

Preparaty na bazie nano- i mikrodiamentów do operacji docierania i polerowania

Nano- and microdiamond compounds for lapping and polishing

ANDRZEJ BAKOŃ
ADAM BARYLSKI*

W artykule przedstawiono preparaty na bazie nano- i mikrodiamentów do docierania i polerowania. Zaprezentowano preparaty z luźno związanymi diamentami: pasty, zawiesiny, aerozole.

SŁOWA KLUCZOWE: nanodiamenty, mikroziarna diamentowe, pasty diamentowe, zawiesiny diamentowe, docieranie, polerowanie.

Nano- and microdiamond compounds for lapping and polishing were presented in this article, in particular with non-bonded micrograins: pastes, slurries, aerosols.

KEYWORDS: nanodiamonds, abrasive diamond powders, diamond compounds, lapping, polishing.

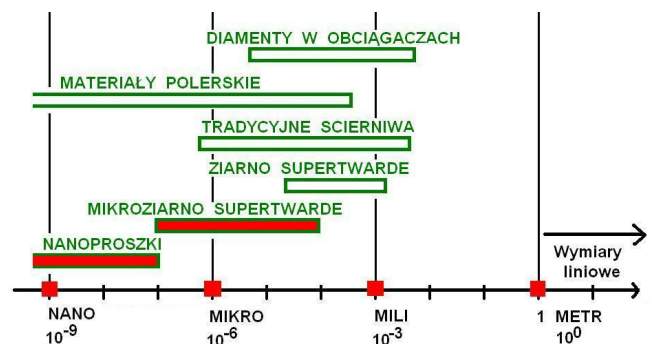
Drobne diamenty i okruchy kryształów od dawna są stosowane w obróbkach ścierno-polerskich, a ich praktyczne zastosowania stale rozszerzają się [1,2]. Szacuje się, że „pyły diamentowe” stanowią od 10 % do nawet 20 % masy diamentów technicznych stosowanych w przemyśle światowym. Na rys. 1 przedstawiono różne grupy surowca diamentowego do obróbek ścierno-polerskich w zależności od ich wymiarów. Nano i mikrodiamenty stanowią jego najdrobniejszą postać.

Historycznie był to materiał odpadowy z obróbki większych kryształów lub specjalnie wytwarzany w następstwie kruszenia kryształów zdefektowanych i o niskiej jakości jubilerskiej. Ze względu na twardość diamentu był to jednak zawsze cenny surowiec narzędziowy.

Współczesny przemysł stawia wysokie wymagania odnośnie jakości materiałów ścierno-polerskich. Nano i mikrodiamenty wytwarza się celowo, w tym sterując ich wymiarami liniowymi oraz budową wewnętrzną i morfolo-

giczną. Największe znaczenie mają technologie:

- polegające na kruszeniu i owalizacji większych ziarn, przede wszystkim naturalnych i syntetycznych polikryształów i niezometrycznych okruchów o monokryształicznej budowie,
- - bezpośredniej syntezy, przez udarowe działanie ciśnienia i temperatury w następstwie eksplozji materiału wybuchowego.



Rys. 1. Wielkości diamentów stosowanych w obróbkach ścierno-polerskich [3]

Typy technicznych nano- i mikrodiamentów

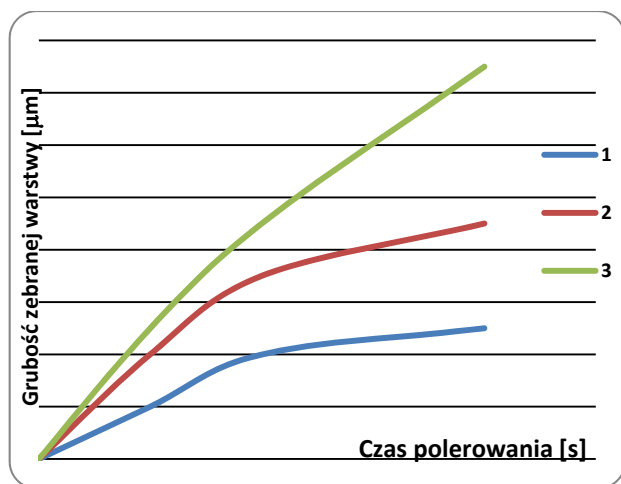
Jakość nano i mikrodiamentów zależy od technologii ich wytwarzania oraz późniejszej obróbki chemiczno-mechaniczno-termicznej. W chwili obecnej w przemyśle najczęściej stosuje się, a w handlu światowym wyróżnia się, ich następujące typy:

- naturalne mikroziarna diamentowe. Pojedyncze ziarna są stosunkowo bardzo czystymi okruchami monokryształicznymi. W zależności od procentowych zawartości form blokowych lub igłowych są dostępne różne gatunki handlowe;

* dr Andrzej Bakoń – Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczańska 133, 01-919 Warszawa, tel. 664268578 (a.bakon@stegny.2a.pl); dr hab. inż. Adam Barylski, prof. nadzw. PG – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk (abarylsk@pg.gda.pl)

- syntetyczne mikroziarna diamentowe monokrystaliczne i obudowie blokowej, wytwarzane metodą syntezy statycznej. Często określane jako „materiał diamentowy do narzędzi o spoiwach metalowych”. Surowiec dostępny jest w postaci różnych gatunków handlowych. W zależności od obróbki produktów syntezy, obok form okruchowych, spotyka się także ziarna z płaskimi ścianami;
- syntetyczne mikroziarna diamentowe wytwarzane metodą syntezy statycznej. Często określane jako „materiał diamentowy do narzędzi o spoiwach żywicznych”. Surowiec dostępny jest w postaci kilku gatunków handlowych. Materiał ścierny będący mieszaniną okruchów i polikryształów;
- polikrystaliczne mikroziarna diamentowe, wytwarzane metodą syntezy dynamicznych. Oferowane w kilku odmianach w zależności od jego składu chemicznego;
- nanodiamanty, oferowane w kilku odmianach w zależności od ich składu chemicznego oraz budowy wewnętrznej.

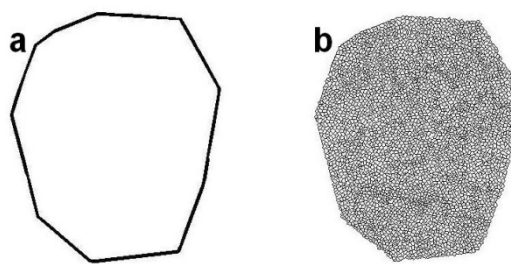
Syntetyczne i naturalne mikroziarna diamentowe są też oferowane w postaci metalizowanej miedzią lub niklem, ale tylko w przypadku frakcji większych pod względem wymiarów (powyżej około 3 μm).



Rys. 2. Porównanie szybkości polerowania szafiru za pomocą różnych typów mikroziarna diamentowego o nominalnej wielkości 1 mikrometra: 1 – diament polikrystaliczny, 2 – diament monokrystaliczny naturalny, 3 – diament monokrystaliczny syntetyczny [4]

Poszczególne typy diamentów różnią się właściwościami użytkowymi. Na rys. 2 porównano szybkości polerowania szafiru za pomocą różnych diamentów. Budowa diamentów naturalnych i syntetycznych, wytworzonych w warunkach syntezy statycznej jest zbliżona, przy czym w materiale syntetycznym, z reguły, są obecne minimalne wtrącenia pochodzące od katalizatora użytego w tym procesie oraz azot z otoczenia. Diamenty polikrystaliczne wytwarzane metodą syntezy dynamicznych charakteryzują się budową nano- lub mikropolikrystaliczną, rys. 3. Stanowią one „zlepek” kryształów o wielkości nanometrycznej, co sprawia, że ich powierzchnia jest bardzo rozwinięta i znajduje się na niej znacznie więcej ostrzy skrawających niż w przypadku ziaren monokrystalicznych.

Diamenty polikrystaliczne względnie szybciej umożliwiają uzyskanie gładziej powierzchni, ale są niestety znacząco droższe. Wybór optymalnego technicznie i ekonomicznie diamentu do konkretnej operacji wymaga dokonania głębszej analizy, podczas której, poza kosztem diamentu, należy uwzględnić wielkość danej produkcji i koszty pracy.



Rys.3. Schemat budowy wewnętrznej mikrodiamentów monokrystalicznych (a) i polikrystalicznych (b)

Jakość nano- i mikrodiamentów

W celu wskazania optymalnego zakresu zastosowania i sposobu użytkowania danego materiału diamentowego należy przeanalizować kilka jego cech. Podstawowe badania obejmują określenie wartości następujących parametrów:

- tzw. wskaźnik wydajności (ang. performance index) określający wydajność ścierania materiału przez diament w czasie obróbki i jakość uzyskanej powierzchni. Wartość tego wskaźnika (od 1 do 10) zależy od izometryczności poszczególnych ziaren, stanu ich powierzchni i wewnętrznych zanieczyszczeń, sposobu zużywania się podczas pracy oraz precyzji rozsegregowania poszczególnych ziaren w proszku;
- wytrzymałość poszczególnych mikroziaren na dynamiczne obciążenia mechaniczne (wartość wskaźnika od 1 do 10);
- precyzja rozsegregowania poszczególnych ziaren w proszku (wartość wskaźnika od 1 do 10);
- czystość materiału (wartość wskaźnika w % wag.).

Metodyka badań tych parametrów jest objęta wewnętrznymi procedurami firm wytwarzających preparaty diamentowe (z reguły objęta częściową tajemnicą) i normami wewnętrznymi dostawców mikroziarna diamentowego [4-17]. Wartości podawane są w skali względnej. Na tab. 1 przedstawiono przykładowo cechy wybranych mikroziaren oferowanych przez szwajcarską firmę Microdiamant [5].

Wielkość nano- i mikrodiamentów









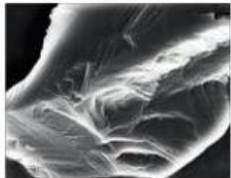
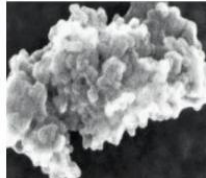
Segregacja wielkościowa i kształtowa mikroziaren jest operacją złożoną. Segregację prowadzi się, przede wszystkim na mokro, w specjalnych instalacjach w termostacyjnych komorach. Wykorzystuje się różnice w przemieszczaniu się poszczególnych cząstek, w tym w szczególności: w strumieniu cieczy, pod wpływem grawitacji lub siły odśrodkowej. Oznakowanie ziarnistości i wymagania składu ziarnowego są objęte normami w wielu krajach [18-22], przy czym spotyka się rozbieżności w ofertach różnych dostawców. W Polsce formalnie obowiązują standardy oparte na dawnej normie radzieckiej GOST 9206-80 i wzorowanej na niej PN-75/M-75108. W rzeczywistości są stosowane materiały różnie rozsegregowane w zależności od ich dostawcy. Formalnie, zgodnie z obowiązującą w Polsce normą, wymiar 63 μm jest górną granicą, powyżej której mamy do czynienia już z materiałem zwanym „ziarnem diamentowym”. W praktyce wielu dostawców podwyższa tę sztuczną granicę, często do ok. 100 μm . Im dana partia diamentu jest precyzyjniej rozsegregowana „na węższe frakcje”, tym jest większa jego przydatność w dokładnej obróbce.

Ocena wymiarów nano- i mikroziaren wymaga posiadania specjalistycznej aparatury badawczej. Współcześnie, poza metodami mikroskopii elektronowej i optycznej dosto-



sowanymi do analiz wielkości cząstek, największe zastosowania mają analizatory laserowe i rentgenowskie [23-25].

Tab.1. Różne jakościowo nano- i mikrodiamenty oferowane przez firmę Microdiamant [5]

Nano- i mikroziarno diamentowe				
polikrystaliczne	syntetyczne do narzędzi o spoiwach		naturalne	nanodiamenty
	żywiczyńnych	metalowych		
Oznaczenia handlowe firmy Microdiamant (Szwajcaria)				
DP	SMP	MSY	NAT	Nano
Wskaźnik wydajności (Performance index)				
7,3	7,6	4,8	4,9	2,0
Wytrzymałość mikroziaren na dynamiczne obciążenia mechaniczne				
9,0	7,0	5,0	5,0	-
Precyzja rozsegregowania				
7,4	6,6	7,4	7,4	-
Czystość materiału				
99,5 %	99,5 %	99,5 %	98 %	95 %
Budowa - Wykruszanie się w trakcie pracy - Łupliwość				
				
				

Są one wykorzystywane w badaniach końcowego produktu segregacji oraz w jej trakcie. Laserowe analizatory wielkości cząstek są stosowane bezpośrednio w instalacjach, w których dokonuje się segregacji. Pełnią one rolę czujników kontrolno-pomiarowych, a jednocześnie sterują za pomocą komputera przebiegiem segregacji, zmieniając na przykład temperaturę lub parametry ruchu cieczy, w której następuje rozdzielanie ziaren.

W tab. 2 przedstawiono oznaczenia wielkości nano- i mikroziaren diamentowych importowanych do Polski.

Tab. 2. Składy ziarnowe określone dla mikroziarn diamentowych i CBN przez amerykańską normę ANSI B74.20-2004

Nominalna wielkość mikroziarna [μm]	D5-min [μm]	D50 [μm]	D95-max [μm]	D99,9 [μm]
0 – 0,25	0,0	0,125 ± 0,025	0,25	0,75
0 – 0,5	0,0	0,25 ± 0,050	0,5	1,5
0 – 1	0,0	0,5 ± 0,1	1,0	3,0
0 – 2	0,0	1,0 ± 0,2	2,0	4,0
1 – 2	1,0	1,5 ± 0,22	2,0	6,0
2 – 4	2,0	3,0 ± 0,3	4,0	9,0
2 – 6	2,0	4,0 ± 0,4	6,0	12,0
4 – 8	4,0	6,0 ± 0,6	8,0	15,0
6 – 12	6,0	9,0 ± 0,9	12,0	20,0
8 – 16	8,0	12,0 ± 1,2	16,0	24,0
10 – 20	10,0	15,0 ± 1,5	20,0	26,0
15 – 25	15,0	20,0 ± 2,0	25,0	34,0
20 – 30	20,0	25,0 ± 2,5	30,0	40,0
25 – 35	25,0	30,0 ± 3,0	35,0	48,0
30 – 40	30,0	45,0 ± 4,5	40,0	52,0
40 – 50	40,0	50,0 ± 5,0	50,0	68,0
40 – 60	40,0	50,0 ± 5,0	60,0	78,0
50 – 70	50,0	60,0 ± 6,0	70,0	90,0

Sposoby wykorzystania nano- i mikroziarna w przemyśle

Podobnie, jak inne materiały ściernie, nano- i mikroziarno diamentowe może być wykorzystane w postaci:

- luźnego proszku;
- preparatów, których jest związane względnie luźno za pomocą tzw. łącznika. Największą ilościowo grupę stanowią pasty o konsystencji mazistej;
- trwale związanej w narzędziu. Ze względu na stosunkowo niską odporność drobnych diamentów na utlenianie w powietrzu preferuje się stosowanie spoiw żywicznych, galwanicznych, a w mniejszym stopniu metodami stosowanymi w metalurgii proszków. Coraz większe zastosowania znajdują mikroziarna diamentowe jako monowarstwy na foliach żywicznych lub metalowych foliach, w postaci taśm ściernych, narzędzi lub fragmentów wycinanych i przyklejanych do końcówek pilników. Znikome zastosowanie znajdują spoiwa ceramiczne.

W tab. 3 przedstawiono przykładowo wykorzystanie tej wielkości diamentów w pracach związanych z badaniami metalograficznymi.

Tab. 3. Wielkości mikroziarna diamentowego stosowane w pracach związanych z przygotowaniem próbek do badań metalograficznych

Operacja		Wielkość diamentów [μm]
Krok1	Cięcie	200 – 60
Krok2	Szlifowanie	100 – 15
Krok3	Docieranie/polerowanie	30 – 0,1

Zastosowanie nano- i mikrościerni diamentowych jest stosunkowo szerokie, przy czym przede wszystkim dotyczy

obróbek wykończeniowych i precyzyjnych (szlifowanie wykończeniowe, docieranie, polerowanie, kalibrowanie, oczyszczanie, itp.). Twardość diamentu sprawia, że można nim obrabiać prawie wszystkie materiały. Jednakże ze względu na jego cenę opłaca się obrabiać materiały bardzo twarde (np.: węgliki spiekane, minerały, ceramikę, półprzewodniki, twarde stopy metali, stале stopowe i hartowane, itd.), tab. 4.

Tab. 4. Względne porównanie opłacalności docierania za pomocą mikroziarna diamentowego materiałów o różnej twardości na podstawie [9]. Obszar zaznaczony na zielono - zalecane docieranie diamentami

Materiał	Przybliżone wartości twardości w skali Mohsa									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ołów	■									
Cyna	■									
Aluminium	■									
Złoto	■									
Cynk	■									
Miedź	■									
Srebro	■									
Mo-siądz	■									
Brąz	■									
Kobalt	■									
Nikiel	■									
Spieki żelaza	■									
Brąz fosforowy	■									
Chrom	■									
Stal	■									
Man-gan	■									
Stopy berylowe	■									
Stelity	■									
Ceramika	■									
Półprzewodniki	■									
Kamienie jubilerskie	■									
Węgliki spiekane	■									

DIAMENT

Aplikacje w postaci zawiesin ścierno-polerskich

Zawiesiny i szlamy (ang. *diamond slurries*) są stosunkowo prostym technologicznie preparatem diamentowym, składającymi się z proszku diamentowego i cieczy. W zależności od ich wzajemnych proporcji mogą one mieć postać gęstego szlamu lub zawiesiny, w której są widoczne rozproszone lub sedymentujące diamenty. Typowymi stosowanymi cieczami są: woda, alkohole, glikole i oleje. Dodatkowo zawierają one substancje bakterio- i grzybobójcze oraz, w różnych ilościach w zależności od przeznaczenia, substancje obniżające napięcie powierzchniowe cieczy, zapobiegające zbrylaniu się ziaren, regulujące szybkość sedymentacji ziaren.

Powierzchnia drobnych proszków jest bardzo rozwinięta, dlatego też mają one skłonność do zbrylania się i agregowania. Scalone cząstki diamentu są, często nawet do 20 razy, większe od jednej cząstki, a to może być największą przyczyną rysowania obrabianej powierzchni zamiast jej wygładzania. Wytworzenie dobrych jakościowo preparatów i narzędzi jest możliwe tylko w przypadkach braku tego typu aglomeratów ściernych w gotowych produktach.

Dobre jakościowo tego typu preparaty wytwarza się tzw. technologią GAF (ang. *guaranteed agglomerate-free*), szczególnie szeroko stosowaną w produkcji wodnych zawiesin diamentu. Metoda ta polega na sporządzaniu wysoko stężonych zawiesin diamentu w dejonizowanej wodzie. Wprowadzenie środków dyspergujących lub powierzchniowo czynnych umożliwia stabilizację fizykochemicznych wła-

ściwości układu. Składniki miesza się, aż do uzyskania optycznej jednorodności układu, a także ewentualne aglomeraty rozbija za pomocą ultradźwięków. Tego typu zawiesiny są także przydatne do wytwarzania innych preparatów, w tym past. Mogą też być sposobem na wprowadzanie diamentu do mieszanin, w tym proszków będących spoiwami do wytworzenia narzędzi. Może też to być materiał, który umożliwi równomierne rozłożenie diamentów w procesie wytwarzania narzędzi metodami galwanicznymi.

Postępowanie się zawiesiną w trakcie docierania lub polerowania polega, najczęściej, na jest ciągłym mieszaniu i kropowym jej dozowaniu na powierzchnię tzw. docieraka/nośnika, którą zwykle jest tarcza metalowa, płyta kompozytowa (np. typu KEMET), tkanina, włóknina, itp.

Aplikacje w postaci past ścierno-polerskich

Pasty diamentowe są względnie najbardziej popularną formą wykorzystania mikroziaren diamentowych. W przeciwieństwie do zawiesin, charakteryzują się względnie trwałym w czasie i danym zakresie temperatur, rozproszeniem diamentów w objętości preparatu. Standardowo pasty, poza diamentem, zawierają tzw. wypełniacz i substancję dyspergującą - tzw. łącznik, który jest mieszaniną kilku substancji. Skład łącznika decyduje o właściwościach użytkowych pasty w określonych temperaturach, a tym samym o jej lepkości i łatwości rozprowadzenia na nośnik, a następnie jej oddziaływaniu na materiał obrabiany. Bazą surowcową do produkcji łączników są węglowodory, estry, tłuszcze, kwasy organiczne oraz ich pochodne. Dodatkowo, dodawane są detergenty, emulgatory i substancje konserwujące. W skład łączników mogą wchodzić też substancje nadające paście założoną aktywność chemiczną w stosunku do obrabianego materiału oraz o odpowiednich właściwościach antykorozyjnych. Największą ilościowo grupę stanowią pasty o konsystencji mazistej, które mogą charakteryzować się bardzo różną lepkością w warunkach pracy. Pasty diamentowe są też wytwarzane w postaci twardych kostek. Przez odpowiedni dobór składników mogą pracować nawet w temperaturach do 300°C.

Specyficzną grupą preparatów z mikroziarnami diamentowym, zbliżoną do past pod względem budowy, są żele diamentowe. Są wytwarzane na bazie wody i substancji żelujących i dotąd jednak sporadycznie używane, przede wszystkim w laboratoriach. Ich zastosowanie jest stosunkowo znikome w przemyśle, choć nieznacznie permanentnie wzrasta.

Praktykuje się barwienie past w zależności od wielkości zawartego w nich diamentu i właściwości chemiczno-termicznych preparatu. Wykorzystanie kolorów umożliwia szybką identyfikację danej pasty w warunkach warsztatowych, w tym po zniszczeniu jej etykiety. Składy past do produkcji masowej i wielkoseryjnej są specjalnie optymalizowane pod kątem technicznym i ekonomicznym. Istnieje jednak bardzo wiele innych potrzeb na małą skalę, do których często są przydatne pasty „standardowe”. Są one zmywalne w wodzie albo w typowych organicznych rozpuszczalnikach stosowanych w warsztatach (np. nafta, alkohol, aceton i benzyna), albo rozpuszczalne w wodzie i rozpuszczalnikach organicznych (tzw. uniwersalne). Są to pasty zawierające określony typ mikroziarna w ściśle określonej ilości (tzw. koncentracji diamentu) w zakresie od 1 do 40 % (wag.) Zawartość diamentu w paście obniża się wraz ze zmniejszaniem jego ziarnistości. Jest to następstwem wzrostu stopnia rozwinięcia powierzchni ścierniwa wraz ze zmniejszaniem się jego wielkości. W tab. 5 przedstawiono, przykładowo, wartości parametrów chropowatości możliwe do uzyskania przy użyciu rosyjskich past diamentowych.

Końcowy efekt obróbki pastami diamentowymi, podobnie jak w przypadku zawieszin, zależy od rodzaju tzw. nośnika (docieraka). Na twardych żeliwnych docierakach obserwuje się, przede wszystkim, skrawanie w następstwie toczenia się mikroziaren. Na miękkich tarczach (np. miękkie drewno, filc, tarcze kompozytowe) twarde mikroziarna przede wszystkim wciskają się w powierzchnię nośnika, dzięki czemu w większym stopniu następuje efekt polerowania.

Tab. 5. Chropowatość powierzchni po obróbce pastami diamentowymi o różnych wielkościach mikroziarna diamentowego wg GOST 16877 [26]

Ziarnistość diamentu w paście [μm]	Chropowatość powierzchni Ra [μm]
63/50 – 40/28	0,63 – 0,32
28/20 – 14/10	0,32 – 0,08
10/7 – 5/3	0,08 – 0,04
3/2 – 1/0	0,04 – 0,01

Różne mogą być sposoby dozowania past diamentowych. Najbardziej popularną jej konfekcjonowanie past maziowych w strzykawkach ze skalą, zawierających, najczęściej od 5 do 20 g pasty, co umożliwi bardzo precyzyjne ich dozowanie na powierzchnię nośnika. Pasty o konsystencji stałej używa się w postaci sztyftów, które dotyka się do powierzchni roboczej wirującego nośnika.

Aplikacje w postaci preparatów aerozolowych

Aerозole z mikroziarnami diamentowymi stanowią stosunkowo bardzo małą pozycję w ogólnym wykorzystaniu tego typu diamentu. Ścierniwo wraz z tzw. cieczą nośną znajduje się w pojemniku pod ciśnieniem. Dozowane preparatu następuje przez wytrysk pod ciśnieniem z pojemnika przez dyszę, co umożliwi równomierne rozproszanie mikroziarna na obrabianą powierzchnię. W preparatach aerozolowych, ze względu na małe wymiary otworów w stosowanych dyszach, znajdują zastosowania najmniejsze wymiarowo mikroziarna (do ok. 30 μm). Ciecz w pojemniku charakteryzuje się względnie szybkim odparowywaniem, w następstwie czego diament pozostaje na natryskiwanej powierzchni. Dodatek substancji o właściwościach klejących w „cieczy nośnej” może spowodować utrwalenie naniesionych diamentów i wykorzystanie w nowej operacji technologicznej, w tym na przykład polegającej na wykonaniu nowego narzędzia.

Podsumowanie

Stosowanie nano- i mikroziaren diamentowych w postaci preparatów, w których diamenty są „luźno” związane, umożliwia wydajną i szybką realizację operacji docierania i polerowania, szczególnie twardych przedmiotów, których produkcja ciągle wzrasta we współczesnej gospodarce. Jednocześnie tego typu materiał ścierno-polerski gwarantuje uzyskiwanie najwyższej jakości powierzchni pod względem chropowatości. Należy spodziewać się kolejnych doniesień ze światowego przemysłu o nowych jego zastosowaniach w technologiach mechanicznych, a tym samym konieczność pojawiania się nowych specyficznych preparatów diamentowych.

LITERATURA

1. Bakoń A., Fizykochemiczna analiza własności syntetycznych diamentów w aspekcie możliwości rozszerzenia zakresu zastosowań. Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1980.
2. Bakoń A., Diamentowe mikroziarno ścierne. *Mechanik*, 10, 603-608, 1983.

3. Bakoń A., Barylski A., Nanomateriały w wyrobach ścierno-polerskich. XXXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Baranów Sandomierski, 9-17, 2013.
4. Materiały informacyjno-techniczne firmy Du Pont (USA).
5. Materiały informacyjno-techniczne firmy Microdiamant (Szwajcaria).
6. Materiały informacyjno-techniczne firmy Eastwind (USA).
7. Materiały informacyjno-techniczne firmy EID (W. Brytania).
8. Materiały informacyjno-techniczne firmy LANDS (USA).
9. Materiały informacyjno-techniczne firmy Element Six (Irlandia).
10. Materiały informacyjno-techniczne firmy ABC Warren Superabrasives (USA).
11. Materiały informacyjno-techniczne firmy Van Moppes (W. Brytania).
12. Materiały informacyjno-techniczne firmy Strauss (Izrael).
13. Materiały informacyjno-techniczne firmy Saint Gobain.
14. Materiały informacyjno-techniczne firmy Stankoimport (b. ZSRR).
15. Materiały informacyjno-techniczne firmy World Superabrasives (USA).
16. Materiały informacyjno-techniczne firmy China Superabrasives (Chiny).
17. Materiały informacyjno-techniczne firmy Struers (Dania).
18. Norma amerykańska ANSI B74.16.
19. Norma ISO 6106.
20. Norma chińska GB/T64006.
21. Norma japońska 4130.
22. Norma rosyjska GOST 9208.
23. Barylski A., Systemy automatycznej kontroli wymiarowej mikroziaren ściernych. *Diagnostyka*, 3, 253-258, 2006.
24. Barylski A., Automatyczna kontrola jakości mikroziaren ściernych. *Zarządzanie i Finanse*, 10, nr 3, cz.2, 285-294, 2012.
25. Barylski A., Komputerowa analiza wielkości mikroziaren ściernych. W: *Informatyka w technice*. Tom 2. Red. K. Lenik, G. Borowski. Lublin, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 103-114, 2008.
26. Norma rosyjska GOST 16877