

## MONOWARSTWOWE NARZĘDZIA DIAMENTOWE W PRODUKCJI NOWOCZESNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

### Streszczenie

W artykule przedstawiono monowarstwowe narzędzia diamentowe. Są one szeroko stosowane w postaci spojonych narzędzi ściernych oraz obciążaczy, w tym w produkcji elementów tworzących nowoczesne środki transportu.

### WSTĘP

Współczesny sprzęt komunikacyjny (począwszy od roweru, poprzez samochód osobowy i autobus, a kończąc na superszybkich pociągach i statkach powietrznych) to wyroby złożone z bardzo wielu komponentów, które spełniają różne funkcje użytkowe. W zależności od przeznaczenia, elementy konstrukcji pojazdów są wytwarzane z różnych materiałów i w odmiennych tolerancjach wymiarowych. Część z nich jest wytwarzana, zwłaszcza w końcowej fazie produkcji, metodami ścierno-polerskimi.

Poszczególne części, tworzące współczesne pojazdy, muszą charakteryzować się powtarzalnością wymiarową, być wytworzone w określonym czasie i po możliwie niskich kosztach, co stwarza wymóg stosowania narzędzi, które powinny charakteryzować się szczególnie wysoką wydajnością i trwałością. Wśród obecnie stosowanych narzędzi szczególne znaczenie mają te z ziarnami diamentowymi, ułożonymi w postaci monowarstwy [1].

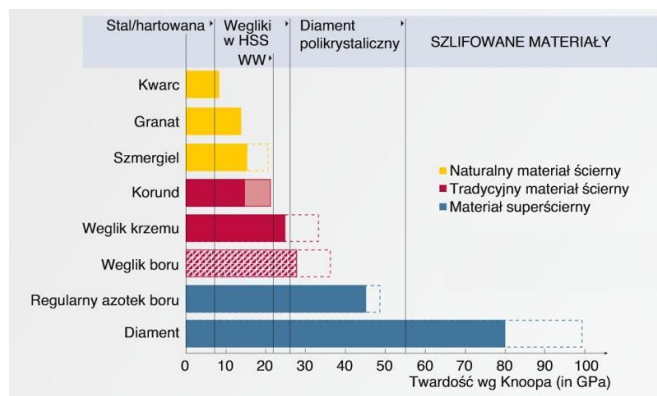
### 1. DIAMENT JAKO ŚCIERNY MATERIAŁ NARZĘDZIOWY

Twardość jest podstawowym kryterium kwalifikowania komponentów do grupy materiałów ściernych [2-4], a diament charakteryzuje się najwyższą twardością i odpornością na ścieranie wśród znanych minerałów i substancji sztucznie otrzymanych przez człowieka, rys.1. Charakteryzuje się także najwyższą odpornością na ścieranie, wytrzymałością na ściskanie oraz modułem Younga. Jednocześnie diament odznacza się niskim współczynnikiem tarcia w stosunku do większości obrabianych materiałów [5-8]. Z punktu widzenia technologa, te cenne właściwości, plus bardzo dobre przewodzenie ciepła i bierność chemiczna, czynią z diamentu materiał narzędziowy szczególnie przydatny i wyjątkowo efektywny w skrawaniu.

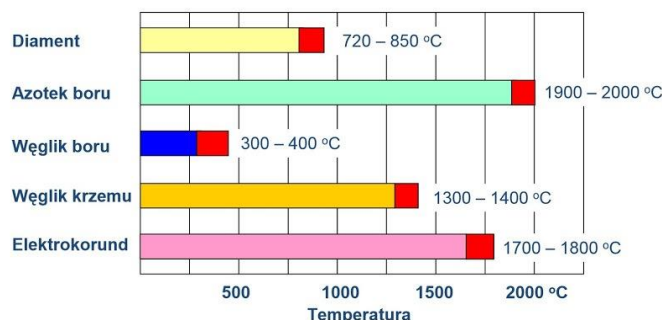
Ograniczeniem jest trwałość termiczna i reaktywność diamentu, rys. 2. Temperatuzy podczas szlifowania mogą być względnie wysokie, a diament może reagować z żelazem, dlatego też narzędzia diamentowe preferuje się stosować w obróbkach materiałów nieżelaznych, rys 3.

### 2. NARZĘDZIOWE MONOWARSTWY ZAWIERAJĄCE ZIARNA DIAMENTOWE

Można wyróżnić kilka sposobów ułożenia diamentów w narzędziach, które są stosowane w obróbkach ścierno-polerskich. Monowarstwowe narzędzia diamentowe to specyficzna grupa narzędzi [1, 10]. Ich cechą charakterystyczną jest ułożenie ziaren diamentowych w postaci pojedynczej warstwy na roboczej powierzchni korpusu narzędzia.



Rys. 1. Porównanie twardości materiałów ściernych i wybranych materiałów obrabianych ściernie [8,9]



Rys. 2. Ograniczenia przydatności różnych materiałów w obróbce ścierniej w zależności od temperatury [8,9]



Rys. 3. Ogólne zalecenia odnośnie zastosowań ścierniwi z diamentu, regularnego azotku boru (CBN), elektrokorundu i węglika krzemu [9]

Konstrukcja elementu, na powierzchni której są wytwarzane monowarstwy z ziarna diamentowego, może być sztywne lub elastyczne. Diamentowe narzędzia ściernie ze sztywnymi korpusami

(np. ściernice, pilniki, piły, wiertła, holowniki, frezy) są zwłaszcza przydatne, w produkcji, kiedy szczególnie ważna jest precyzja wytworzenia każdej z części zespołu. Na przykład silnik napędowy, czy zespoły przekazujące ruch z silnika i powodujące poruszanie się pojazdu. Innym przykładem może być wytwarzanie różnego rodzaju form do tworzyw, z których powstałe wypraski stanowią wyposażenie pojazdów.

W zależności od przeznaczenia diamentowe narzędzia monowarstwowe wytwarza się różnymi technologiami, przy czym największe praktyczne znaczenie mają metody galwaniczne, lutowanie, łączenie za pomocą żywic i klejów, metody infiltracji ciekłego metalu, metody spiekania proszków metali i tworzenie folii. Każda z wymienionych technologii umożliwia wykonanie narzędzia o odmiennej budowie i różnych właściwościach użytkowych, a tym samym o różnych właściwościach eksploatacyjnych i obszarach zastosowań. Monowarstwy mogą mieć budowę ciągłą lub nieciągłą.

W obróbkach ściernych działanie diamentów na powierzchnię materiału obrabianego może być bezpośrednie, w postaci ostrzy diamentowych znajdujących się w narzędziu ściernym oraz pośrednie, tj. diamenty w postaci obciążacza, który działa na ściernicę, a ta następnie na obrabiany materiał. Działanie pośrednie jest szczególnie rozpowszechnione w obróbkach przedmiotów stalowych.

Specyficzną odmianą są monowarstwy diamentowe wytwarzane z węglowej fazy gazowej [11,12].

### 3. PRZYKŁADY APLIKACJI

#### 3.1. Narzędzia ścierne

Stosowanie ziaren ściernych w postaci monowarstw ma swoje wady i zalety [1]. Układ taki umożliwia wytworzenie względnie większej ilości ostrzy diamentowych na powierzchni czynnej narzędzia w porównaniu do narzędzi z ziarnami ułożonymi przestrzennie. Brugger [13] wykazał, że na powierzchni 1 cm<sup>2</sup> narzędzia monowarstwowego z ziarnem o wielkości 60/80 US mesh znajduje się może ok. 1810 ostrzy diamentowych, zaś w przypadku spieków przestrzennych ok. 410 ostrzy. Względnie "ostrzejsza powierzchnia" sprawia, że narzędzia są najbardziej wydajne w obróbkach przedmiotów zbudowanych z materiałów o budowie wielofazowej. W szczególności, w przypadkach kompozytów (kadłuby helikopterów, konstrukcje jachtów, materiały cierne w sprzęgłach i hamulcach), których składniki charakteryzują się odmiennymi właściwościami fizykochemicznymi. Najczęściej są to materiały o budowie niejednorodnej i złożone z twardych włókien (układy: żywica - włókna szklane, aramidowe, węglowe, metalowe) lub wtrąceń mineralnych (twarde ziarna tlenków i węglików, ceramika, grafit, skały). Równoległe wystające ostre ziarna w narzędziach monowarstwowch są bardzo efektywne w obróbce materiałów elastycznych (np. guma), a także kruchych (np. szkło, czy ceramika).

Narzędzia monowarstwowe dostarczane przez ich producentów są najczęściej już gotowe do pracy, bez potrzeby ich obciążania. Sztywne korpusy narzędzi, na które są nakładane monowarstwy diamentu, są wytwarzane ze stali stopowych lub z węglików spiekanych. Powierzchnia czynna narzędzia jest odwzorowaniem kształtu jego korpusu, co w stosunkowo prosty sposób, umożliwia wytwarzanie różnych specjalnych narzędzi ścierno-polerskich do obróbki przedmiotów o bardzo skomplikowanych kształtach. Wytwarzanie narzędzi o skomplikowanych profilach z ziarnami w układzie przestrzennym wymaga zastosowania dodatkowych operacji profilowania warstwy czynnej, co podwyższa koszty produkcji i powoduje straty cennego surowca diamentowego. Grubość monowarstwy jest przede wszystkim uwarunkowana wymiarami diamentów, co sprawia, że elementy robocze narzędzi mogą być względnie bardzo małe. Dzięki temu narzędzia tego typu są podstawowymi w opera-

cjach precyzyjnych (szlifowanie otworów o bardzo małych średnicach, grawerowanie).

Metody galwaniczne są najpopularniejszymi sposobami wytwarzania ściernych narzędzi diamentowych o budowie monowarstwowej. Narzędzia takie znajdują zastosowania głównie w operacjach precyzyjnego szlifowania, gladzenia i wiercenia małych otworów (m.in. w instalacjach wtrysku paliwa), a także grawerowania oraz cięcia, rys. 4 i 5. Są one także stosowane w produkcji elastycznych taśm lub arkuszy ściernych.



Rys. 4. Przykłady ściernic diamentowych o spoiwie galwanicznym. Dzięki uprzejmości firmy Heson (Niemcy) [14]

Proces wytwarzania narzędzi metodami galwanicznymi polega na rozmieszczeniu diamentów na korpusie narzędzia, a następnie mechanicznym ich „zakleszczeniu” przez osadzony metal, najczęściej nikiel. Popularne zestawy do niklowania bazują na składach kąpielii typu Watta [15]. Korpusy takich narzędzi są wykonywane z hartowanych stali stopowych, a także, w celu zwiększenia ich sztywności, z węglików spiekanych. Korpus może też być elastyczny, np. w postaci giętkiej siatki metalowej. Powierzchnie korpusów często pokrywa się miedzią, w celu podwyższenia przyczepności elektrolitycznie nałożonej warstwy niklu. W celu względnego zwiększenia odporności na ścieranie, na nikiel dodatkowo nakłada się chrom. Na jakość mocowania ma także wpływ struktura nałożonego metalu. Obserwuje się coraz częstsze wykorzystanie kąpielii, które umożliwiają wytwarzanie powłok o strukturze nanokrystalicznej.



Rys. 5. Przykłady pił do cięcia i frezów do obróbki kompozytów stosowanych w produkcji kadłubów samolotów i łodzi oraz materiałów hamulcowych

Metoda galwaniczna jest względnie prosta i tania [15]. Jednakże przyczepność warstwy zależy od sposobu wcześniejszego mechanicznego, chemicznego lub elektrochemicznego przygotowania powierzchni korpusu. Po nadaniu korpusom kształtu i wymaganych wymiarów, metodami skrawania i szlifowania, stosuje się obróbki w luźnych kształtkach. Dodatkowo powierzchnie oczyszcza się w rozpuszczalnikach i trawi w chemikaliach lub prądowo. Innymi istot-

nymi czynnikami, decydującymi o skuteczności związania diamentów oraz powstawanie naprężeń własnych w powłokach niklowych są gęstość prądu, temperatura oraz pH, czystość i skład kąpieli. Często spotykaną wadą tego typu pokryć są mikropory w warstwie, w szczególności na styku metalu z powierzchnią ziarna diamentowego i korpusu.

Do produkcji narzędzi o spoiwie galwanicznym konieczny jest zastosowanie specjalnych niemagnetycznych ścierniwi diamentowych, których pola magnetyczne nie zakłócają ruchu jonów w kąpieli. Zastosowanie znajdują tu diamenty syntetyczne, ale przede wszystkim naturalne. Ziarna syntetyczne, przed ich użyciem, dodatkowo przechodzą przez silne separatory magnetyczne oraz są obrabiane chemicznie w celu usunięcia z ich powierzchni ewentualnych zanieczyszczeń metalowych z syntezy [16-19].

Konkurencyjną techniką, do łączenia ziaren metodami galwanicznym, jest łączenie lutami twardymi w próżni (tzw. vacuum brazing). Próżnia zabezpiecza metalowe spoiwo przed utlenianiem, a także sprzyja usuwaniu porów za stykami lutu z ziarnami i korpusem. Proces wiązania przebiega w temperaturach, które umożliwiają „oblanie” całego ziarna diamentowego przez lut. Ogrzewanie realizuje się najczęściej indukcyjnie lub punktowo na pomocą lasera. W celu polepszenia zwilżalności diamentu przez lut, stosuje się diamenty wcześniej powlekane, np. tytanem.



**Rys. 6.** Przykłady narzędzi z diamentami lutowanymi w próżni [20]

Łączenie diamentów lutem w próżni jest znacząco silniejsze od spajania galwanicznego, czy za pomocą żywic i klejów. Narzędzia z diamentami lutowanymi (rys. 6) są droższe od narzędzi galwanicznych, ale umożliwiają bardziej wydajną pracę z większymi naciskami. Monowarstwy diamentowe są bardziej odporne na drgania i przypadkowe uderzenia. Praca z większymi obciążeniami ziaren wymaga stosowania względnie mocniejszych ścierniwi diamentowych, w tym zawierających płaskościenną monokryształową pokroju kubokształdów [1,11,16-19]. Podstawowy obszar zastosowań narzędzi z ziarnami lutowanymi to kompozyty (np. kadłuby i obudowy stosowane w produkcji lotniczej i jachtów), kamień i ceramika. Są one przeznaczone do obróbek mniej precyzyjnych (zgrubne szlifowanie, frezowanie, cięcie i wiercenie). Ich wydajność w tych operacjach jest do kilku do kilkunastu razy większa niż narzędzi galwanicznych.

Dostępnych jest wiele substancji organicznych przydatnych do wiązania diamentów [21]. Popularnymi są żywice epoksydowe, poliestrowe i imidowe. Często do ciekłej żywicy dodane się mineralny lub metalowy proszek, jako wypełniacz. Zmienia on odporność żywicy na ścieranie się i jej właściwości termiczne. Substancje organiczne w stanie ciekłym mogą charakteryzować się względnie niską lepkością, dlatego też mogą pokryć całą powierzchnię poszczególnych diamentów, a tym samym mocno je związać. Możliwe jest też zminimalizowanie ilości i objętości porów w spoiwie w stosunku do wiązań metodami galwanicznymi. Łączenie diamentów za

pomocą termo- lub chemoutwardzalnych żywic lub klejów jest metodą stosunkowo prostą i skuteczną. Po rozmieszczeniu ziaren na powierzchni korpusu, powierzchnię taką pokrywa się cienką warstwą spoiwa, które utwardza się. Dodatkowo wiązanie można wzmacniać przez nałożenie kolejnej warstwy żywicy, w tym o odmiennych właściwościach na ścieranie.

Rozwój nanotechnologii i chemii tworzyw spowodował rozwinięcie konstrukcji i technologii narzędzi o monowarstwowej budowie o tzw. nasypy diamentowe o strukturalnej budowie, w których warstwa zawierająca diamenty jest ukształtowana w postaci zespołu brył, m.in. piramid, krążków, sześciokątów, prostokątów (np. wyroby firmy 3M o handlowej nazwie Trizact) [22]. Produkcja tego rodzaju nasypów jest wykonywana technikami replik. Zaletą takich narzędzi jest stopniowe zużywanie się nasypu i pojawianie się nowych ostrzy ściernych, rys. 7. Jako podłoża stosuje się mocne mechanicznie i odporne termicznie materiały w postaci cienkich elastycznych siatek lub folii. Wyrób taki nadaje się do przetworzenia na ściernie taśmy bezkońcowe, arkusze, krążki polerskie, itp. Tego typu narzędzia znajdują zastosowania w obróbkach szlifierskich, w tym ręcznych, m.in. wyrobów ze stali nierdzewnych (elementy wyposażenia pomieszczeń sanitarnych, uchwyty), szeroko stosowanych we współczesnych masowych środkach komunikacyjnych.



**Rys. 7.** Schemat zachowania się w trakcie obróbki tzw. nasypów diamentowych o budowie strukturalnej [22]

Jeszcze innym wyrobem z diamentami ułożonymi w monowarstwy są folie z diamentami o wielkości mikroziaren, zlokalizowanych na powierzchni lub wewnątrz spoiwa w postaci tworzywa sztucznego lub metalu. Fole metalowe wytwarza się metodami galwanicznymi lub w procesie, który polega na gwałtownym chłodzeniu ciekłego metalu z diamentem podczas, na przykład, rozpraszania go na zimnych walcach. Spoiwem staje się metal o strukturze szklistej lub amorficznej, wewnątrz którego znajdują się diamenty,

Folie mają zastosowanie w końcowych ścierno-polerskich obróbkach form, matryc, czy wykrojników, które mogą być użyteczne na przykład do produkcji elementów wyposażenia pojazdów. Mogą też być surowcem do wytwarzania innych narzędzi ściernopolerskich, np. honowników i pilników, a także taśm do precyzyjnej obróbki wałków.

### 3.2. Obciągacze

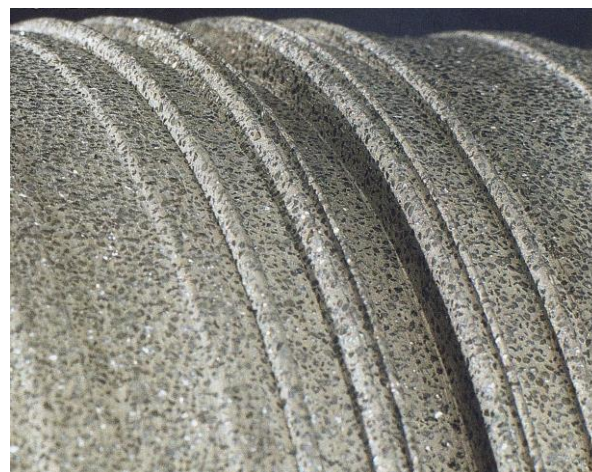
Monowarstwowe ułożenie diamentów sprawia, że powierzchnie takich konstrukcji są najbardziej odporne na ścieranie, co predysponuje je do wykorzystywania ich tylko w niektórych typach obciągaczy. W trakcie szlifowania ściernice z tradycyjnymi ziarnami ściernymi, względnie szybko, tracą swoje właściwości eksploatacyjne, w następstwie wykruszenia się ziaren, deformacji kształtu, zalepiania, itp. Oddziaływanie ziarnami diamentowymi obciągacza umożliwia kształtowanie roboczych powierzchni ściernic, otwieranie zapchanych porów i przywracanie ostrości stępionych ziaren.

Można wyodrębnić trzy typy obciągaczy z monowarstwą diamentową. Obciągacze o konstrukcji w postaci płytki, na krawędzi której znajduje się monowarstwa, mogą być zamiennikami obciągaczy jednoziarnistych z drogiymi dużymi kryształami, co może korzystnie wpłynąć na efekty ekonomiczne wykonywanej operacji szlifierskiej. Innymi, szczególnie przydatnymi w produkcjach wielkoseryjnych typami obciągaczy są konstrukcje rolkowe (obciągacz pracujący w ruchu obrotowym w stosunku do ściernicy) i blokowe (nieruchomy w stosunku do pracującej ściernicy). Profil tego typu obciągaczy jest odwzorowywany na powierzchni czynnej ściernicy. Różnice w szybkości ścierania się diamentu i ściernicy umożliwiają stałe zachowanie jej wymiarów i profilu.

Technologie wiązania diamentów metodami galwanicznymi oraz metodą infiltracji ciekłego metalu znajdują największe zastosowanie w produkcji obciągaczy rolkowych i blokowych. Na rys. 8 przedstawiono przykłady zastosowania obciągaczy rolkowych.

Metodą infiltracji można uzyskać mocniejsze wiązanie diamentów z korpusem narzędzia, przez co umożliwia się jego względnie dłuższą pracę w warunkach dużych i zmiennych obciążeń termicznych i mechanicznych.

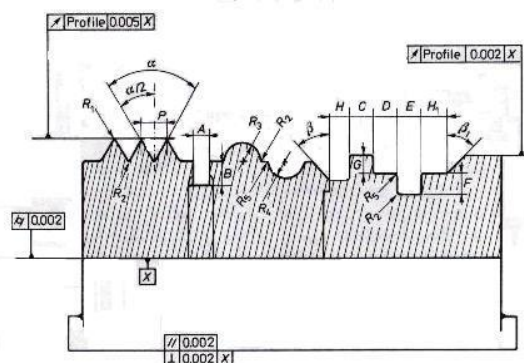
Metoda infiltracji jest procesem kilku etapowym, w którym pierwszy polega na wykonaniu „negatywu” powierzchni czynnej narzędzia. Polega to na ułożeniu diamentów w gniazdach w precyzyjnie wykonanej formie grafitowej lub ceramicznej. Na tym etapie produkcji istnieje możliwość orientacji poszczególnych ziaren i uwzględnienie anizotropii ziaren diamentowych pod względem ich właściwości na ścieranie i twardości. Kolejne etapy, to zasypanie formy wypełniaczem i lutem (np. typu brązów niklowych) i wygrzewanie, podczas którego lut się topi i infiltruje pomiędzy stałe cząstki wypełniacza (np. ziarnisty węglik wolframu) i diamenty. W trakcie wygrzewania następuje też łączenie masy ścierniczej z korpusem. Ze względu na wysokie temperatury wytwarzania tego typu narzędzi oraz późniejsze warunki ich użytkowania stosuje się w nich diamenty o wysokiej wytrzymałości mechanicznej i termicznej, przede wszystkim naturalne lub syntetyczne o pokroju kubicznym lub owalizowane, w tym także powlewane tytanem. Produkt wygrzewania wyjmuje się z formy po jej ostudzeniu, a następnie po oczyszczeniu można poddać dodatkowej obróbce mechaniczno-chemicznej w celu nadania monowarstwie diamentowej wymiarów w zakresie wymaganych tolerancji do określonej operacji. Na rys. 9 przedstawiono przykładowo zastosowania różnych obciągaczy rolkowych, a na rys. 10 przykład typowych tolerancji wykonania takich obciągaczy dla przemysłu samochodowego.



Rys. 9. Przykład budowy powierzchni obciągacza rolkowego z monowarstwą diamentową [23]

Tolerancje wykonania [mm]:

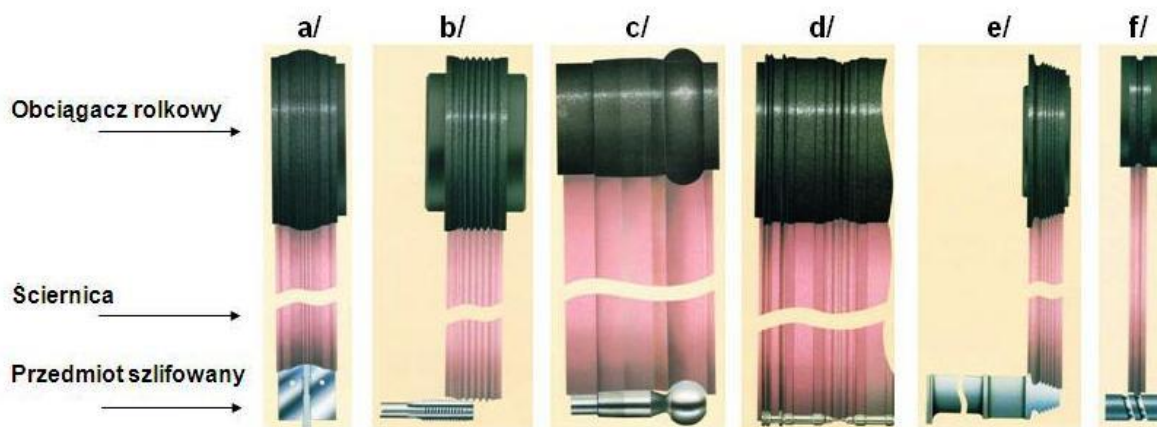
$$A = \pm 0.002, D = \pm 0.005, G = \pm 0.002, P = \pm 0.003, \\ \beta = \pm 5', R_2 = 0.05, R_3 = 0.25, B = \pm 0.001, E = \pm 0.01, H = \pm 0.002, \alpha = \pm 5', \\ \beta_1 = \pm 10', R_5 = \pm 0.005, C = \pm 0.004, F = \pm 0.005, H_1 = \pm 0.01, \alpha/2 = \pm 2' 30'', \\ R_1 = 0.1, R_4 = \pm 0.005.$$



Rys. 10. Przykład tolerancji wymiarów typowych obciągaczy rolkowych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym [24, 25]

### 3.3. Warstwy wytwarzane metodami CVD

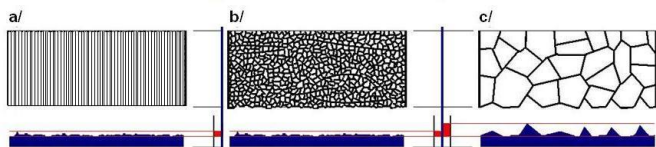
Narzędziom monowarstwy można także wytwarzać metodami epitaksji. Podłożem jest korpus narzędzia, na którym następuje krystalizacja diamentów i ich wzrost z gazowego medium węglowego metodami CVD (Chemical Vapour Deposition). Powstające mikroziarna ściernic mają budowę igłową i tworzą zwarty zespół



Rys. 8. Przykłady narzędzi diamentowych monowarstwowych w postaci obciągaczy rolkowych przeznaczonych do masowej produkcji elementów maszyn metodą szlifowania. Wytwarzanie: a) głowic magnetycznych, b) gwintowników, c) zaworów przegubowych, d) igły do instalacji wtryskowych, e) łopatek do turbin, f) ruchomych połączeń kulkowych [23]

zbudowany z wielu równoległych tego typu igieł, rys. 11. Powstające diamenty rosną w kierunku optymalnym pod względem twardości i odporności na ścieranie. Rozwiązania takie znajdują bardzo ograniczone zastosowania w obróbkach ściernych - dotychczas sporadycznie w produkcji obciążaczy, ściernic do szkła i ceramiki [26].

Jednakże zespolone nanowymiarowe ostrza, które są dostatecznie mechanicznie i termicznie wytrzymałe, umożliwiają bardzo precyzyjną obróbkę skrawaniem. Dzięki twardości diamentów jest możliwa obróbka metali kolorowych i ich stopów ze względnie dużym usuwaniem materiału obrabianego, a jednocześnie możliwe jest uzyskanie powierzchni o bardzo niskich wartościach parametrów charakteryzujących chropowatość.



**Rys. 11.** Schematy struktur ostrzy skrawających: a) diamentowe o budowie zwartych igieł wytworzone w postaci monowarstwy metodą CVD, b) diamentowe wytwarzane przez spiekanie w warunkach wysokich ciśnień, c) „popularnie stosowane” z węglików spiekanych lub ceramiki

Diamentowe warstwy CVD znajdują szerokie zastosowania jako ostrza w narzędziach skrawających oraz w postaci powłok odpornych na ścieranie (np. robocze powierzchnie gwintowników, płytek skrawających).

## PODSUMOWANIE

Globalizacja oraz zautomatyzowana i wielkoseryjna produkcja wymuszają ciągłą obniżkę kosztów i powtarzalność produkcji poszczególnych, nawet bardzo drobnych części składających się na dany konkretny zespół oraz elementów, z których są zbudowane nowoczesne środki transportu. Jakość użytego narzędzia wpływa na wydajność procesu, koszt i precyzję obróbki przedmiotów i bardzo często i montaż zespołów, co w konsekwencji decyduje o jakości użytkowej wyrobu.

Stosowanie diamentowych narzędzi monowarstwowych jest jednym ze sposobów umożliwiających postęp w precyzyjnym wytwarzaniu szeroko rozumianego sprzętu transportowego i wyrobów kompozytowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bakoń A., Szymański A., *Practical Uses of Diamonds*. E. Horwood – PWN, Londyn – Warszawa, 1992.
2. Borkowski J., Szymański A., *Uses of Abrasives and Abrasive Tools*, PWN – Ellis Horwood, New York – Warszawa 1992.
3. Ocoś K., Burek J., *Podstawy i technika obróbki ścierniej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
4. Ocoś K., Porzycki J., *Szlifowanie. Podstawy i technika*, WNT Warszawa 1986
5. Field J. E., *The Properties of Diamond*, Academic Press, Oxford 1979.

6. Wilks J., Wilka E., *Properties and Applications of Diamond*, Butter-Heinemann, London 1991.
7. Szymański A., *Mineralogia techniczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
8. *Materiały informacyjno-techniczne firmy Wintherthur-Rappold (Austria)*.
9. *Materiały informacyjno-techniczne firmy Tyrolit (Austria)*.
10. Bakoń A., Barylski A., *Monowarstwowe narzędzia diamentowe do obróbki ścierno-polarskiej*, Mechanik 2016, 8/9, 1146-1147.
11. *Materiały informacyjno-techniczne firmy Element Six (Irlandia)*.
12. Jaworska I., *Diament. Otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*. WNT Warszawa 2007.
13. Brugger R., *Nickel Plating*, Robert Draper Ltd, Teddington 1970.
14. *Materiały informacyjno-techniczne firmy Heson (Niemcy)*.
15. *Materiały informacyjno-techniczne Instytutu Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie*.
16. *Materiały informacyjno-techniczne firmy World Superabrasives (USA)*.
17. *Materiały informacyjno-techniczne firmy ABC Warren Superabrasives (USA)*.
18. *Materiały informacyjno-techniczne firmy EID (W. Brytania)*.
19. *Materiały informacyjne firmy China Superabrasives (Chiny)*.
20. *Materiały informacyjne firmy Strauss (Izrael)*.
21. Pielichowski J., Puszyński A., *Chemia polimerów*, WNT TEZA, Kraków 2014.
22. *Materiały informacyjne firmy 3M (USA)*.
23. *Materiały informacyjne firmy Diamant Boart (Belgia)*.
24. *Materiały informacyjne firmy Wendt (Niemcy)*.
25. *Materiały informacyjne firmy Winter und Sohn (Niemcy)*.
26. 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.

## MONOLAYER DIAMOND TOOLS FOR MANUFACTURING OF MODERN MEANS OF TRANSPORT

### Abstract

The article presents the monolayer diamond tools. They are widely used as a bonded abrasive tools and dressing tools, including the production of components constituting the modern transportation.

Autorzy:

dr **Andrzej Bakoń** – Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Warszawa. Tel.: (+48) 664 268 578.

E-mail: bakon@stegnyn.2a.pl

prof. dr hab. inż. **Adam Barylski** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny. Tel.: (+58) 3471982. E-mail: abarylsk@pg.gda.pl