

## **NANOMATERIAŁY W WYROBACH ŚCIERNO-POLERSKICH**

Andrzej BAKOŃ<sup>1</sup>, Adam BARYLSKI

***Streszczenie:** W artykule przedstawione materiały o strukturach nanometrycznych, które są stosowane w postaci wyrobów do obróbek ścierno-polerskich. Podano przykłady ich zastosowań. Podjęto próbę ich usystematyzowania.*

***Słowa kluczowe:** nanomateriały, nanostruktury, wyroby do obróbek ścierno-polerskich*

***Summary:** In the paper polishing and abrasive materials with nanostructures were presented and the examples of their applications. An attempt was made to systematize them.*

***Keywords:** nanomaterials, nanostructures, products for grinding and polishing*

### 1. WPROWADZENIE

Zdaniem autorów, niektóre materiały i technologie „modnie” obecnie określane jako „nano” w wielu przypadkach są znane i stosowane od lat także w postaci materiałów i narzędzi ścierno-polerskich oraz jako metody ich wytwarzania. Jednocześnie dynamiczny rozwój inżynierii materiałowej w zakresie badań i wytwarzania nanostruktur stwarza szerokie możliwości produkcji nowych jakościowo materiałów i wyrobów ścierno-polerskich.

Informacje na temat istniejącego stanu i perspektyw wykorzystania tej grupy materiałów inżynierskich w wyrobach do operacji ścierno-polerskich są bardzo rozproszone lub nie są znane. Autorzy podjęli próbę ich zestawienia z podaniem przykładów zastosowań.

Niezależnie, w polskiej literaturze [1], pod terminem nanotechnologie określa się także metody obróbek powierzchni, w następstwie których uzyskuje się chropowatości opisywane parametrami w zakresie wielkości nanometrycznych.

### 2. MATERIAŁY O WIELKOŚCIACH NANOMETRYCZNYCH

Nanotechnologia jest względnie młodą dyscypliną naukową wydzieloną z inżynierii materiałowej. Za nanomateriały uważa się [2]: „materiały, których struktura zostawała ukształtowana na poziomie elementów o wymiarach nieprzekraczających 100 nm (= 0,1 μm)”. Granica 100 nm jest umowna, jednakże ma uzasadnienie fizykochemiczne, gdyż poniżej tego wymiaru wiele struktur materiałów zmienia swoje właściwości użytkowe [2,3,4,5].

Budowę nanomateriałów bada się za pomocą specjalistycznych technik obrazowania struktur materiałów. Najszersze zastosowanie znajdują mikroskopia

---

<sup>1</sup> Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa,  
e-mail: a.bakon@stegny.2a.pl.

elektronowa oraz mikroskopia sił atomowych [2,3,4,5].

Wielkości ścierniw są znormalizowane. Zakresy wielkości nanomateriałów znacząco różnią się od rozmiarów standardowych materiałów ściernych (powyżej od ok. 1  $\mu\text{m}$ ). Inną istotną cechą różniącą nanomateriały od „tradycyjnych” materiałów ściernych jest ich bardzo duża powierzchnia w stosunku do masy. Rozwinięcie powierzchni sprawia, że nanocząstki względnie łatwiej i w niższych temperaturach łączą się w większe bryły, są też bardziej aktywne chemicznie w stosunku do środowiska, w którym się znajdują [2,3,4,5].

### 3. SPOSOBY APLIKACJI NANOPROSZKÓW

Podstawowe obszary zastosowania nanoproszków w wyrobach do obróbek ścierno-polarskich to:

- wyroby ścierno-polarskie spojone.
- ziarna agregatowe o wielkości „tradycyjnych” ścierniw, które są stosowane w postaci luźnego ścierniwa lub w wyrobach spojonych.
- kształtki (płytki, walce, itp.) uzyskiwane w następstwie wysokociśnieniowego spiekania nanoproszków lub uzyskiwane metodami CVD.

Zastosowanie samych nanoproszków w postaci luźnej w obróbkach ścierno-polarskich jest względnie niewielkie, szczególnie ze względu na ich wymiary i rozwiniętą powierzchnię, co sprzyja ich pyleniu, zawilgoceniu i agregatowaniu. Są one, przede wszystkim, surowcem do produkcji „grubszych materiałów” ścierno-polarskich o budowie nanostrukturalnej oraz wytwarzania kompozytów w postaci różnego rodzaju narzędzi.

Praktyczne wykorzystanie luźnych nanoproszków ogranicza się do wykorzystania ich w pastach, zawiesinach, chłodziwach, olejach maszynowych [5]. Przykładami mogą być nanodiamenty dodawane do preparatów czyszcząco-myjących [6]. Cenny jest proszek nanosrebra [5]. Może on być zamiennikiem, nie tylko tlenku cynku, dwutlenku tytanu lub krzemionki, ale i syntetycznych środków grzybobójczych i bakteriobójczych w pastach, zawiesinach. Z kolei nanoproszki o właściwościach chemicznie aktywnych (na przykład fluorki, kwasy, tlenki) mogą w sposób zaplanowany specyficznie działać na obrabianą powierzchnię.

Zdaniem autorów nanomateriały w postaci związanej, jako materiały ścierno-poleskie lub jako kompozyty narzędziowe, są wykorzystywane w następujących układach przestrzennych:

- 3D – układ, w którym o wyniku pracy wyrobu ścierno-polarskiego decyduje rozmieszczenie nanostruktur w trzech wymiarach (przestrzenne).
- 2D – układ, w którym o wyniku pracy wyrobu ścierno-polarskiego decyduje rozmieszczenie nanostruktur w dwóch wymiarach (powierzchnia).
- 1D – układ liniowy, tj. w którym o wyniku pracy wyrobu ścierno-polarskiego decyduje rozmieszczenie nanostruktur w jednym wymiarze.



Ścierniwa o nanostrukturach charakteryzują się szeregiem cennych właściwości użytkowych. W przeciwieństwie do ścierniw o budowie mono- lub polikrystalicznych, które pękając wykruszają się, ostrza ścierniw na bazie nanomateriałów ulegają względnie wolniejszemu równomiernemu ścieraniu. Jednocześnie w dużym stopniu na chropowatość obrobionej powierzchni mają wpływ wymiary nanokryształów tworzących ziarno. Jest regułą, że powierzchnia uzyskana po szlifowaniu ścierniwami monokrystalicznymi jest bardziej chropowata od uzyskiwanej za pomocą ziaren zbudowanych z nanoagregatów o tych samych wymiarach liniowych.

Istnieje wiele kombinacji tworzenia ścierniw z nanoproszków [2,3]. Mogą to być układy złożone z jednego typu substancji lub mieszaniny różnych. Mogą mieć podobną lub różną wielkość nanostruktur. Powstałe ziarno lub kształtka może charakteryzować się budową jedno- lub wielofazową, może też być zbudowana warstwowo. Poszczególne składniki mogą być różnie przestrzennie rozmieszczone, na przykład: mogą być rozproszone równomiernie, ułożone warstwowo, tworzyć włókna lub płatki, tworzyć bryły w środku puste lub wypełnione inną substancją.

#### 4. MATERIAŁY ŚCIERNO-POLERSKIE Z NANOSTRUKTURAMI

##### 4.1. MATERIAŁY W UKŁADZIE 3D

W tej grupie można wyodrębnić materiały w postaci brył o regularnych (= kształtki) i nieregularnych (= ziarna) kształtach.

Materiały o budowie nanostrukturalnej są stosowane już od starożytności. Są to produkty rozdrabniania, oczyszczania i segregacji skał popularnie występujących w przyrodzie. Skały osadowe (czyli „produkty procesów zol-żel”), szczególnie wapienne od stuleci były surowcem do produkcji na przykład: kredy polerskiej. Skały magmowe (czyli „produkty procesów zarodkowa krysztalów i ich rozrostu”) od stuleci były surowcem do produkcji proszków do dogładzania, czyszczenia i szlifowania. Podobnie skały metamorficzne, czyli produkty przemian ww. typów skał.

Naturalnym materiałem ścierno-polerskim o strukturze manometrycznej jest diament CARBONADO, który jest mikroporowaty, bardzo twardy i bardzo odporny na ścieranie. Diamenty CARBONADO wykorzystuje się, przede wszystkim, w koronkach i świdrach do wiercenia skał twardych o mikrokrystalicznej budowie, w tym zawierających kwarc.

Sztuczne materiały polerskie w postaci agregatów/zlepów są, najczęściej, wytwarzane metodą zol-żel stanowią dużą grupę [5]. Produkcja ta dotyczy zwłaszcza tlenków polerskich, w tym: glinu, ceru, magnezu, tytanu, cynku, żelaza, krzemu, itd. Największe znaczenie z nich ma tlenek glinu.

W procesie wytwarzania materiałów ścierno-polerskich, a także skrawających, na bazie wolframu, są etapy, w których występują fazy o wielkości nano. Wolfram uzyskuje się przez redukcję jego soli. Dopiero w dalszych etapach produkcji

wytwarzania węglików wolframu następuje sterowany rozrost struktury krystalicznej spiekane materiału. Podobnie w następstwie reakcji chemicznych i następnie spiekania krystalitów o wielkości nano uzyskuje się inne węgliki narzędziowe, a także azotki i borki.

Kubitron (Cubitron), jest materiałem wytwarzanym tzw. metodą zol-żel na bazie  $Al_2O_3$ . Jest to materiał szeroko już rozpowszechniony w przemyśle, w tym w Polsce [7,8]. Ścierniwo kubitronowe jest często oznaczane SG i w postaci mieszanin z elektrokorundem jest wykorzystywane w narzędziach. Ściernice takie, często charakteryzują się niebieskim kolorem. Istnieje już kilka jakościowo różnych generacji kubitronu. Obok ziarn znormalizowanych pod względem wielkości ziarn oraz tradycyjnych pod względem kształtu są dostępne trójkątne płytki (tzw. Cubitron II) o bardzo ostrych i szybko samoostrzących się krawędziach. Układ i wygląd ziaren nie mieści się w tradycyjnej klasyfikacji ziarnistości. Ziarna Cubitron II są większe, wydajniejsze, szybciej skrawające i trwalsze niż tradycyjne ziarna występujące w klasyfikacji ANSI. Badania narzędzi kubitronowych były przedmiotem prezentacji podczas wcześniejszych Naukowych Szkół Obróbki Ściernej [9,10,11].

Ścierniwa w postaci agregatów, szczególnie na bazie nanoproszków  $Al_2O_3$  a także z dodatkiem tlenków:  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ , są już od wielu lat stosowane także w postaci ściernych wyrobów nasypowych. Ich nasypy są względnie bardziej trwałe od nasypów ze ścierniw typu okruchów krystalicznych. Ważnym też jest, że od początku do końca ich stosowania nie zmienia się ich wydajność. Ostrza ziarna zużywając się tworzą nowe [12,13,14,15]. Badania tego typu narzędzi nasypowych były także przedmiotem prezentacji podczas wcześniejszych Naukowych Szkół Obróbki Ściernej [16].

Agregaty z nanoproszków diamentowych są względnie szeroko stosowane [17,18,19,20,21,22]. Ich wytwarzanie polega przetworzeniu grafitu w diament w następstwie działania bardzo krótkim wysokoenergetycznym impulsem temperaturowo-ciśnieniowym. Powstają ziarna, z których każde składa się z tysięcy nanokrystalitów mocno ze sobą połączonych. Pod względem budowy wewnętrznej są one zbliżone do naturalnych diamentów CARBONADO. Podczas ścierania się agregatu są generowane nowe ostre krawędzie, a jednocześnie zachowany zostaje izometryczny kształt mikroziarna. Dzięki tej właściwości docieranie lub polerowanie jest wykonywane szybciej niż przez inne ścierniwa. Znalazło to szerokie praktyczne zastosowanie w laboratoriach metalograficznych oraz w produkcji dużych serii przedmiotów. Przyjmuje się, że zastosowanie tego typu diamentu, w miejsce materiałów o budowie monokrystalicznej lub miększych od diamentu, umożliwia skrócenie czasu polerowania nawet do 15 % [21,22].

Badania procesów syntezy i spiekania diamentów doprowadziły do wytworzenia wielu cennych materiałów, w których nanokrystaliczne diamenty zostały dostatecznie silnie powiązane z punktu widzenia potrzeb obróbek ścierno-skrawających oraz



możliwe było sterowanie rozrostem kryształu w trakcie spiekania [18,23,24,25,26]. Materiały spiekane są dostępne w postaci kształtek/płytek do obróbek skrawaniem lub w postaci ziarna o znormalizowanej wielkości. Najszersze praktyczne zastosowania znalazły materiały spiekane w układach C-SiC-Si (np. SYNDAX 3) [18] oraz C-Ca-Al (np. ARS3) [24]. Materiały te przydatne też są także w obróbkach minerałów oraz metali kolorowych i ich stopów.

Jednym z pierwszych spieków diamentowych był materiał typu COMPAX [23], w którym warstwa nanodiamentów była pod ciśnieniem infiltrowana kobaltem. Materiał ten składa się z dwóch trwale połączonych warstw, z których roboczą jest cieńsza „diamentowa” umocowana na grubszej warstwie z węgliku wolframu. Płytki typu COMPAX i im podobne są przeznaczone do produkcji narzędzi skrawających. Wielkość diamentu wpływa na chropowatość powierzchni po obróbce. W następstwie jednej operacji skrawaniem, na przykład obróbka metali kolorowych, można uzyskać chropowatość jak po typowej obróbce ścierno-polerskiej. Pociąga to za sobą ograniczenie lub wyeliminowanie kolejnych etapów obróbczych, w tym wyeliminowanie obróbki ścierniej.

#### 4.2. MATERIAŁY W UKŁADZIE 2D

Uporządkowane rozmieszczenie nanostruktur na powierzchni można uzyskać różnymi sposobami, szczególnie: w następstwie sterowanego: osadzania materiałów z fazy gazowej (metody CVD), chemicznego lub elektrochemicznego powlekania, napyłania w próżni, spiekania lub rekrytalizacji wcześniej nałożonych warstw.

Właściwości mechaniczne warstw wytworzonych metodą CVD mogą być na tyle dostatecznie mocne, że mogą pracować jak narzędzia monowarstwowe [27,28,29], szczególnie przydatne do obróbki szkła lub ceramiki.

Za pomocą technologii CVD można też uzyskać kształtki (na przykład CVD DRESSER), które mogą stosowane w obciążaczach diamentowych [18]. Charakteryzują się one szczególnie wysoką odpornością na udar termiczny oraz dynamiczne i statyczne obciążenia mechaniczne.

Innym przykładem są supertwarde ścierniwa o powierzchniach metalizowanych metodami galwanicznymi [18,23]. W przypadkach tzw. żywicznych narzędzi supertwardych korzystne jest pokrywanie powierzchni ziarna warstwą niklu lub miedzi. Wagowo powłoka może stanowić ponad 50 % masy całego ziarna. Sterując procesem osadzania można uzyskać metal na ziarnie w postaci gładkiej powierzchni lub z wystającymi „wąsami” na zewnątrz w kierunku spoiwa, co znacząco zwiększa skuteczność umocowania ziarna w spoiwie [30]. Powłoki takie dodatkowo wpływają na trwałość narzędzia oraz sprzyjają odprowadzaniu ciepła ze strefy obróbki.

W przypadku operacji cięcia skał i betonów stosuje się często diamenty metalizowane próżniowo tytanem lub innymi metalami wykazującymi powinowactwo chemiczne do składników spoiwa, które jest mieszaniną proszków metali. Powłoki



takie także dodatnio wpływają na moc utwardzenia ziarna w spoiwie w następstwie wytworzenia warstwy pośredniej pomiędzy diamentem a spoiwem, często tworzą się pośrednie powłoki węglkowe. Mogą też chronić powierzchnię diamentu przed grafityzacją lub utlenianiem. Umożliwiają też względne obniżenie temperatur spiekania narzędzia [18,23,31].

#### 4.3. MATERIAŁY W UKŁADZIE 1D

Uporządkowane rozmieszczenie nanostruktur wzdłuż jednego kierunku można uzyskać w następstwie sterowania rozrostem kryształu od stadium zarodka. Przykładem może być ścierniwo diamentowe typu CDA-L produkcji firmy De Beers [18]. Są to ziarna w postaci igieł o budowie nanometrycznej. Są one produkowane nawet o długości 200  $\mu\text{m}$ . Wytwarza się je w warunkach wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury.

### 5. KOMPOZYTY NARZĘDZIOWE Z NANOMATERIAŁAMI

Produkcja narzędzi ścierno-polerskich o specyficznych właściwościach stanowi szczególnie ważną perspektywę dalszego wykorzystania nanoproszków. Zdaniem autorów, można wyodrębnić następujące postacie tego typu kompozytów:

- układ „ścierniwo-spoiwo-pory” charakterystyczny dla „tradycyjnego” narzędzia ściernego, w którym materiał ścierny został wytworzony na bazie nanoproszków. Przykładem tego kierunku mogą być opisane wcześniej ściernice kubitronowe oraz narzędzia nasypowe z ziarnem agregatowym.

- układ „tradycyjnego” narzędzia ściernego, w którym specjalnie wprowadzone nanoproszki do spoiwa wpływają na efekty odprowadzania materiału zeszlifowanego i ciepła ze strefy obróbki, chłodzenia całego narzędzia oraz jego właściwości elektryczne i magnetyczne. Ilość możliwych nowych rozwiązań jest bardzo duża. Na przykład: grupą materiałów, która stosunkowo słabo jest rozpoznana, jako potencjalne składniki wyrobów ścierno-polerskich, to różnego rodzaju nanoproszki węglowe [32,33]. Wstępne badania autorów nad wykorzystaniem nanorurek lub nanowłókien węglowych, wskazują na możliwości dokonywania zaplanowanych zmian właściwości użytkowych past i narzędzi ścierno-polerskich. Zdaniem autorów także grafen jest interesujący dla konstrukcji i produkcji nowych generacji wyrobów do obróbek ścierno-polerskich [33]. Materiał ten świetnie przewodzi prąd elektryczny, ale poddany działaniu fluoru staje się izolatorem. Jest on bardzo wytrzymały termicznie i mechanicznie oraz wyjątkowo odporny na czynniki środowiskowe, jest elastyczny. Charakteryzuje się też znakomitym przewodnictwem cieplnym.

- układ „tradycyjnego” narzędzia ściernego o specjalnie dobranych składnikach spoiwa, które w następstwie obróbki termicznej umożliwia sterowanie twardością i wytrzymałością narzędzia. Przykładem może być sterowanie procesem spiekania



spoiwa ceramicznego typu dewitryfikatu. W następstwie kontrolowanej krystalizacji spoiwa powstają nanokrystality, które zmieniają właściwości mechaniczne i termiczne spoiwa [34].

- narzędzia monowarstwowe, w tym z odpornymi na ścieranie pokryciami części roboczych narzędzia.

- narzędzia monowarstwowe o specjalnie przestrzennie ukształtowanej roboczej warstwie ścierniej. Przykładem może być materiał firmy 3M o nazwie Trizact™ to wyrób ścierny zawierający agregaty o wymiarach poniżej ok. 10 μm zbudowane z polikrystalicznego diamentu (tzw. *vitreous diamond agglomerates*), które są w elastycznym spoiwie organicznym uformowanym w postaci warstwy o strukturze złożonej z tysięcy mikroskopijnych piramid. W trakcie pracy piramidki ulegają stopniowemu zużyciu, eksponując coraz to nowe ostre mikroziarna, aż do podstawy piramidy. Budowa piramid i dokładne ułożenie ścierniwa zapewnia wolniejsze zużycie narzędzia, przy zachowaniu założonej i powtarzalnej jego zdolność skrawania. Dzięki swej strukturze narzędzie nie „zaszlicha się” i generuje minimalne ilości ciepła. Trizact™ zapewnia równomiernie gładkie i powtarzalne wykończenie oraz redukcje zużycia środków polerskich, przyspiesza jednocześnie proces obróbki detali. Materiały Trizact™, szczególnie w postaci taśm bezkońcowych, pierścieni i krążków, umożliwiają bardzo wydajną obróbkę różnych rodzajów materiałów, w tym: szkła, ceramiki i minerałów stosowanych w elektronice, stali nierdzewnych, stopów tytanu, kobaltu, niklu, chromu. Jedna taśma z materiałem Trizact™ może zastąpić wiele pasów z tradycyjnym nasypem ściernym [13].

- narzędzia elastyczne.

- dodatki do past, zawiesin, itd. do obróbek ścierno-polerskich.

### 3. PODSUMOWANIE

Współczesna nanotechnologia umożliwia wytwarzanie materiałów w następstwie sterowania tworzeniem ich budowy wewnętrznej na poziomie atomów [2,3,4,5,35]. Coraz więcej jest substancji i kompozytów, które nie występują w przyrodzie, a są produktami inżynierii materiałowej. Wyjątkowo cenne i szerokie zastosowania praktyczne znajdują one w życiu codziennym, w tym trwałe miejsce znalazły także w wyrobach do obróbek ścierno-polerskich.

Co roku gwałtownie wzrasta ilość materiałów i kompozytów na bazie nanomateriałów. Opisane ścierniwa i kompozyty narzędziowe o budowie nanokrystalicznej już, w dużym stopniu, wyparły tradycyjne ścierniwa, a znajomość o ich cennych właściwościach stale wzrasta w przemyśle [5,36].

Materiał o budowie nanokrystalicznej są jednak znacząco droższe od „tradycyjnych” ścierniw. Należy przypuszczać, że rozwój nanotechnologii sprawi względne obniżanie ich cen, a tym samym wzrost ich popularności i zastosowań.

Zdaniem autorów przyszłość nanotechnologii w obróbkach ścierno-polerskich to

różnego rodzaju kompozyty, których właściwości użytkowe zostaną zaplanowane pod kątem konkretnych zadań i w celu uzyskania korzystniejszych efektów ekonomiczno-jakościowych (jakość obrobionej powierzchni, wydajności procesu, itd.).

LITERATURA

- [1] OCZOŚ K. Kształtowanie materiałów skoncentrowanymi strumieniami energii, Rzeszów, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Rzeszowskiej, 1988.
- [2] KURZYDŁOWSKI K., LEWANDOWSKA M., Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i funkcjonalne, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.
- [3] KELSALL R. W., HARNLEY I. W., GEOGHEGAN M., *Nanotechnologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
- [4] *Nanotechnologia. Innowacje dla świata przyszłości*, Publikacja Komisji Europejskiej – EUR 21152, 2007.
- [5] *Nanomaterials Production 2002 – 2016: Production Volumes, Revenues and End User Market Demand*, Future Markets, Inc., 2013.
- [6] CIU X., LIU X., TATTON A. S., BROWN S. P., YE H., MARSH A. *Nanodiamonds Promotes Surfactant-Mediated Triglyceride Removal From a Hydrophobic Surface at or below Room Temperature*, ACP Appl. Mater. Interfaces, 2012, 4, 3225 – 3232.
- [7] Materiały informacyjne firmy ANDRE ABRASIVES (Polska).
- [8] Materiały informacyjne firmy Sanit Gobain.
- [9] NIŻANKOWSKI Cz., *Wpływ struktury ścierniwi z korundu spiekanego na zdolność ścierną ściernic ze szklanokrystalicznym spoiwem ceramicznym*, Obróbka ścierna – współczesne problemy, Gdańsk, Politechnika Gdańska, 2011, 81 – 90.
- [10] Niżankowski Cz., *Wpływ składu ścierniwa na zdolność ścierną ściernic z submikrokrystalicznego korundu spiekanego*, Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernic, Wrocław, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, 2012, 71 – 80.
- [11] NADOLNY K., SUTOWSKI P., HERMAN D., *Badania właściwości mechanicznych nowej generacji ziaren ściernych z azotko-tleku glinu AlON z zastosowaniem sygnału emisji akustycznej*, Wrocław, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, 2012, 375 – 390.
- [12] Materiały informacyjne firmy KLINGSPOR (Niemcy).
- [13] Materiały informacyjne firmy 3M (USA).
- [14] Materiały informacyjne firmy HERMES (Niemcy).
- [15] Materiały informacyjne firmy VSM (Niemcy).
- [16] PSZCZOŁOWSKI W., ROSIENKIEWICZ P., *Obróbka ścierna narzędziami nasypowymi*, Warszawa, WNT, 1995.
- [17] SUNG J. C., LIN J., *Diamond Nanotechnology*, Pan Stanford Publishing, Singapore, 2010.
- [18] Materiały informacyjne firmy Element Six.
- [19] Materiały informacyjne firmy China Superabrasives (Chiny).
- [20] Materiały informacyjne firmy Logitech LTD (USA)
- [21] Materiały informacyjne firmy Struers (Dania).
- [22] Materiały informacyjne firmy Du Pont (USA).
- [23] Materiały informacyjne firmy General Electric (USA)
- [24] Materiały informacyjne firmy STANKOIMPORT (b. ZSRR)
- [25] BAKOŃ A., SKORYKOW J., *Budowa i właściwości spieków supertwardych na bazie diamentu*, Materiały z IX Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Politechnika Krakowska, 1986, 50 – 58.





**MECHANIK NR 8-9/2013**  
**XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ**

- [26] JAWORSKA L., WYŻGA P., STOBIERSKI L., KRÓLICKA B., ROZMUS M., Spiekanie proszków diamentowych z udziałem nanocząstek, *Inżynieria Materiałowa*, 2010, 6, 1400 – 1403.
- [27] ALMEIDA F. A., FERNANDES A. J. S., OLIVEIRA F. J., SILVA R. F., *Hardmetal turning with CVD diamond direct coated tools*, *Diamond Tooling Journal*, 2009, 2, 37 – 40.
- [28] CHANG H. K., HUANG J. L., SUNG J. C., Glass roller cutters made with CVD diamond, *Diamond Tooling Journal*, 2010, 3, 25 – 28.
- [29] GAEBLER J., PLEGER S., SCHAEFER L., *CVD diamond layers with a controlled roughness for use in high-precision and micro grinding tools*, *Diamond Tooling Journal*, 2010, 1, 16 – 18.
- [30] Materiały informacyjne firmy Worldwide Superabrasives (USA).
- [31] EGAN D., ENGELS J. A., *The use of coated diamonds in diamond impregnated tools*, *IDR*, 2004, 1, 34 – 38.
- [32] HARRIS P. J., *Carbon Nanotube Science. Synthesis, Properties and Applications*, Cambridge University Press, 2009.
- [33] Niepublikowane materiały autorów na temat nanomateriałów opracowywanych w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie.
- [34] BAKOŃ A., SZYMAŃSKI A., *Glass-ceramics as bonding materials for grinding tools*, *Proceedings of INTERGRIND'79*, Budapest, 1979, vol. 1, 237 – 248.
- [35] MARCINIEC B., *Misja nauk chemicznych*, Polska Akademia Nauk Komitet Chemii, Poznań, Wydawnictwo Nauka i Innowacje, 2011.
- [36] WEBSTER J., TRICARD M., *Innovations in Abrasives Products for Precision Grinding*, *Annals of the CIRP*, 2004, 53, 2, 597 – 617.