

*docieranie, powierzchnia płaska,
narzędzia modułowe,
mikroszlifowanie*

Adam BARYLSKI¹

NOWE NARZĘDZIA TARCZOWE DO OBRÓBKI POWIERZCHNI PŁASKICH NA DOCIERARKACH

Przedstawiono nowe konstrukcje tarczowych narzędzi jednolitych i składanych do obróbki powierzchni płaskich na docierarkach jedno- i dwutarczowych. Szlifowanie z kinematyką docierania to jedna z tendencji rozwoju obróbki bardzo dokładnej powierzchni płaskich i płasko-równoległych. Podano przykłady regulacji wkładek ściernych w narzędziach modułowych oraz porównano proces docierania standardowego z mikroszlifowaniem.

1. WPROWADZENIE

Współcześnie, docieranie zaliczane jest do podstawowych metod obróbki bardzo dokładnej. W stosunku do docierania nie można w zasadzie mówić o ograniczeniach w ostatecznym kształtowaniu elementów maszyn i narzędzi. Docierane są zarówno materiały miękkie, jak i w stanie twardym – metalowe i niemetalowe, a ostatnio coraz częściej ceramika i kryształy techniczne [9]. Wielokierunkowość śladów mikroziaren na powierzchni obrabianej, niska temperatura procesu, stosunkowo małe naciski jednostkowe i małe prędkości względne w układzie roboczym ułatwiają uzyskanie żądanych właściwości technologicznej warstwy wierzchniej, przy czym decydujące znaczenie ma tu jakość kształtowanej powierzchni [7].

Oprócz standardowego docierania docierakami metalowymi (najczęściej żeliwnymi), aktywowanymi w sposób swobodny, gdzie zawiesina ścierna podawana jest kroplowo w trakcie procesu lub наносzona na powierzchnię czynną docieraka w postaci pasty przed samym docieraniem, rozwijana jest obróbka narzędziami zbrojonymi (aktywowanymi w sposób wymuszony), gdzie mikroziarna ścierniwa wgniatane są w powierzchnię docieraka metalowego przed właściwym docieraniem [7]. Obok narzędzi jednolitych stosowane są konstrukcje dwumetalowe, zwykle żeliwno-miedziane. Również i w tym przypadku występuje dawkowanie środka docierającego, zaś docieranie będzie przebiegało prawidłowo, gdy w strefie obróbki mikroziarna ścierna rozmieszczone są jednowarstwowo. Zwykle w praktyce produkcyjnej dozowanie ścierniwa jest zbyt obfite. Część mikroziaren

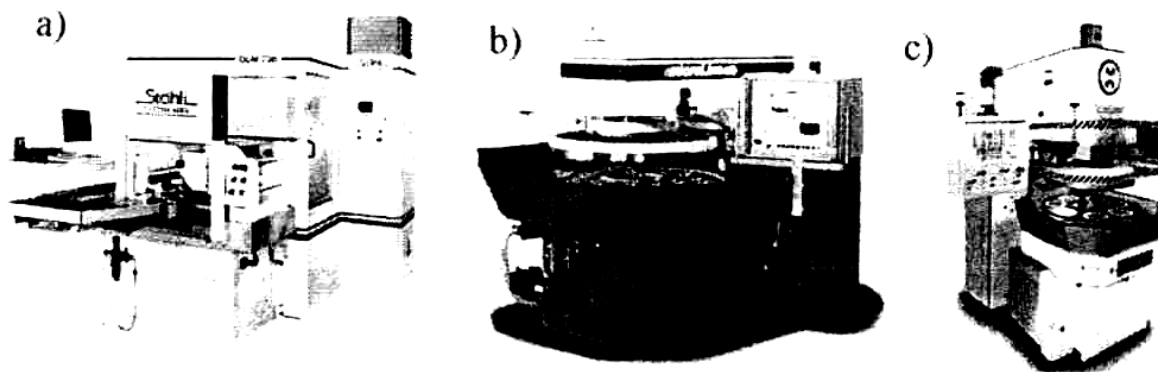
¹ Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji,
E-mail: abarylsk@pg.gda.pl

zostaje bardzo szybko usunięta z powierzchni docieraka przez poruszające się przedmioty i separatory (pierścienie prowadzące) i nie bierze w ogóle udziału w skrawaniu. Powtórne wykorzystanie mikroziaren ściernych odzyskanych z produktów docierania jest zwykle ekonomicznie nieuzasadnione. Tylko w Niemczech rocznie powstaje od 5. do 10 tys. ton odpadów – będących produktami docierania (w tym zużyta zawiesina ścierna) [10].

Mając na względzie uwarunkowania docierania konwencjonalnego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej podjęto próbę opracowania konstrukcji narzędzi specjalnych, nazwanych jako ścierno-metalowe [4],[5],[6]. Propozycja ta wychodzi naprzeciw obecnym tendencjom rozwoju obróbki wykańczającej i bardzo dokładnej powierzchni płaskich i płasko-równoległych, zwanej mikroszlifowaniem (gładzeniem, docieraniem ścierniwem wiązonym lub obróbką ściernicami) z kinematyką docierania na docierarkach jedno-i dwutarczowych [1],[2],[3],[8],[12],[13],[14],[15],[24-31].

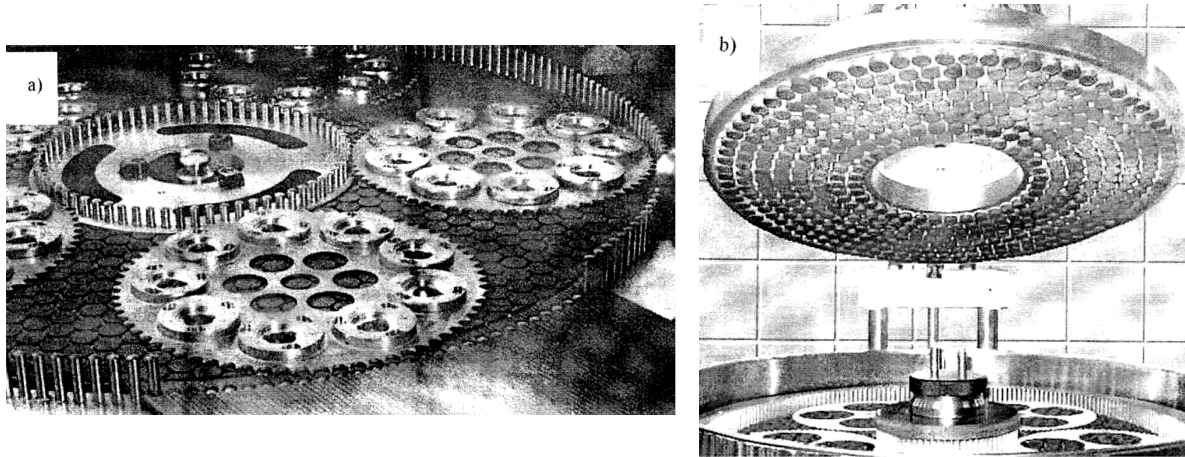
2. PRZYKŁADY KONSTRUKCJI NARZĘDZI

Obecnie wiele firm proponuje technologie obróbki (mikroszlifowania) powierzchni płaskich z kinematyką docierania. Wymienić tu można między innymi: Engis, Speedfam, Mitsunaga, Peter Wolters, PR Hoffmann, Hamai, Hahn & Kolb, Spitfire, Lapmaster, Stähli, Fujikoski i Dae Chang. Oprócz narzędzi jednolitych i składanych (tabletkowych) konstruuje się też obrabiarki przystosowane do wyższych prędkości skrawania [18-23]. Na rys. 1. przedstawiono przykłady docierarek dwutarczowych znanych firm światowych, zaś na rys. 2 standardowy układ kinematyczny do obróbki elementów płasko-równoległych.



Rys. 1. Obrabiarki (docierarki) dwutarczowe do szlifowania, firmy: a) Stähli, b) Peter Wolters, c) Melchiorre [21],[24]
Fig. 1. Two-disk lapping machines to grinding, produced by : a) Stähli, b) Peter Wolters, c) Melchiorre [21],[24]

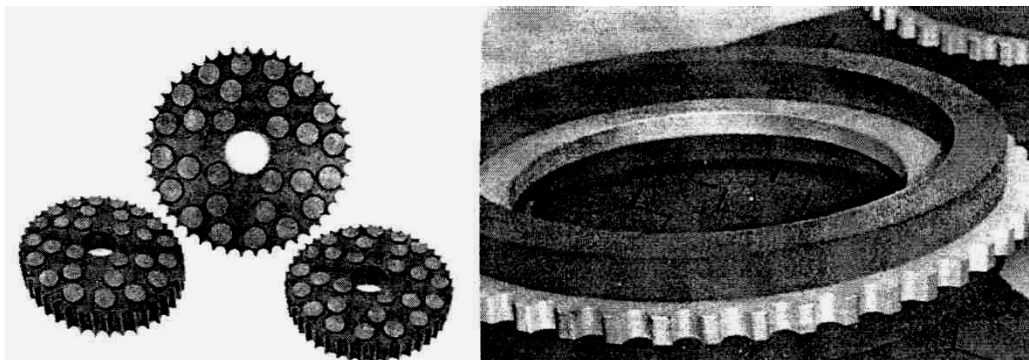
Przykładowo, dwutarczowe centrum szlifierskie typu AC700-H7 prezentowane na kilku wystawach światowych przez firmę Peter Wolters, podobnie jak w przypadku zautomatyzowanego centrum szlifierskiego typoszeregu AC ze zintegrowanym systemem, umożliwia szlifowanie na docierarkach typu FE700R (łącznie z usuwaniem zadziorów i zaokrągleniem krawędzi) [25].



Rys. 2. Układ kinematyczny docierania dwutarczowego: a) z tabletkowymi narzędziami z CBN firmy Diamant-Werkzeuge Hameln GmbH [16], b) obrabiarka firmy PR Hoffmann [22]

Fig. 2. Kinematic system to two-disk lapping: a) with pellet tools made from CBN, made by Diamant-Werkzeuge Hameln GmbH [16], b) machine tool made by PR Hoffmann [22]

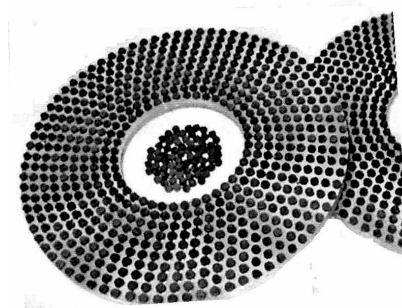
Elementy obrabiane na docierarkach dwutarczowych rozmieszczane są w separatorach, o konstrukcji zależnej od wielkości przedmiotów (rys. 3).



Rys. 3. Przykłady konstrukcji separatorów do obróbki dwutarczowej [16]

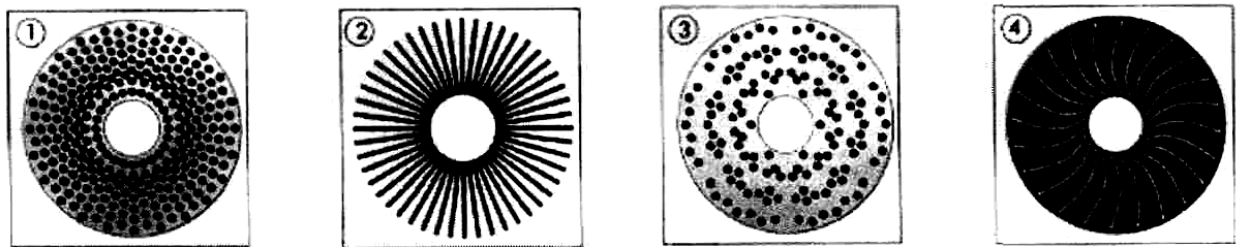
Fig. 3. Examples of separator constructions to two-disk machining [16]

Sposób rozmieszczenia tabletek ściernych na powierzchni czynnej może być różny, podobnie jak i konstrukcja narzędzi jednolitych (rys. 4 i 5).



Rys. 4. Konstrukcja tabletkowych narzędzi klejonych [18]

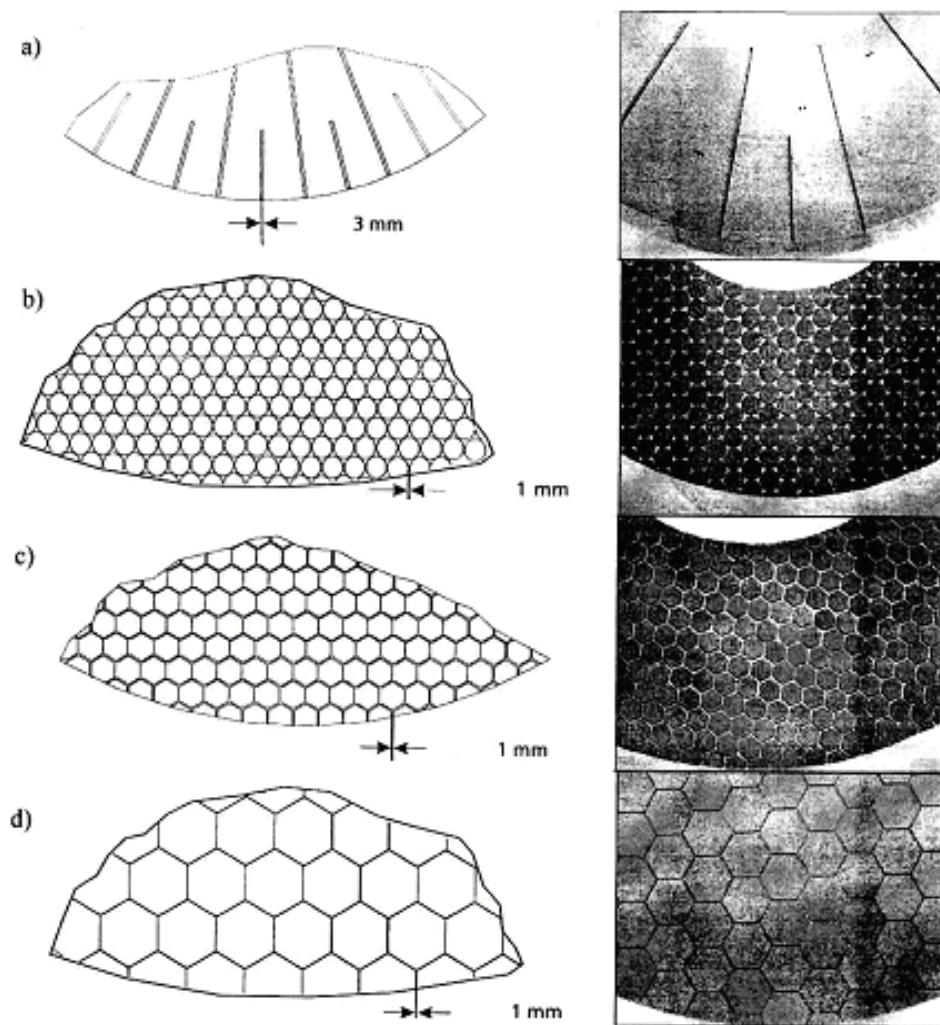
Fig. 4. Construction of adhesive pellet tools [18]



Rys. 5. Warianty konstrukcji narzędzi diamentowych:

1 do 3 – z zastosowaniem tabletek ściernych, 2 do 4 – o budowie jednolitej [17]

Fig. 5. Alternatives of diamond tool constructions: 1 to 3 – with abrasive pellets, 2 to 4 – with uniform design [17]

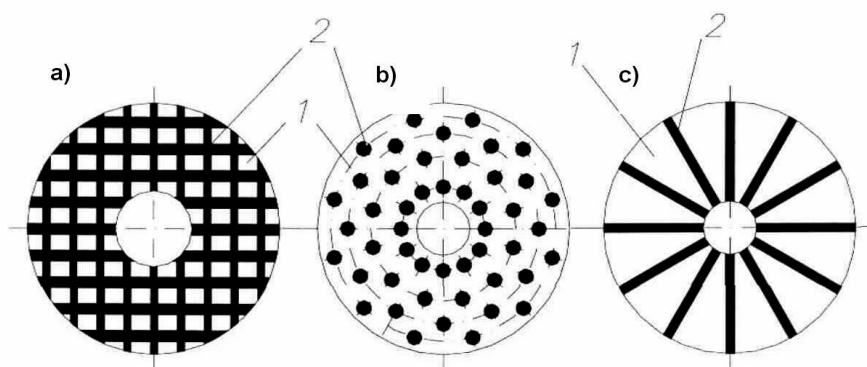


Rys. 6. Przykłady budowy narzędzi diamentowych i z CBN (wielkość ziarna 181-46 lub mikroziarna B40-B8) firmy Diamant-Werkzeuge Hameln GmbH (o średnicy 400-1200mm): a) segmentowe, b) tabletki kołowe (rozmieszczenie typu S), c) tabletki heksagonalne (rozmieszczenie typu S), d) tabletki heksagonalne (rozmieszczenie typu L)

Fig. 6. Examples of diamond and CBN tool constructions (where micrograin's size is 181-46 or B40-B8) made by Diamant-Werkzeuge Hameln GmbH (where diameter equals 400-1200mm): a) segment, b) circular pellets (deployment of type S), c) hexagonal pellets (deployment of type S), d) hexagonal pellets (deployment of type L)

Bardzo interesującą z praktycznego punktu widzenia jest propozycja korekcji zużycia kształtowego narzędzia w czasie obróbki przez odpowiednie niesymetryczne rozmieszczenie tabletek diamentowych. Znane są też inne rozwiązania. Przykładowo, firma Diamant-Werkzeuge Hameln GmbH proponuje kilka interesujących odmian budowy i sposobów rozmieszczenia wkładek (rys.6). Dla przykładu, obrabiając elementy o średnicy 14mm i grubości 2,7mm ze stali 100Cr6 (62HRC) narzędziami segmentowymi z CBN (naddatek 0,06mm) uzyskano błędy: równoległości powierzchni $1\mu\text{m}$, płaskości powierzchni $0,8\mu\text{m}$ i chropowatości $R_z = 0,5\mu\text{m}$ oraz zmniejszono czas obróbki partii (100 elementów) z 7,43min. (docieranie) na 3,02min. (mikroszlifowanie), obniżając koszty technologiczne o 84% [16].

Dotychczas w Katedrze Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji PG wykonano kilka wersji prototypowych narzędzi ścierno-metalowych, różniących się kształtem i wymiarami oraz materiałem wkładek ściernych i sposobem ich połączenia z metalowym korpusem (rys. 7).



Rys. 7. Sposoby rozmieszczenia wkładek ściernych narzędzi tarczowych: a) wkładki prostopadłościennie rozmieszczone w kierunkach wzajemnie prostopadłych, b) tabletki kołowe, c) wkładki rozmieszczone promieniowo (1- część żeliwna, 2- wkładki ścierne) [4]

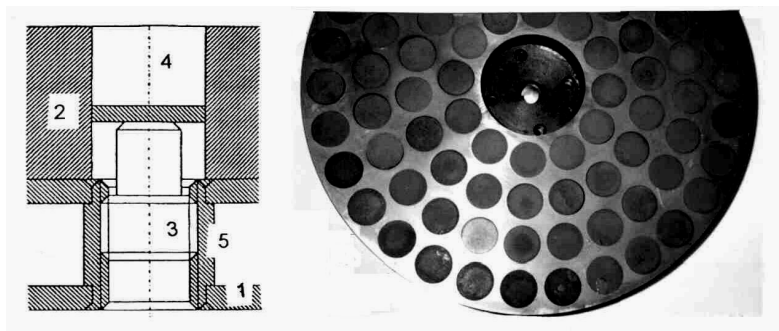
Fig. 7. Ways of deployment of abrasive insertions of lapping tools: a) rectangular insertions deployed in orthogonal directions, b) circular pellets, c) radial deployed insertions (1- cast iron part, 2-abrasive insertions) [4]

Opracowano też konstrukcje z tabletkami kołowymi, różniące się sposobem regulacji wysunięcia wkładek ściernych ponad powierzchnię czołową tarczy. Narzędzia te mają średnicę zewnętrzną: 380mm, średnicę wewnętrzną: 90mm, wysokość: 38-90mm, wkładki ścierne o średnicy 28 i wysokości 20mm i minimalną koncentrację powierzchniową: 50% (minimalny odstęp pomiędzy wkładkami: 5mm).

W I. wersji konstrukcyjnej (rys. 8) wysunięcie wkładek ściernych 4 w korpusie 2 umożliwiają śruby 3, wkręcane w tuleje 5 – usztywnione tarczą 1. Aby zmienić wysunięcie wkładek konieczna jest indywidualna regulacja każdej z nich, po odwróceniu narzędzia (o 180°).

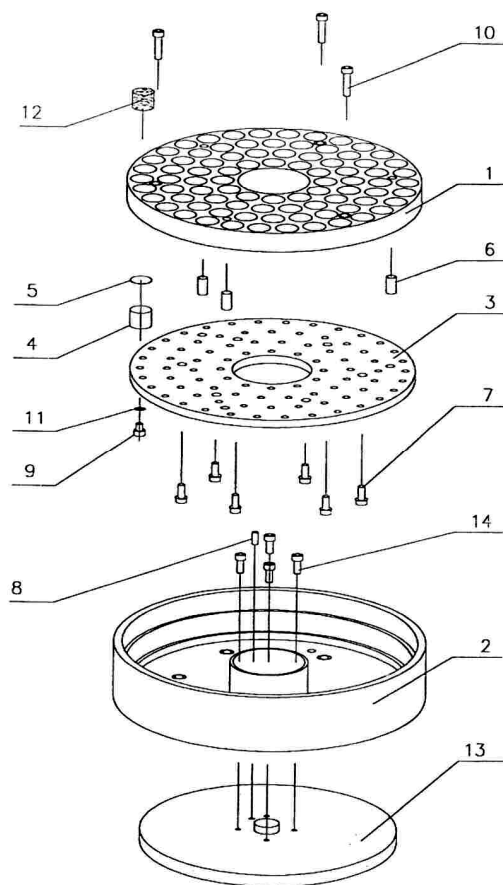
W wersji II. prototypu (rys. 9) montaż narzędzia przebiega w następującej kolejności: do płyty 3 zamocować należy 84 trzpienie 4 za pomocą śrub 9 i podkładek sprężystych 11. Następnie należy wcisnąć kołki prowadzące 6 w płytę górną 1, po czym złożyć korpus 2 z płytą dolną 3 i górną 1 oraz połączyć śrubami 10. Następnie należy wkręcić od dołu

korpusu 2 śruby regulacyjne 7. Dla ułatwienia demontażu narzędzia z docierarki jednotarczowej można wykorzystać wkręt 8. Od góry, w otwory płyty 1 umieścić należy podkładki 5 o średnicy 26mm oraz wkładki ściernie (84 szt.), po czym ustalić ich położenie śrubami regulacyjnymi 7 i zamocować narzędzie na docierarce 13 wkrętami 14.



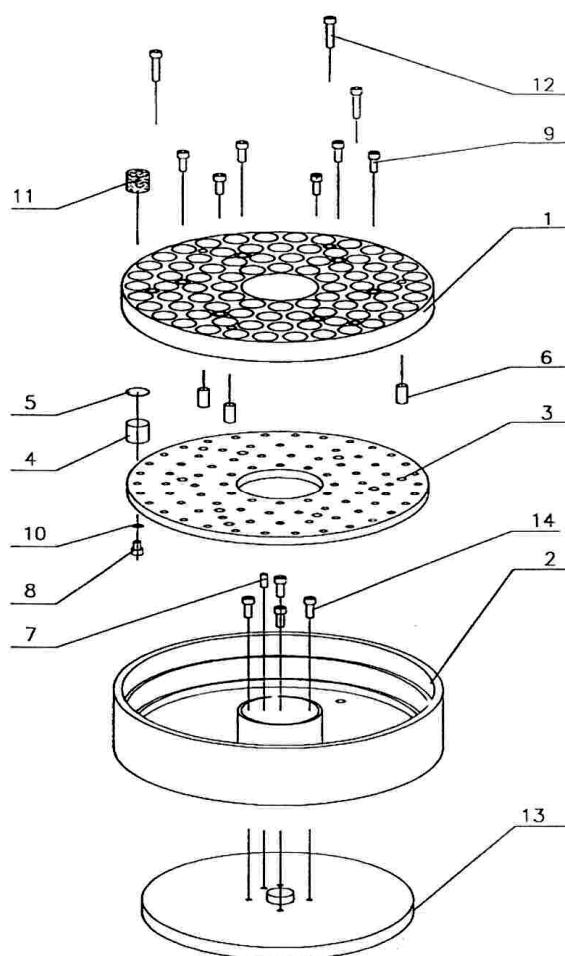
Rys. 8. Konstrukcja narzędzia – wersja I

Fig. 8. Tool design – the first version



Rys. 9. Konstrukcja narzędzia – wersja II

Fig. 9. Tool design – second version



Rys. 10. Konstrukcja narzędzia – wersja III
 Fig. 10. Tool design – third version

Konstrukcja narzędzia III. (rys.10) różni się od dwóch poprzednich tym, że regulacja wkładek odbywa się od góry narzędzia, bez konieczności zdejmowania z obrabiarki. W tym celu należy wkręcić sześć śrub regulacyjnych 9. W omawianym rozwiązaniu, do płyty dolnej 3 przykręcone są śrubami 8 trzpienie 4, przez podkładkę 10. Następnie w płytę górną 1 należy wcisnąć kołki 6, po czym złożyć płyty 1 i 2 oraz skręcić śrubami 12 i wprowadzić śruby regulacyjne 9. Kolejno, płyty 1 i 3 osadzić w korpusie 2, po czym ustalić go na czopie środkowym i zamocować śrubami 13. Dla ułatwienia demontażu narzędzia z docierarki należy wykorzystać wkręt 7.

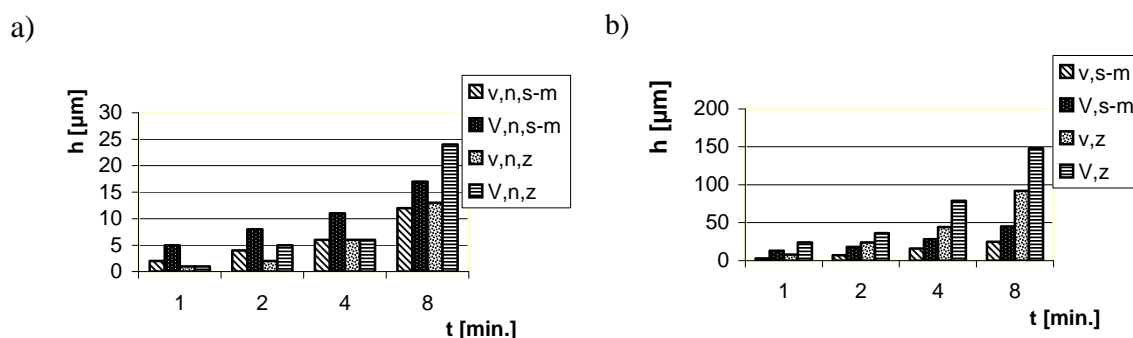
3. WYNIKI BADAŃ

W przeprowadzonych badaniach zastosowano opracowane narzędzie ścierno-metalowe (rys.7b), którego konstrukcja oparta jest na tym, iż w metalowym korpusie, o średnicy

zewnętrznej 380 mm, rozmieszczone są równomiernie na powierzchni czynnej kołowe wkładki (tabletki) ściernie. Korpus narzędzia wykonany jest z żeliwa ZI250 na osnowie ferrytyczno-perlitycznej o twardości 188-194HB. Tabletki ściernie o średnicy 40mm wytworzono mieszając mikroziarna węglika boru BC F400/17 i miedzi elektrolitycznej z żywica epoksydową. Po sprasowaniu wymieszanych składników, wygrzewano półwyrob w temperaturze 520 K przez 12 godzin, chłodząc następnie razem z piecem [4],[5].

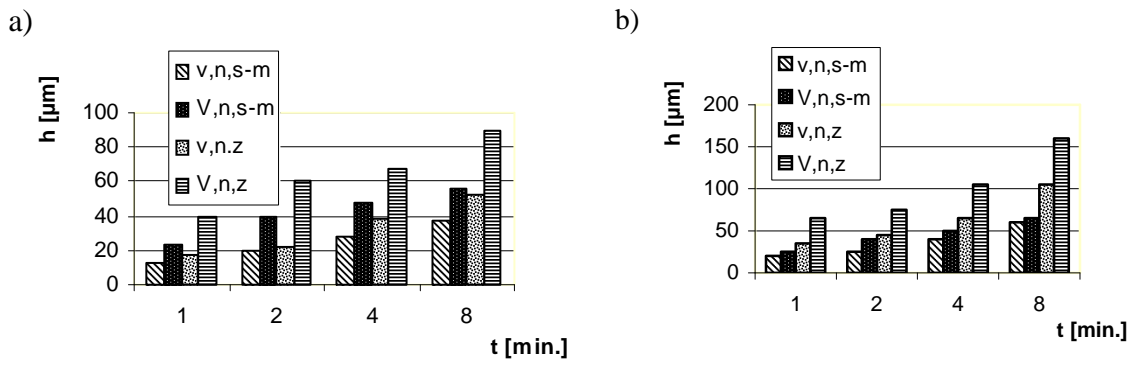
Badania przeprowadzono na docierarce jednotarczowej ABRALAP 380 o standardowym pierścieniowym układzie wykonawczym. Przedmioty obrabiane umieszczone są w separatorze poruszającym się z prędkością kątową ω_2 , zaś narzędzie obraca się z prędkością ω_t . W tym układzie kinematycznym prędkość wyobraźalnego jarzma ω_j równa się zero. Analizę prędkości docierania wykonano dla $r = 0,18m$ i $R = 0,134m$, gdzie: r - odległość środka obrabianego przedmiotu od środka separatora, zaś R - położenie środka separatora względem środka tarczy docierającej. W istniejącym stanowisku badawczym istnieje możliwość pomiaru prędkości obrotowej narzędzia i niezależnie każdego z trzech pierścieni prowadzących separator.

Wykonane eksperymenty obejmowały analizę podstawowych parametrów chropowatości powierzchni i ubytek liniowy elementów obrabianych. Docierano drobne przedmioty z ceramiki technicznej (elementy uszczelniające) i węgliki spiekane (wkładki narzędziowe). Warunki zmienne prób to: prędkość docierania, nacisk jednostkowy i czas obróbki. Zakresy zmienności tych parametrów określono na podstawie badań wstępnych. Wykonano także badania porównawcze, stosując docierak żeliwny i dawkowanie zawiesiny mikroziaren węglika boru z naftą (45% - objętościowo) i oleju maszynowego (45%). Eksperymenty prowadzono dla $n=4$ lub $N=10$ próbek jednocześnie, umieszczonych w separatorze. Podczas docierania narzędziami ścierno-metalowymi dawkowano kroplowo płyn LMKT (firmy United States Products Co., Pittsburgh), charakteryzujący się korzystnymi właściwościami ekologicznymi. Na rys. 11-13 zamieszczono przykładowe wyniki badań ubytku liniowego próbek, zaś na rys. 14 i 15 wyniki pomiarów chropowatości powierzchni obrabianych elementów. Na rysunkach tych oznaczono: „z” - docierak żeliwny i zawiesina BC F600/9, „s-m” - narzędzie ścierno-metalowe.

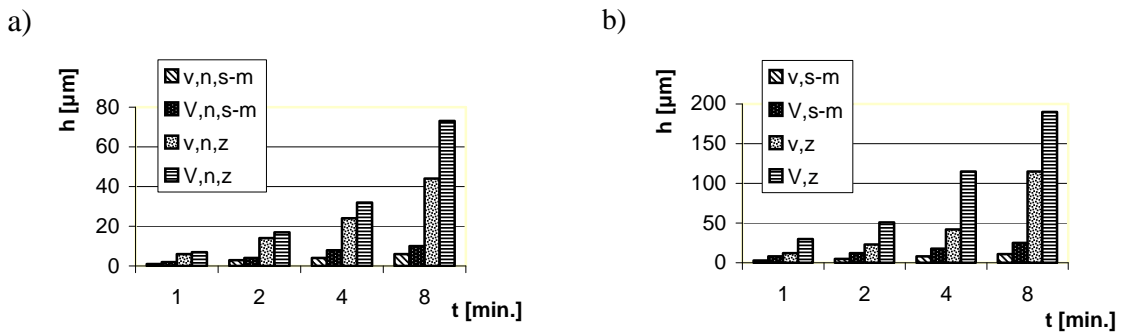


Rys. 11. Ubytek liniowy elementów ceramicznych z Al_2O_3 (97-98%): a) $p=0,01MPa$, b) $p=0,09MPa$ ($n=4$, prędkość $v=18,2m/min$, $V=40,7m/min$)

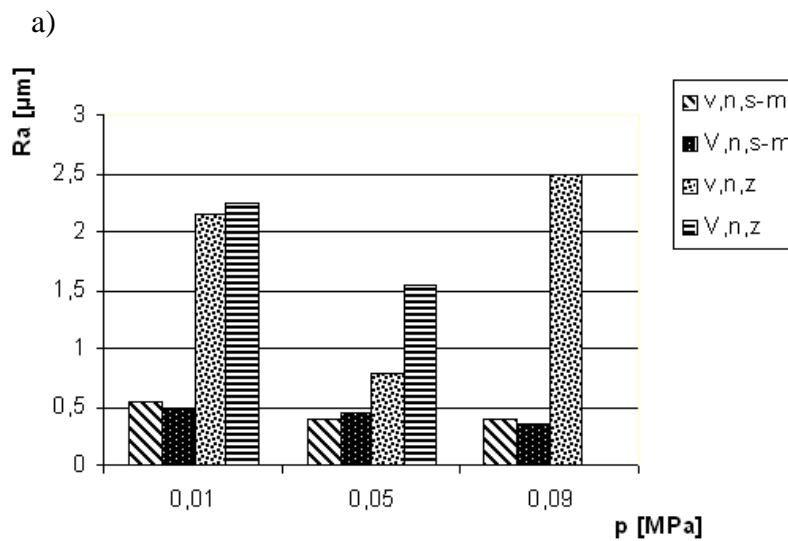
Fig. 11. Attrition of Al_2O_3 (97-98%) ceramic parts: a) $p=0.01MPa$, b) $p=0.09MPa$ ($n=4$, $v=18.2m/min$, $V=40.7m/min$)

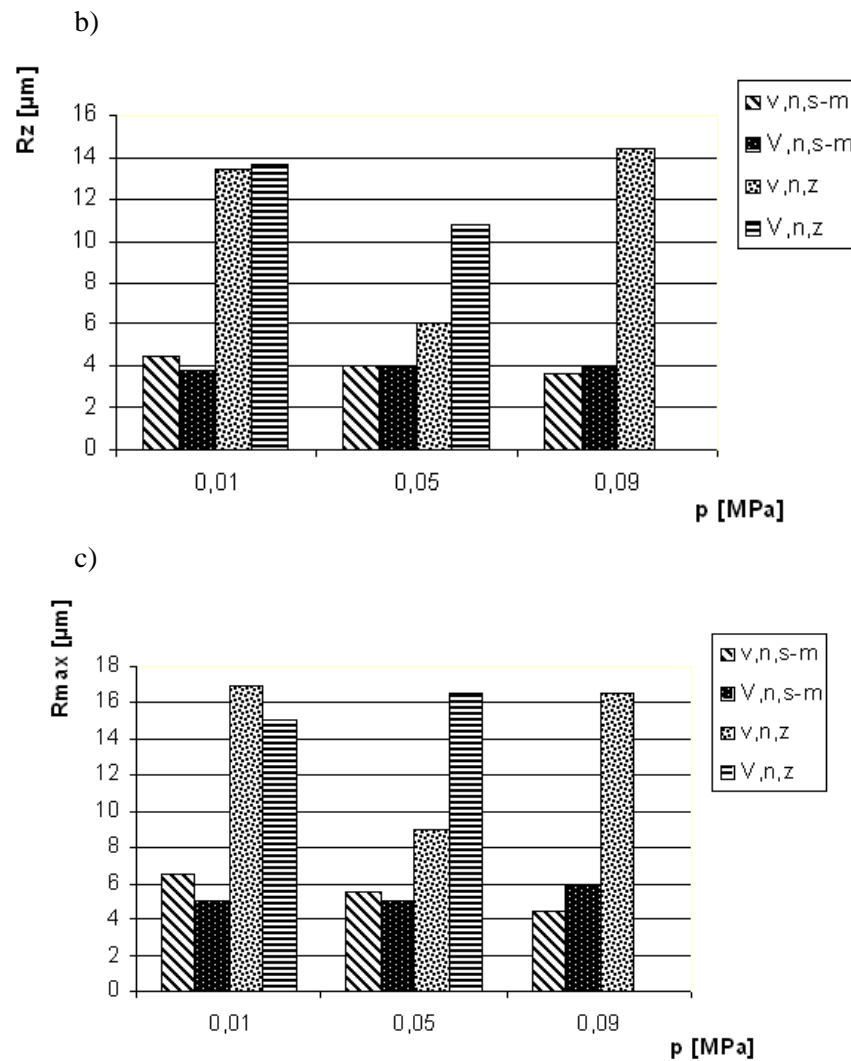


Rys. 12. Ubytek liniowy elementów ceramicznych z Al₂O₃ (95%):
 a) p=0,01MPa, b) p=0,05MPa (n=4, v=18,2m/min, V=40,7m/min)
 Fig. 12. Attrition of Al₂O₃ (95%) ceramic parts: a) p=0.01MPa, b) p=0.05MPa
 (n=4, v=18.2m/min, V=40.7m/min)

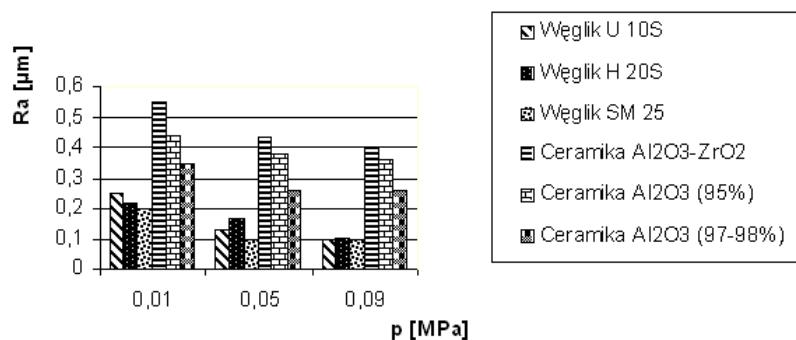


Rys. 13. Ubytek liniowy elementów ceramicznych z Al₂O₃-ZrO₂:
 a) p=0,01MPa, b) p=0,09MPa (n=4, v=18,2m/min, V=40,7m/min)
 Fig. 13. Attrition of Al₂O₃ - ZrO₂ ceramic parts: a) p=0.01MPa, b) p=0.05MPa
 (n=4, v=18.2m/min, V=40.7m/min)





Rys. 14. Chropowatości powierzchni ceramiki Al₂O₃-ZrO₂: a) Ra, b) Rz, c) Rmax (n=4, v=18,2m/min, V=40,7m/min)
 Fig. 14. Surface roughness of Al₂O₃-ZrO₂ ceramic parts: a) Ra, b) Rz, c) Rmax (n=4, v=18.2m/min, V=40.7m/min)



Rys. 15. Chropowatości powierzchni elementów z węglików spiekanych i ceramiki Al₂O₃-ZrO₂ (docierak ścierno-metalowy, V=40,7m/min, n=4, t=8min)
 Fig. 15. Surface roughness of sintered carbides and Al₂O₃-ZrO₂ ceramic parts (abrasive-metallic tools, V=40.7m/min, n=4, t=8min)

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, iż przy zastosowaniu docieraka specjalnego (ścierno-metalowego) uzyskano zmniejszoną wydajność procesu, niezależnie od tego jaką obrabiano ceramikę. Badania potwierdziły wpływ twardości ceramiki i nacisku jednostkowego na ubytek próbek. Zmniejszając prędkość docierania z 40,7 na 18,2m/min uzyskano ok. 30% zmniejszenie wydajności procesu. Jednocześnie, obróbka narzędziem ścierno-metalowym poprawiła znacznie jakość powierzchni. Zwiększenie liczby elementów docieranych jednocześnie, przy $p=0,01\text{MPa}$, a tym samym zmniejszenie stosunku sumarycznego pola powierzchni docieranej do pola powierzchni czynnej narzędzia, spowodowało zmniejszenie chropowatości docieranych powierzchni.

Analizując wyniki tradycyjnego docierania zawieszoną ścierną można zauważyć, że dla uzyskania poprawy jakości powierzchni, przy stosowaniu dużych ziaren, konieczne jest również zwiększenie nacisku jednostkowego. Zastosowanie większych ziaren, przy stałym udziale objętościowym ścierniwa w nośniku powoduje, iż ich koncentracja powierzchniowa maleje, a tym samym zwiększa się obciążenie pojedynczego ziarna przy stałym zewnętrznym nominalnym nacisku powierzchniowym. Wskutek tego zwiększa się prawdopodobieństwo wykruszenia i rozdrobnienia ścierniwa. Zmniejszenie prędkości docierania spowodowało zmniejszenie wydajności procesu, przy jednoczesnej poprawie jakości. Chcąc zmniejszyć chropowatość powierzchni należy, przy niewielkich wartościach powierzchniowego nacisku jednostkowego, zwiększyć liczbę przedmiotów obrabianych jednocześnie i możliwie w największym stopniu wypełnić separatory.

4. PODSUMOWANIE

Mikroszlifowanie powierzchni płaskich na docierarkach tarczowych wymaga spełnienia określonych warunków materiałowych, kinematycznych i technologicznych. W przypadku narzędzi jednolitych, mikroziarna ścierna powinny być równomiernie rozmieszczone w spoiwie. Dla ściernic o dużych wymiarach (o średnicach od 700 do 2000mm) jest to wymóg technologicznie bardzo trudny do spełnienia.

Porównując pracę mikroziaren ściernych w docieraniu konwencjonalnym i mikroszlifowaniu można dostrzec wyraźne różnice. W docieraniu, ziarno podawane kropłowo w zawieszinie lub w postaci pasty, obtacza się między docierakiem a powierzchnią obrabianą i znajduje chwilowe utwierdzenie w docieraku. Tylko w tych momentach pracuje ono analogicznie jak ziarno utwierdzone w procesie mikroszlifowania ściernicą. Kierunki głównego oddziaływania ziarna na materiał obrabiany w obu przypadkach nieco się różnią. W procesie docierania jest on zwykle prostopadły do powierzchni obrabianej, zaś w procesie mikroszlifowania jest to kierunek równoległy. Dla zaistnienia procesu skrawania, dla powstania wióra w procesie docierania musi nastąpić przekroczenie wytrzymałości na ściskanie materiału, zaś w procesie mikroszlifowania wytrzymałości na ścinanie.

Praca mikroziaren ściernych ma też wpływ na wygląd powierzchni. Po docieraniu topografia powierzchni jest kraterowa, w procesie mikroszlifowania zaś na powierzchni powstają zagłębienia w postaci rys z wypływkami materiału. Po procesie docierania uzyskuje się powierzchnię matową o odpowiedniej chropowatości. Po mikroszlifowaniu

powierzchnia jest od matowo-błyszczącej do błyszczącej, z rysami bez wyraźnego kierunku [11].

W procesie docierania występuje bardzo silne zabrudzenie, nie tylko strefy skrawania, ale całego układu wykonawczego obrabiarki. Przy stosowaniu narzędzi monolitycznych zabrudzenie to wyraźnie zmniejsza się.

Zarówno w docieraniu jak i mikroszlifowaniu występuje hałas. Jego emisja jest mniejsza w procesie docierania, a większa w mikroszlifowaniu, głównie na skutek większych prędkości obrotowych ściernic w stosunku do prędkości obrotowych docieraków metalowych.

Automatyzacja załadunku i wyładunku przedmiotów ze strefy obróbkowej jest łatwiejsza w procesie mikroszlifowania, gdzie nie występuje nadmierne zabrudzenie i nie ma w związku z tym niebezpieczeństwa błędnej orientacji poszczególnych przedmiotów, co może mieć miejsce w przypadku zautomatyzowanego docierania. Nie można również zapominać o operacji mycia elementów po docieraniu, niekiedy bardzo czasochłonnego.

Ważną cechą w procesie docierania, obok dokładnego wymiaru i małej chropowatości powierzchni, jest możliwość uzyskania małego błędu płaskości powierzchni. Dokładność płaskości jest zależna głównie od płaskości powierzchni czynnej docieraka lub ściernicy. W przypadku docierania poprawienie jego płaskości uzyskuje się poprzez odpowiednie ustawienie pierścieni prowadzących lub zastosowanie korekcji kinematycznej w układzie wykonawczym docierarki. Można również przewidzieć przetoczenie narzędzia. W przypadku narzędzi ściernych jednolitych można jedynie mówić o możliwości zmiany trajektorii przedmiotów (korekcji kinematycznej płaskości narzędzia) lub zastosowaniu konstrukcji składanej ścierno-metalowej z tabletkami wysuwanymi indywidualnie.

LITERATURA

- [1] ARDEL T., 2001, *Belastung der Schleifscheiben beim Planschleifen mit Planetenkinematik*, IDR, 2, 116-124.
- [2] ARDEL T., 2000, *Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik*, Diss., TU Berlin.
- [3] ARDEL T., 2001, *Verfahrensvergleich Planschleifen mit Planetenkinematik-Planparallelläppen*, IDR, 3, 214-224.
- [4] BARYLSKI A., 1997, *Docierak płaski zwłaszcza do docierania wstępnego*, Patent PL, nr172327, opublik. WUP, nr9.
- [5] BARYLSKI A., 1997, *Docierak płaski zwłaszcza do docierania wykańczającego*, Patent PL, nr172330, opublik. WUP, nr9.
- [6] BARYLSKI A., FELD M., ENGEL H., ARDEL T., 1999, *Verfahrensvergleich Läppen-Läppschleifen*, WT. Werkstattstechnik, 89/3, 228-230.
- [7] BARYLSKI A., 2004, *Tendencje rozwoju technologii docierania powierzchni płaskich*, II Sympozjum, Wybrane problemy projektowania procesów technologicznych, Politechnika Gdańska, Sopot, 171-182.
- [8] DENNIS P., MACKENSEN V., 1996, *Diamant- und CBN-Feinschleifen auf Maschinen mit Lappkinematik*, VDI-Reports, Düsseldorf, VDI-Verlag, 435-448.
- [9] DENNIS P., MACKENSEN V., LONGERICH W., 1997, *Feinschleifen Substitution des Läppens. Schleiftechnik im Wettbewerb. Stand der Technik und Zukunftschancen des Fertigungsverfahrens*, Schleiftechnisches Kolloquium, red.: W. Wicharz, F. Klocke i E. Brinksmeier, Aachen, 16.1-16.11.
- [10] EGGER R., PREISING D., MACKENSEN V., 1999, *Wie Läppen*, Maschine u. Werkzeuge, 1/2, 69-71.
- [11] FELD M., 2001, *Porównanie procesów docierania i mikroszlifowania*. Konf., Projektowanie procesów technologicznych, II, Poznań, Politechnika. Poznańska, 69-74.

- [12] RELKENBERG Y., 2002, *The total grinding concept more than just the sum of its parts*, Abrasive Magazine, Aug./Sept., 27-30.
- [13] KARPUSCHEWSKI B. i in., 1998, *Effiziente Feinschleifprozesse erstzen das Läppen*, Maschinenmarkt, 104, 44-49.
- [14] KLOCKE F., HEGENER G., MUCKLI J., 1997, *Innovative Schleifwerkzeuge Sichern Wettbewerbsvorteile*, VDI-Z, 7/8, 60-64.
- [15] MACKENSEN V., LONGERICH W., DNNIS P., PREISING D., 1999, *Feinschleifen ebenar Flächen auf Maschinen mit Lappkinematik*, Jahrbuch: Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, 58 Ausgabe, 215-226.
- [16] Materiały firmy Diamant-Werkzeuge Hameln GmbH, 2013.
- [17] Materiały firmy FTI Corporation, Lake Mary, 2012.
- [18] Materiały firmy Gator Diamond, Inc., Winter Springs, 2013.
- [19] Materiały firmy Hygrade Precision Technologies, Inc., Plainville, 2012.
- [20] Materiały firmy Lapmaster International Ltd., Ivybridge, 2013.
- [21] Materiały firmy Peter Wolters, Rendsburg, 2013.
- [22] Materiały firmy PR Hoffmann Machine Products, Carlisle, 2013.
- [23] Materiały firmy PTG Precision Technology Group, Lake Mary, 2013.
- [24] Materiały firmy Stähli AG, Pieterlen/Biel, 2014.
- [25] OCZOŚ K.E., MARCINIAK M., 2004, *Postępy w budowie obrabiarek i systemów obróbki ściernej*, Mechanik, 3, 105-110.
- [26] SPUR G., EICHHORN H., 1997, *Kinematisches Simulationsmodell des Lappscheibenverschleißes*, IDR, 2, 169-178.
- [27] STÄHLI A.W., 2000, *Flat honing with diamond or cBN grinding discs*, IDR, 1, 9-13.
- [28] TÖNSHOFF H.K., EGGER R., LONGERICH W., PREISING D., 1998, *Fine grinding can replace lapping for a superior finish*, Manufacturing Engineering, Feb., 52-59.
- [29] UHLMANN E., ARDEL T., 1999, *Influence of Kinematics on the Face Grinding Process on Lapping Machines*, Annals of the CIRP, 48/1, 281-284.
- [30] UHLMANN E., ARDEL T., RUßNER C., MAAG Th., REISER A., 2000, *Schleifen von planparallelen Funktionsflächen*, ZWF, 12, 62-627.
- [31] UHLMANN E., ARDEL T., STINGL P., RUßNER C., MAGG Th., REISER A., 1999, *Planschleifen mit Lappkinematik*, IDR, 1, 79-83.

NEW ABRASIVE TOOLS FOR LAPPING ON SINGLE-DISK LAPPING MACHINES

In this paper new constructions of uniform and composed abrasive tools for flat surfaces machining on single-disk lapping machines are presented. Grinding with kinematic of lapping is one of the tendency of very precision machining of both flat and flat-parallel surfaces. The examples of abrasive insertions in modular tools are given as well as the comparison between standard lapping and microgrinding is done.