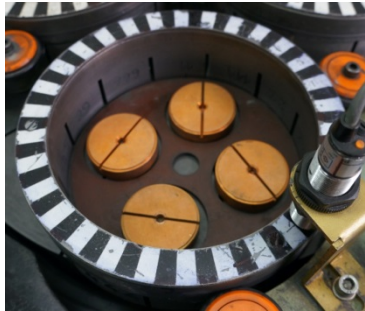


Rys. 5. Układ wykonawczy docierarki ABRALAP 380: 1 – tarcza docierająca, 2 – pierścień prowadzący, 3 – rolka prowadząca, 4 – regulowane jarzmo, 5 – czujnik odbiciowy SC00-10025 prędkości obrotowej, 6 – ramię dozownika zawiesiny ścierniej

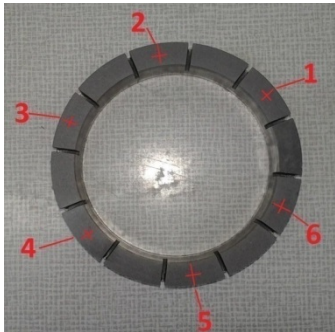
Docierarka posiada możliwość bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej tarczy docierającej (do  $60 \text{ min}^{-1}$ ), nastawiany zakres czasu pracy (z dokładnością do 1 s) i zbiornik z zawiesiną ścierną o pojemności ok.  $7 \text{ dm}^3$ . Wymiary tarczy docierającej wynoszą: średnica zewnętrzna 380 mm, średnica wewnętrzna 88 mm. Wymiary pierścieni prowadzących to: średnica zewnętrzna części roboczej 179,3 mm, średnica wewnętrzna 146,3 mm, wysokość całkowita 48,5 mm (w badaniach ulega zmianie), głębokość naciętych rowków promieniowych 25,8 mm (zmniejsza się wskutek zużywania się pierścienia) i ich szerokość 3,2 mm. Masa początkowa pierścienia wynosiła 2830 g, zaś zakres wysunięcia jego środka w stosunku do środka układu wykonawczego obrabiarki (osi obrotu docieraka) 103,5-137 mm (przy wysunięciu 117 mm zarys wewnętrzny pierścienia prowadzącego jest styczny do obrysu pierścienia roboczego tarczy docierającej – położenie środkowe pierścieni).

W wykonanych badaniach użyto zawiesinę elektrokorundu o granulacji F320, F600 i F1000 (9% wag.) w oleju maszynowym (dawkowanie 0,6 ml/s). Stosowano prędkości

obrotowe docieraka 24, 42 i 60  $\text{min}^{-1}$  oraz czas docierania 30 min (każda próba powtarzana była trzykrotnie). Zużycie pierścieni badano z wykorzystaniem sztucznych baz Vickersa (rys.6), wykonanych pod obciążeniem węgelnika 60 lub 120 kg.



a)



b)

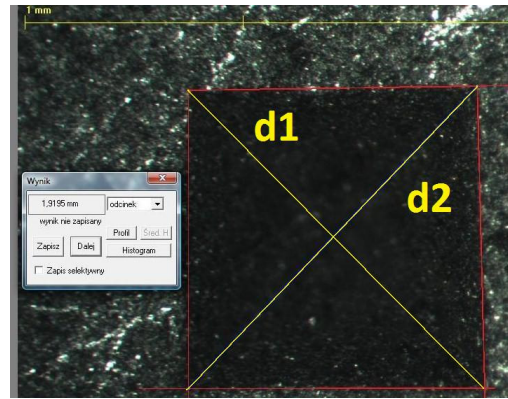
Rys. 6. Rowkowany jedynolity pierścien prowadzący (a) stosowany w badaniach (od 1 do 6 – położenie odcisków bazowych Vickersa) i rozmieszczenie docieranych elementów miedzianych w separatorze (b)

Pomiary przekątnych odcisków wykonano przy użyciu mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ-2T (zakres regulacji powiększenia roboczego 1 - 6,3 razy) – rys. 7.



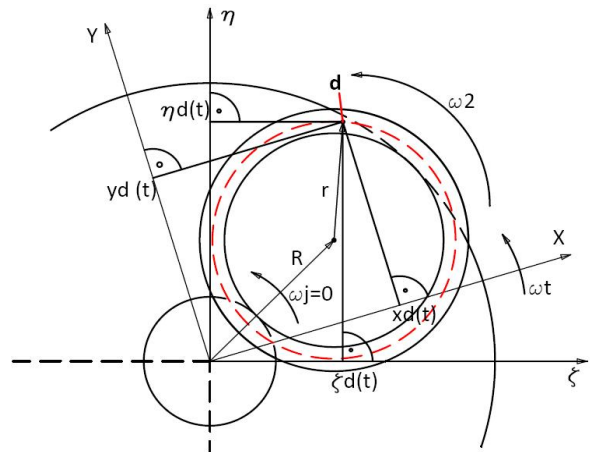
Rys. 7. Widok stanowiska do pomiarów zużycia pierścieni prowadzących

Wykorzystano też kamerę cyfrową HDCE-50B (z matrycą o rozdzielczości 5 MPix), zaś obraz wczytywany jest przez złącze USB do komputera z oprogramowaniem Scopelmage i DynamicPro. W badaniach stosowano oświetlenie halogenowe miejsca pomiaru (oświetlacz PRECOPTIC CO., żarówka o mocy 100 W). W pracach użyto również oprogramowanie MultiScan oraz MathCAD i Excel. Przykładowy widok ekranu z odciskiem Vickersa pokazano na rys.8.



Rys. 8. Pomiar przekątnych d1 i d2 odcisku Vickersa na powierzchni roboczej pierścienia prowadzącego przy użyciu oprogramowania MultiScan

Przed eksperymentami wykonano obliczenia wartości prędkości względnej w układzie tarcza docierająca - pierścien prowadzący, wykorzystując schemat podany na rys. 9.



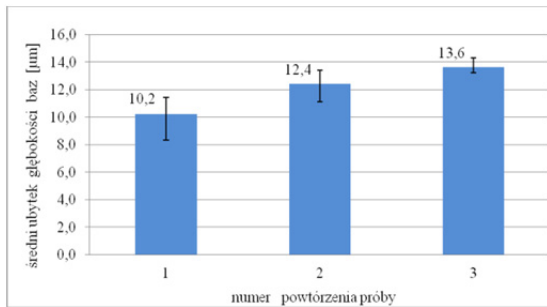
Rys. 9. Schemat układu kinematycznego docierarki ABRALAP 380

Wartości prędkości względnej wyznaczono ze wzoru:

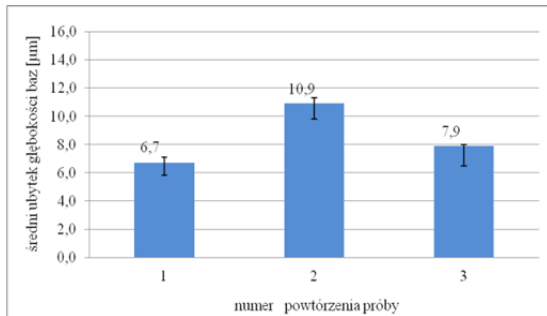
$$V_d(t) = \omega_w [R^2 + r^2 k^2 + 2Rrk \cos(\omega_j - \omega_2)t]^{1/2} \quad (1)$$

gdzie:  $v_d$  – prędkość docierania na promieniu średnim  $r$  pierścienia prowadzącego;  $\omega_w$  – prędkość kątową względną,  $\omega_w = -\omega_1$ ;  $\omega_1$  – prędkość kątową wyobraźalnego jarzma w układzie kinematycznym, w docierarce jednotarczowej  $\omega_1 = 0$ ;  $\omega_2$  – prędkość kątową pierścienia prowadzącego,  $\omega_1$  – prędkość kątową tarczy docierającej;  $R$  – odległość środka tarczy docierającej od środka pierścienia prowadzącego,  $R = 117$  mm;  $r$  – położenie sztucznych baz na powierzchni roboczej pierścienia prowadzącego,  $r = 81,25$  mm; przy czym  $k = -(\omega_2 - \omega_1)/\omega_1$ .

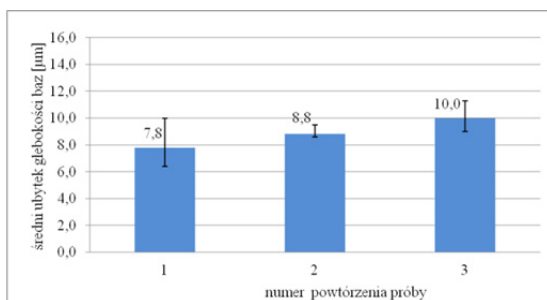
Na rys. 10-14 zamieszczono wybrane wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących dla trzech powtórzeń próby (podczas wyrównywania tarczy docierającej) zaś na rys. 15 wyniki pomiarów zużycia pierścieni w przypadku docierania czterech miedzianych elementów (miedź beztlenowa MOOB o twardości 33 HB) o średnicy 44,5 mm i wysokości 12,4 mm (masa 165 g) – jak na rys.7b, obciążanych przez podkładkę filcową podczas obróbki krążkiem dociskowym o masie 3330 g.



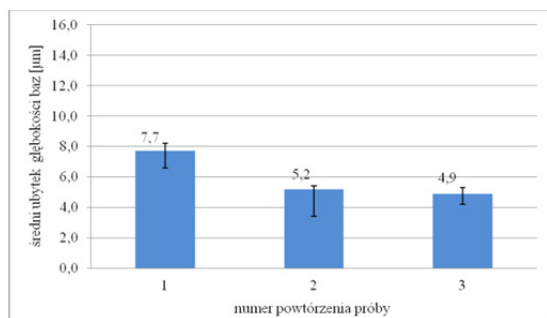
Rys. 10. Wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących w doświadczeniu 1, próba I (mikroziarnami 95A F1000,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,77$  rad/s,  $v_d = 7,69$  m/min)



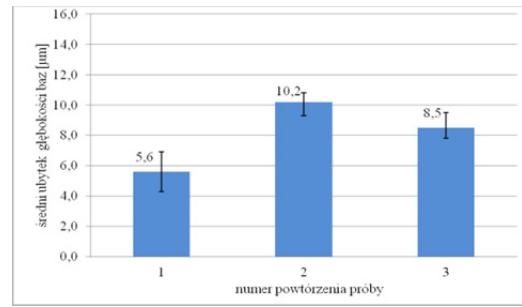
Rys. 11. Wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących w doświadczeniu 1, próba II (mikroziarnami 95A F320,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,94$  rad/s,  $v_d = 7,31$  m/min)



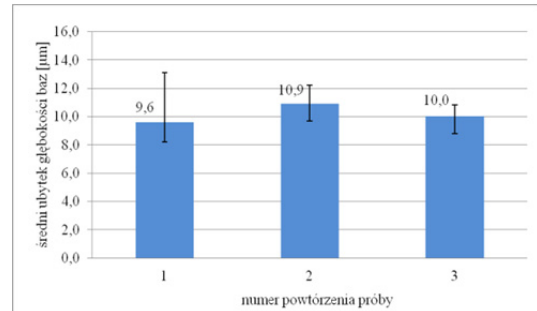
Rys. 12. Wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących w doświadczeniu 2, próba I (mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,58$  rad/s,  $v_d = 7,24$  m/min)



Rys. 13. Wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących w doświadczeniu 2, próba II (mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 2,51$  rad/s,  $\omega_2 = 2,27$  rad/s,  $v_d = 2,86$  m/min)



Rys. 14. Wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących w doświadczeniu 2, próba III (mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 4,40$  rad/s,  $\omega_2 = 4,01$  rad/s,  $v_d = 5,07$  m/min)



Rys. 15. Wyniki badań zużycia pierścieni prowadzących w doświadczeniu 3 (mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,87$  rad/s,  $v_d = 7,66$  m/min)

Wyznaczony błąd pomiaru głębokości sztucznej bazy Vickersa wynosił max 5,1 % (wynikający z ustawienia powiększenia w mikroskopie stereoskopowym).

W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczyć można średni czas eksploatacji poszczególnych pierścieni prowadzących, który przykładowo wynosi: 1068 h (dla obróbki mikroziarnami 95A F1000,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,77$  rad/s,  $v_d = 7,69$  m/min), 1516 h (obróbka mikroziarnami 95A F320,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,94$  rad/s,  $v_d = 7,31$  m/min), 1454 h (docieranie mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 6,28$  rad/s,  $\omega_2 = 5,58$  rad/s,  $v_d = 7,24$  m/min), 2172 h (obróbka mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 2,51$  rad/s,  $\omega_2 = 2,27$  rad/s,  $v_d = 2,86$  m/min) i 1591 h (docieranie mikroziarnami 95A F600,  $\omega_1 = 4,40$  rad/s,  $\omega_2 = 4,01$  rad/s,  $v_d = 5,07$  m/min). W przypadku rozmieszczenia docieranych elementów w separatorze prognozowany czas eksploatacji pierścieni prowadzących skrócił się z 1454 do 1268 h.

Stosując metodę sztucznych baz do oceny intensywności zużycia należy mieć na uwadze konieczność odnawiania odcisków (wykonanie kolejnych w pobliżu zanikających). Jak wynika z przeprowadzonych eksperymentów czas ten wynosi: 4 h 9 min (doświadczenie 1, próba I), 5 h 53 min (doświadczenie 1, próba II), 5 h 40 min (doświadczenie 2, próba I), 8 h 26 min (doświadczenie 2, próba II), 6 h 10 min (doświadczenie 2, próba III) i 4 h 55 min (doświadczenie 3). W wyniku przeprowadzonych analiz można określić średnią głębokość wykonanych baz (39 µm), od której pojawiają się zniekształcenia odcisku. Na stan ten wpływa nie tylko struktura materiału pierścienia (żeliwa), ale i stopień zużycia wierzchołka piramidy Vickersa.

### Podsumowanie

Wykorzystanie metody sztucznych baz Vickersa w badaniach żeliwnych pierścieni prowadzących docierarki jednotarczowej umożliwiło wyznaczenie prognozowanego czasu ich eksploatacji dla przyjętych warunków obróbkowych.

Na błędy pomiarowe mają wpływ czynniki związane m.in. z jakością kształtu piramidy Vickersa i sam proces wykonania odcisków, jak i zmienność mikrotwardości materiału pierścieni (gatunek i jakość żeliwa [4]) oraz zastosowane oświetlenie (przez okular mikroskopu). Ten sposób oświetlenia podczas pomiarów pozwala na bardziej wyraźne uwidocznienie krawędzi zarysu odcisku (sztucznej bazy) i lokalizację naroży. Jest to istotny wniosek praktyczny.

Jak wykazały przeprowadzone badania, zwiększenie prędkości obrotowej tarczy docierającej z 24 do 60 min<sup>-1</sup>, spowodowało zwiększenie intensywności zużycia pierścieni prowadzących z 198 do 296 nm/min, czyli o 49 %. W przypadku wypełnienia separatorów przedmiotami obrabianymi nastąpił 13 % wzrost zużycia pierścieni. Obecność względnie dużych wydzieliń grafitu w żelwie może spowodować zwiększenie błędów pomiarowych wskutek wykruszania się krawędzi odcisków.

Podstawowym celem pracy, jak to sformułowano we wstępie, było wyznaczenie przeciętnego okresu użytkowania pierścieni prowadzących docierarki jednotarczowej oraz określenie możliwości i warunków zastosowania w tym zadaniu metody badawczej wykorzystującej sztuczne bazy Vickersa.

#### LITERATURA

1. Barylski A., Docierarki do płaszczyzn. Cz.II. Docieraki jednotarczowe. *Mechanik*, 1-2, 5-12, 1990.
2. Barylski A., Feld M., Engel H., Ardelt Th., Verfahrensvergleich Läppen-Läppscheifen. w: *Werkstattstechnik*, 5, 228-230, 1999.
3. Barylski A., Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2013.
4. Barylski A., Serbiński W., Dobór materiału pierścieni prowadzących docierarki jednotarczowej w procesie obróbki wykańczającej stali. *Zesz. Nauk. P. Rzesz.*, 67, *Mechanika*, 21, 137-143, 1990.
5. Czornij N., Badania zużycia pierścieni prowadzących w układzie kinematycznym docierarki jednotarczowej. Pr. dypl., prowadz. przez A. Barylski, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra TMiAP, Gdańsk, 2013.
6. <http://www.engis.com> [dostęp 15 marzec 2013].
7. <http://www.ioke.de> [dostęp 20 kwietnia 2013].
8. <http://www.kemet.co.uk> [dostęp 20 kwietnia 2013].
9. <http://www.lamplan.co.uk> (dostęp 20 maja 2014).
10. Marinescu I.D., Uhlmann E., Doi T.K., *Handbook of lapping and polishing*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca raton, London, New York, 2007.
11. Materiały firmy GMT Ltd, 2013.
12. Materiały firmy Peter Wolters, 2013.
13. Spur G., *Keramikbearbeitung. Schleifen, Honen, Läppen, Abtragen*. Carl Hanser Verlag, Munchen-Wien, 1989.