

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Automatyzacja procesów produkcji spiekanych kompozytów diamentowo-metalowych

Automation of production processes of sintered diamond-metal composites

ANDRZEJ BAKOŃ
ADAM BARYLSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.331

W artykule przedstawiono technologie produkcji narzędzi diamentowych o spoiwach metalowych spiekanych. Na podstawie własnych doświadczeń oraz kontaktów z wytwórcami takich narzędzi i firmami oferującymi urządzenia do ich produkcji dokonano przeglądu stosowanych technologii wytwarzania w pod kątem możliwości ich automatyzacji.

SŁOWA KLUCZOWE: ściernie narzędzia diamentowe, kompozyty diament-metal, automatyzacja produkcji

The paper presents the technologies of manufacturing of diamond tools with sintered metal binders. Based on their own experience and contacts with the producers of such tools and machines for their manufacturing was done a review of their production processes in aspects of automation.

KEYWORDS: abrasive diamond tools, metal-diamond composites, automation of production

Znanych jest kilka metod spajania diamentów w narzędzia ściernie [1], przy czym sposoby łączenia diamentów za pomocą metali były i są najczęściej stosowanymi operacjami wytwarzania ściernych narzędzi diamentowych. Jedną z najczęściej stosowanych technologii jest metalurgia proszków. Podstawowy zakres zastosowań tak wytwarzanych narzędzi to obróbka (cięcie, frezowanie, szlifowanie, polerowanie, wykonywanie otworów) naturalnych i sztucznych materiałów mineralnych (skały, beton, asfalt, szkło, ceramika, kryształy jubilerskie, kompozyty, itp.).

Proces wytwarzania ściernych narzędzi diamentowych ze spoiwem metalowym spiekany można zestawić w postaci

następujących kolejno po sobie operacji:

1. Przygotowanie surowców.
2. Mieszanie surowców.
3. Prasownie na zimno.
4. Spiekanie.
5. Obróbka mechaniczna spieków.
6. Łączenie elementów diamentowych z korpusem narzędzia.
7. Końcowa obróbka mechaniczna narzędzia.

Przygotowanie surowców

Decyzja o zastosowaniu proszku metalu o określonym składzie i uziarnieniu oraz jakości surowca diamentowego jest następstwem optymalizacji wielu czynników [1-6]. Standardem było i jest nadal wyciąganie wniosków z wyników eksploatacji narzędzia w warunkach jego przeznaczenia. Analizuje się koszty wykonania założonej operacji, przy określonych wymaganiach odnośnie wydajności pracy i stanu powierzchni po obróbce. Zmiennymi są, przede wszystkim, możliwe różnice we właściwościach fizykochemicznych obrabianego materiału, jakość i ilość ścierniwa diamentowego, skład chemiczny i struktura spoiwa oraz jego właściwości fizyczne, w funkcji temperaturowo - ciśnieniowych warunków spiekania narzędzia.

W trakcie pracy diament i spoiwo ulegają erozji. W zależności od narzędzia, odporności ziarn diamentowych na zmienne obciążenia mechaniczne i termiczne oraz skuteczności wiązania diament-spoivo, obserwuje się wypadanie ziarna, jego sukcesywne ściernie lub stopniowe wykruszanie. „Dobre spoiwo” powinno powoli ścierać się oraz „mocno trzymając” diament, ciągle tworzyć warunki do istnienia dotychczasowych i powstawania nowych jego ostrych krawędzi.

Na jednej z poprzednich Naukowych Szkół Obróbki Ściernej [7] przedstawiono uwarunkowania pomiędzy zakresami zastosowań a jakością ścierniwi diamentowych. Wielkość, budowa wewnętrzna i pokrój poszczególnych ziaren

dr Andrzej Bakoń – Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych; ul. Wólczyńska 133; 01-919 Warszawa; tel – 664 268 578; e-mail: a.bakon@stegn.2a.pl
dr hab. inż. Adam Barylski, prof. nadzw. PG – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny; ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel - 608 698 289; e-mail – abarylsk@pg.gda.pl

diamentowych mają wpływ na ich właściwości mechaniczne i termiczne, a tym samym wyniki eksploatacji narzędzia. Współzależności te sprawiają konieczność precyzyjnego rozsegregowania diamentów przed ich użyciem do produkcji narzędzi [1,9-16].

Sortowanie wymiarowe i kształtowe ziaren, a także magnetyczne i pod względem wtrąceń w ziarnach, są wykonywane na specjalistycznych automatach [8,17]. Znormalizowane są zakresy wymiarów liniowych ziarn, zaś inne ich cechy są z reguły objęte wewnętrznymi procedurami standardami ich bezpośrednich producentów. Termin gatunek ziarna diamentowego od danego wytwórcy jednoznacznie określa właściwości użytkowe tego materiału.

W przypadku proszków metali lata doświadczeń sprawiły, że w chwili obecnej także i one są dostarczane w określonych ziarnistościach, a termin gatunek od danego wytwórcy jednoznacznie określa właściwości użytkowe tego materiału,

Mieszanie surowców

Metalowe spoiwa proszkowe to mieszaniny w różnych proporcjach proszków monometalicznych, proszków ze stopów metali (na przykład: brązy, mosiądże, stopy Fe-Co-Cu, stopy Fe-Co-Ni), proszki ze związków trwałych termicznie (na przykład węgiel wolframu) i plastyfikatora (na przykład: stearynian cynku, olej parafinowy, woski). Z proszków monometalicznych najbardziej popularne są proszki miedzi, cyny, kobaltu, żelazu, niklu i srebro (tab.1.). Znajdują zastosowania także cynk, mangan lub molibden.

Tab. 1. Przykład składów standardowych spoiw do ziaren diamentowego w piłach tarczowych do cięcia marmurów oferowanych przez firmę Dr. Fritsch wg kart MSDS [2]

Przeznaczenie pily	Główne składniki	Zawartość danego składnika w spoiwie [% wag.]		
		Obrabiany typ marmuru		
		twardy	miękki	skryształizowany
		Przykład rodzaju marmuru		
		Green Indian	Carrara	Bianco Macaele
Cięcie bloków	Cu	35-65		10-30
	Co	25-55	x	65-95
	Sn	Max. 10		Max. 8
Cięcie płyt	Cu	Powyżej 70	55-85	
	Co	Max. 25	10-30	x
	Sn	Max. 15	Max. 15	
Cięcie ręczne	Cu	35-65		
	Co	25-55		
	Sn	Max. 10		

Operacja mieszania składników, tworzących masę ścierną, musi zagwarantować jej jednorodność pod względem przestrzennego rozmieszczenia poszczególnych składników.

Mieszanki diament-metal wykonują producenci narzędzi na swoje potrzeby, z reguły bezpośrednio przed ich użyciem. Spoiwa w postaci mieszaniny z kilku proszków metali wytwarza sobie sam producent zgodnie z własnymi recepturami lub może je zakupić u innego wytwórcy.

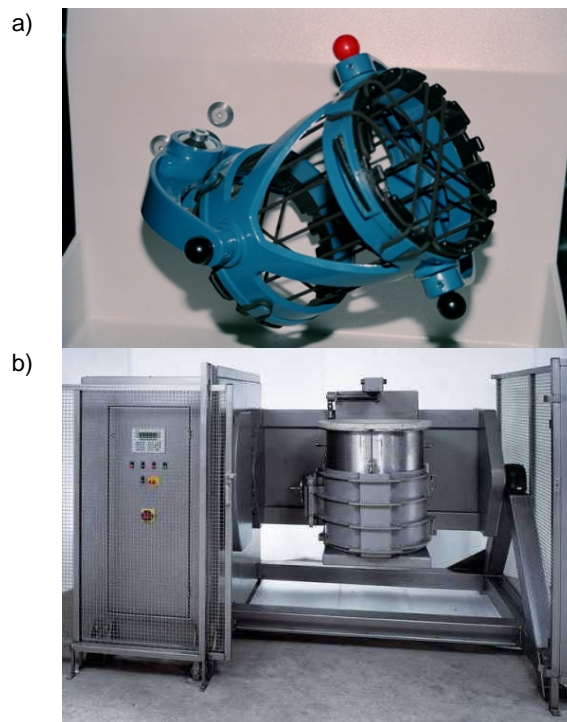
W przemyśle diamentowym najszerze zastosowania znajdują dwa ich typy mieszalników [18]. Mieszalniki typu „turbula” są stosowane do przygotowania spoiwa oraz mieszanin diament – spoiwo (rys.1). W zależności od wielkości przygotowywanej masy stosuje się mieszalniki o różnej mocy i wielkości pojemnika. Urządzenie składa się z napędu kierowanego na dwie równoległe wały, które obracają się w przeciwnych kierunkach. Na ich końcach są przeguby,

a na nich zamontowana jest komora, do której wkłada się zamykany pojemnik z mieszaną masą. Konstrukcja urządzenia zapewnia dynamiczny ruch proszków w układzie przestrzennym.

Innym typem często stosowanych mieszalników są urządzenia, w których pojemnik z proszkiem wykonuje ruch planetarny. Prościej, lecz mniej wydajnym urządzeniem są mieszalniki bębnowe.

Do mieszania większe ilości, szczególnie stosowane przez producentów spoiw proszkowych, jest urządzenie zbudowane z wirującego wału, na którym jest zamontowany wirujący pojemnik. Płaszczyzny ruchu obrotowego wału i silnika powodującego obroty pojemnika są położone wzajemnie pod kątem prostym, zapewnia to dynamiczny ruch proszków w układzie przestrzennym.

Proszki można spiekać w różnych temperaturach i pod różnymi ciśnieniami, co sprawia, że w następstwie spiekania można otrzymać spoiwo, a tym samym i element ścierny, o różnych właściwościach użytkowych. Wiodący światowi producenci gotowych proszkowych spoiw metalowych do narzędzi diamentowych z reguły, w swoich ofertach handlowych, podają optymalne parametry spiekania i zakresy zastosowań takich spoiw.



Rys. 1. Przemysłowe urządzenia do mieszania proszków: a) mieszalnik typu „turbula” (popularny w polskim przemyśle), b) mieszalnik do przygotowania dużych ilości proszków typu Dyna-Mix [17]

Prasownie na zimno

Prasownie proszków tzw. „na zimno” polega na zasypaniu formy proszkiem i zaprasowaniu jej na założoną objętość. Każdy z typowych narzędzi wymaga prasowania w charakterystycznej dla siebie formie. Następnym etapem produkcji jest przeniesienie wypraski do formy do prasowania „na gorąco”, w której spieka się proszek w temperaturach i przy ciśnieniach zależnych od składu zastosowanego spoiwa.

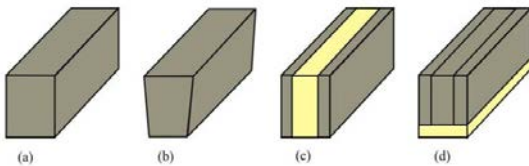
W przypadku produkcji prostych elementów jednorodnych (np. segmenty), wstępne formowanie mieszanki na

zimno nie jest konieczne, ponieważ prasowaniu na gorąco można również poddawać sypki proszek. Odpowiednie porcje mieszanki odważa się przy użyciu automatycznych maszyn dozujących, a następnie umieszcza w otworach grafitowej matrycy. Zastąpienie mieszanki proszków wypraskami pozwala zwiększyć wydajność produkcji, gdyż wypełnianie matryc wypraskami jest mniej pracochłonne i można więcej wyprasek wykonać w jednej formie o określonej objętości. Dodatkowo, wstępne prasowanie zagęszcza lepiej masę ścierną i w następstwie spiekania uzyskuje się wyrób mniej porowaty.

Składy mieszanek proszkowych zależą od konstrukcji danego narzędzia i miejsca, w którym znajduje się proszek (rys.2). W gotowych narzędziach mamy do czynienia z proszkami, które są umiejscowione w następujących układach przestrzennych:

- warstwa metal-diamant (np. osełki),
- warstwa metal-diamant bezpośrednio na korpusie stalowym narzędzia (np. ściernice),
- warstwa metal-diamant + warstwa bez diamentu (np. segmenty i osełki),
- warstwa metal-diamant + warstwa podłożowa bez diamentu bezpośrednio na korpusie stalowym narzędzia (np. piły, frezy i wiertła).

Dodatkowo, lub zamiast warstw podłożonych z proszków metali, na korpusie narzędzia stosuje się także (np. w ściernicach) pośrednie warstwy (m.in. miedziane) nakładane elektrolitycznie.



Rys. 2. Budowa segmentów diamentowych do pił: a) monolityczna, b) trapezowa, c) z warstwą bez diamentu w środku, d) z podłożową warstwą diamentu

Można wyodrębnić dwa sposoby przygotowania nawazek proszkowych, wagowo lub objętościowo. Sposób objętościowy jest stosowany przede wszystkim w produkcji na większą skalę. Dozownik określonej objętości proszku jest zespolony z formą, w której dokonuje się jego prasowanie, a następnie automat przenosi wypraskę stanowiska kontroli jej jakości. Elementy diamentowe po prasowaniu na zimno mogą być monolityczne lub warstwowe. Tym drugim przypadku operację prasowania realizuje się w dwóch etapach.

Specyficznymi wyrobami są elementy ściernic i ściernice, a także niektóre rodzaje obciążaczy ze zorientowanymi kryształami diamentów pod względem ich osi krystalograficznych [19]. Takie ułożenia diamentów umożliwia dobre ich wykorzystanie pod względem twardości i odporności na ścieranie, a tym samym umożliwia wytworzenie narzędzia znacząco bardziej efektywnego w pracy. Wypraski, w których tak ułożone diamenty będą się znajdowały, wykonuje się w kilku etapach. Na powierzchniach elementów prasujących w formie są wykonane z odpowiednio rozmieszczonymi wypustkami, które wyciskają gniazda na diamenty w prasowanym proszku. W następnej operacji w gniazda te ręcznie (np. w przypadku diamentów igłowych) lub automatycznie (np. ziarna kuooktaedryczne) wkłada się diamenty. Kolejną czynnością jest zaprasowanie warstwy spoiwa. Dzięki możliwości, którą stwarza współczesna automatyzacja i sterowanie komputerowe, operację układania zorientowanych diamentów i ich zaprasowywania można powtarzać wielokrotnie. Automatykę można też dodatkowo wspomagać

aparaturą do badań dyfrakcji rentgenowskiej i na podstawie sygnału z tego badania odpowiednio ustawiać przestrzennie kryształ diamentu, w szczególności ziarna diamentowe.

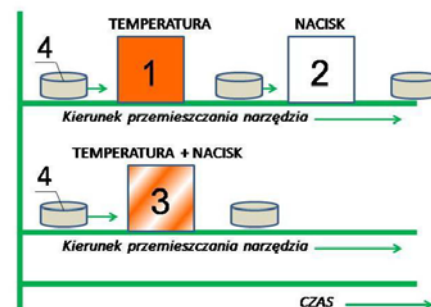
W zależności od typu narzędzia, podczas operacji prasowania na zimno wykonuje się konkretną wypraskę lub proszek zaprasowuje się na stalowym korpusie narzędzia, przede wszystkim w przypadkach ściernic. W trakcie operacji prasowania na zimno element diamentowy lub narzędzie uzyskuje swój kształt i wymiary nieco większe w stosunku do tych, które będzie miał gotowy wyrób (rys.3).



Rys. 3. Automat do prasowania na zimno diamentowych elementów ściernych na zimno. Możliwe wykonanie wyprasek warstwowych zbudowanych z dwóch różnych mieszanek proszkowych [2]

Spiekanie

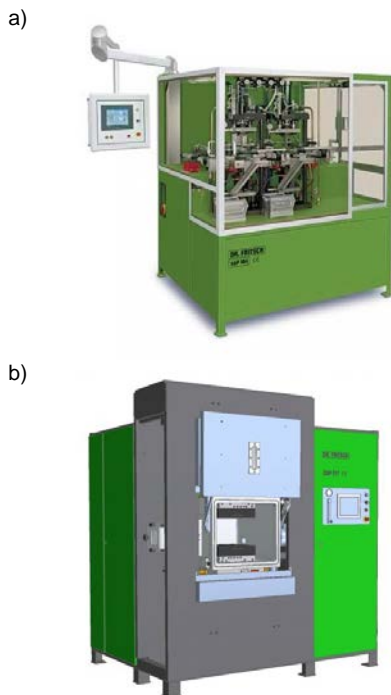
W technologiach produkcji narzędzi diamentowych o spoiwach metalowych spiekanych można wyodrębnić wyroby swobodnie spiekane po sprasowaniu na zimno oraz, co ma znacząco większe praktyczne znaczenie, w układach temperatura – ciśnienie, przedstawionych na rysunku 4. Stosuje się różne sposoby ogrzewania w produkcji narzędzi diamentowych. W przypadku spiekania komorowe, indukcyjne i oporowe.



Rys. 4. Porównanie dwóch najpopularniejszych sposobów spiekania ściernych narzędzi diamentowych o spoiwach metalowych proszkowych. 1 – piec, 2 – prasa, 3 – prasopiec, 4 – element spiekany.

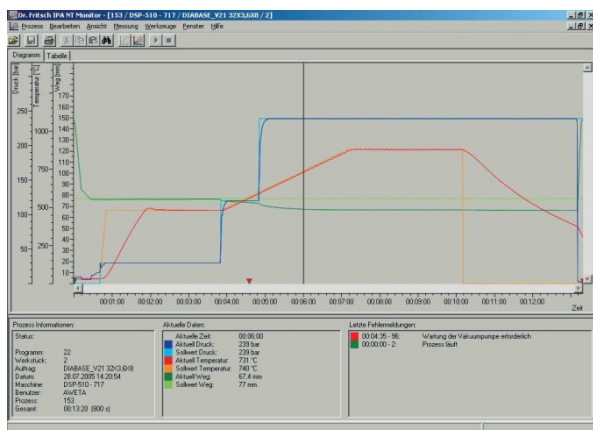
Układy „spiekanie i następnie prasowanie gorącego spieku” stosuje się przede wszystkim w przypadkach spieków, w których warstwa diamentowa jest na korpusie narzędzia i do niego równoległa (np. ściernice), a także narzędzi o względnie dużych wymiarach. Na wydajność tego typu operacji i jakość produktu ma wpływ organizacja stanowiska pracy, w tym kontrola chłodzenia się formy podczas drogi pomiędzy piecem i prasą. Układy tzw. prasopieców są rozpowszechnione w przypadku wielkoseryjnej produkcji względnie mniejszych wyrobów (np. segmentów) - rys. 5.

Nie tylko skład i ziarnistość proszku decydują o efekcie spiekania. W zależności od warunków temperaturowo-ciśnieniowo-czasowych uzyskuje się różnej jakości elementy spieczone z jednego bazowego spoiwa metalowego i diamentu [20-22]. Parametry procesu prasowania na gorąco dobiera się indywidualnie do składu spoiwa. Temperatury spiekania zawierają się w zakresie 650÷1100 °C, a ciśnienia 25÷35 MPa. Typowe czasy spiekania w maksymalnych warunkach wynoszą kilka minut.



Rys. 5. Automaty do prasowania na gorąco: a) energooszczędny w pełni zautomatyzowany prasopiec do produkcji segmentów w formach stalowych, b) uniwersalny prasopiec umożliwiający spiekanie w próżni lub atmosferze ochronnej dużych narzędzi (ściernice) albo jednorazowo dużych ilości małych elementów, w tym o różnych spoiwach [2]

Rozwój technologii komputerowych sprawił, że warunki spiekania można zaprogramować, a tym samym automatycznie uzyskiwać wyroby o powtarzalnej jakości oraz maksymalnie wykorzystać czas pracy. Na rysunku 6 podano, przykładowo, zalecane parametry spiekania kształtek diamentowych ze spoiwem metalowym z układu Fe – Co – Cu z Sn i P.



Rys. 6. Zapis komputerowy sterowania procesem spiekania wyrobu z proszkiem DIABASE V21 oferowanym przez firmę Dr. Fritsch. Linie koloru: czerwonego - temperatura, niebieskiego - ciśnienie, zielonego – odległość tłoków prasujących [2, 23]

Metale, szczególnie w postaci proszków, stosunkowo łatwo utleniają się ze wzrostem temperatury, co istotnie może pogorszyć właściwości użytkowe spieczonych wyrobów. W celu uniknięcia lub znaczącego ograniczenia tego niekorzystnego zjawiska procesy spiekania mieszanin diament – metal realizuje się w formach grafitowych, w próżni lub w atmosferze nieutleniającej. Jakość stosowanego grafitu ma istotny wpływ na koszt i wydajność tej operacji. Stosuje się też specjalne preparaty, najczęściej na bazie proszku węgla i termicznie trwałych tlenków, ograniczające dostęp tlenu do powierzchni spiekane proszku metalu i diamentów.

Wydajność operacji spiekania zależy nie tylko od wielkości narzędzia oraz czasu i warunków spiekania. W zależności od konstrukcji i wielkości form można spiekać jedno narzędzie (na przykład ściernice i koronki wiertnicze) lub wiele elementów (na przykład segmenty i osetki).

Łączenie elementów diamentowych z korpusem narzędzia

Względnie niski koszt i popularność niektórych współczesnych narzędzi diamentowych jest następstwem modularnej budowy oraz możliwości ich szybkiej regeneracji i naprawy. Odpowiednio wyprofilowane elementy diamentowe, w postaci segmentów, pierścieni, krążki, itd. , można łączyć z korpusami o różnych kształtach i będącymi narzędziami do różnorodnych operacji. Do łączenia wykorzystuje się technologie lutowania lub spawania (rys.7). Wykonanie dobrego złącza wymaga zastosowania specjalistycznego materiału pośredniego pomiędzy stalą a elementem diamentowych. Może to być specjalny lut (np. lut srebrny) lub bezdiamentowa warstwa podłożowa - stanowiąca część tego elementu. Jako źródła ciepła wykorzystuje się urządzenia indukcyjne, urządzenia do zgrzewania oporowego, laser, a w przypadkach polowych i doraźnie palniki gazowe.



Rys. 7. Automaty do montowania segmentów na korpusach pił tarczowych: a) spawanie laserem, b) lutowanie indukcyjne [2]

Wykonanie złącza element diamentowy – korpus, o dostatecznej wytrzymałości, wymaga zagwarantowania właściwej temperatury i lutu o odpowiednich właściwościach w stosunku do spoiwa łączącego diamenty (tab. 2). Wpływ ma też organizacja stanowiska pracy. Rozwój techniki sprawił, że na rynku są oferowane specjalistyczne automaty do montażu segmentów diamentowych na korpusach stalowych, szczególnie przydatne w masowej produkcji pił, wiertel i frezów.

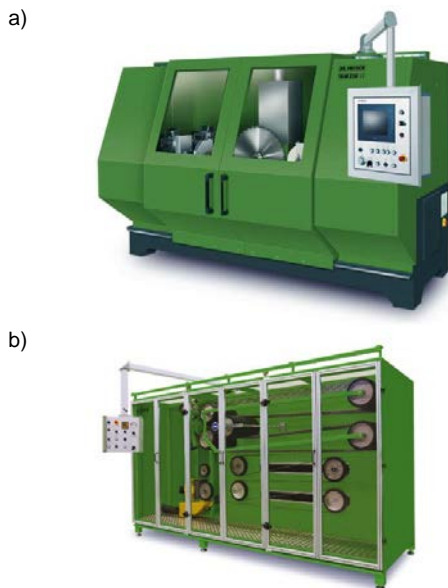
Tabela .2. Spoiwa podłożowe do segmentów do pił spawanych laserowo ze stalowym korpusem [2]

Nazwa spoiwa wg producenta	Główny składnik	Gęstość [g/cm ³]	Temperatura spiekania [°C]	Twardość HRB
V13-500	Fe, Co	7,84 – 7,90	760 – 960	95 – 96
V130-589	Co	8,65 – 8,69	800 – 960	104 – 105
V7-599	Fe, Ni	7,44 – 7,51	860 – 900	60 – 64
V6-790	Ni	8,42 – 8,47	860 – 940	97 – 99
V21-790	Ni	8,62 – 8,64	880 – 1000	100 – 102
V25-898	Fe, Co	8,13 – 8,18	1020 – 1140	90 – 97
V2-699	Co, Ni	9,32 – 9,44	1040 - 1200	107 - 108

Obróbka mechaniczna

Można wyróżnić dwa warianty postępowania z produktami spiekania, tj. końcową obróbkę narzędzia lub obróbkę elementu ściernego przed jego zamocowaniem w korpusie narzędzia. Popularność narzędzi diamentowych, szczególnie pił i wiertel, była także możliwa dzięki skonstruowaniu i produkcji specjalistycznych obrabiarek do tych operacji (rys.8).

Produkty spiekania wytwarza się o wymiarach nieco większych w stosunku do wymiarów gotowego wyrobu. Oczyszczenie powierzchni, tzw. odślonienie diamentów i nadanie narzędziu wymaganych wymiarów w określonych tolerancjach następuje w wyniku szlifowania [23]. Tradycyjnie do tego celu stosuje się ściernice standardowe, najczęściej z węglikiem krzemu.

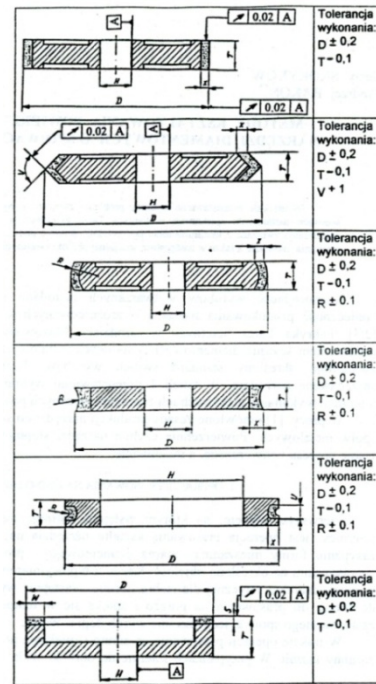


Rys. 8. Automaty do obróbki końcowej (oczyszczanie, otwieranie powierzchni diamentowej, nadawanie wymaganych wymiarów) obróbki: a) pił tarczowych, b) pił linowych [2]

Innym popularnym sposobem jest obróbka elektroerozyjna [24-26]. Zaletą tej metody, obok szybkości działania, jest

możliwość względnie łatwego profilowania powierzchni czynnej ściernicy w następstwie anodowego rozpuszczania spoiwa metalicznego.

Następstwem działania wysokich temperatur na stalowy korpus, w szczególności pił, podczas montażu segmentów jest jego deformacja i powstanie naprężeń. Tradycyjnie, te niekorzystne efekty były niwelowane ręcznie młotkiem przez bardzo doświadczonego specjalistę. Współcześnie operacje wykonuje się na maszynach, które są zaopatrzone w zestawy rolek naciskających na korpus, zgodnie ze wskazaniami czujników kontrolujących jego wymiary i stan deformacji (rys.10).



Rys. 9. Tolerancje wymiarów ściernic diamentowych do szkła wytwarzanych w Fabryce Tarcz Ściernych w Grodzisku Maz. [25]



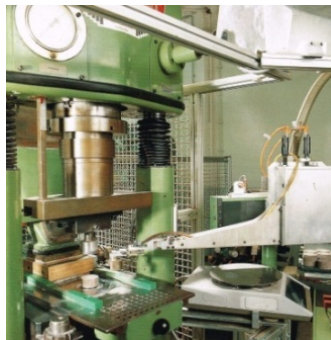
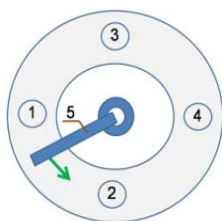
Rys. 10. Półautomat do usuwania naprężeń w korpusach pił [2], który zastępuje wcześniej stosowany młotek i wycucie pracownika

Kontrola jakości

Wzrost zastosowań i popularność nie byłaby możliwa bez rygorystycznej kontroli jakości wytwarzanych narzędzi. Produkty, powstałe w każdej z wyżej opisanych operacji oraz surowce, w przypadkach czołowych producentów, są poddawane w całości lub wybiórczo ocenie jakości (rys.9). Czynności kontrolne w dużym stopniu są lub mogą być zautomatyzowane, zaś pobieranie próbek do kontroli może być wykonywane za pomocą względnie prostych robotów.

Jakość proszków będących spoiwami (skład chemiczny, struktura, ziarnistość, stopień rozwinięcia powierzchni, kształt ziarn, gęstość nasypowa, wilgotność, itd.) jest opisana wewnętrznymi normami ich producentów i użytkowników,

a także znormalizowana jest jakość poszczególnych składników tworzących spoiwo. Podobnie każdorazowo jest kontrolowany surowiec diamentowy. Pewnego rodzaju standardem jest kontrola jakości produktów po każdej z operacji. W przypadkach elementów już sprasowanych jest ich masa i wymiary, a spieczonych także ich twardość i ścieralność. W przypadku narzędzi gotowych kontrolowane są ich wymiary oraz wytrzymałość zamontowanych elementów diamentowych na odpadnięcie.



Rys. 11. Zautomatyzowane stanowisko kontrolne wagi wyprasek. Robot przenoszący wypraskę z prasy (1) na wagę (2), następnie po jej wskazaniu i porównaniu z wartością wymaganą przenosi na paletę do dalszych operacji (3) lub odrzuca jako brak (4) [27]

Podsumowanie

Diament jest najtwardszym i najbardziej odpornym na ścieranie materiałem inżynierskim, dlatego też jest szczególnie przydatny jako materiał ścierny. W ciągu ostatnich 20-30 lat narzędzia diamentowe ze specjalnych i drogich stały się pospolitymi i względnie tanimi, szczególnie w szeroko rozumianym budownictwie i górnictwie. Atrakcyjność rynkowa tych narzędzi jest następstwem ich efektywności (wydajność pracy, trwałość, uzyskany stan powierzchni po obróbce) w konkretnych zastosowaniach. Drugim czynnikiem jest ich konkurencyjna cena, w związku z względnym obniżeniem cen ścierni diamentowych w okresie ostatnich lat oraz wzrostem ich produkcji na świecie.

Rynek globalny wymusza określone działania na producentach narzędzi diamentowych. Aby dany wytwórca narzędzi mógł mieć znaczącą pozycję na rynku, musi wytwarzać je coraz to taniej, przy jednoczesnym zachowaniu określonych wymogów jakościowych. Rozwój technik komputerowych, automatyzacji i robotyzacji sprawiają, że odgrywają one coraz większą rolę także w produkcji diamentowych narzędzi ściernych.

Nakłady na maszyny technologiczne i operacje kontrolne są jednak względnie duże, dlatego robotyzacja i automatyzacja jest opłacalna przy dostatecznie dużej wielkości produkcji. Obserwuje się postępującą nie tylko globalizację na rynku ściernych wyrobów diamentowych, ale i coraz większą specjalizację w asortymentach narzędzi diamentowych.

Autorzy pragną podziękować firmie Dr. Fritsch (Niemcy) za pomoc podczas zbierania i analizy materiałów do niniejszego opracowania.

LITERATURA

1. Bakoń A., Szymański A., Practical Uses of Diamonds. E. Horwood – PWN, Londyn – Warszawa, 1992.
2. Materiały informacyjno-techniczne firmy Dr. Fritsch (Niemcy).
3. Żak-Szwed M., Kształtowanie mikrostruktury i właściwości spieków żelazo-miedź przeznaczonych na osnowę materiałów metalowo-diamentowych. AGH, Kraków 2009.
4. Kemphuis B. J., Serneels A., Cobalt and nickelfree bond powder for diamond tools. Industrial Diamond Review, 1, 26-32, 2004.
5. Materiały informacyjno-techniczne firmy Unio Miniere (Belgia).
6. Materiały informacyjno-techniczne firmy KAMB (Polska).
7. Bakoń A., Charakterystyka i zastosowania supertwardych ziarn ściernych. Biuletyn Informacyjny Kombinat Przemysłu Narzędziowego VIS, 1, 25-33, XIII NSOS Wilga 1990.
8. Barylski A.: Systemy automatycznej kontroli wymiarowej mikroziaren ściernych. Diagnostyka, nr 3(39), 253-258, 2006.
9. Materiały informacyjno-techniczne firmy Du Pont (USA).
10. Materiały informacyjno-techniczne firmy EID (W. Brytania).
11. Materiały informacyjno-techniczne firmy LANDS (USA).
12. Materiały informacyjno-techniczne firmy Element Six (Irlandia).
13. Materiały informacyjno-techniczne firmy ABC Warren Superabrasives (USA).
14. Materiały informacyjno-techniczne firmy World Superabrasives (USA).
15. Materiały informacyjno-techniczne firmy China Superabrasives (Chiny).
16. Bakoń A., Fizykochemiczna analiza własności syntetycznych diamentów w aspekcie możliwości rozszerzenia zakresu zastosowań. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska, Wrocław 1980.
17. Materiały informacyjno-techniczne firmy Vollstaedt Diamant (Niemcy).
18. Materiały informacyjno-techniczne firmy Willy A. Bachofen AG (Szwajcaria).
19. ARIX Technology. Materiały informacyjno-techniczne firmy Shinhan Diamond (Korea).
20. Romański A., Lachowski J., Frydrych J., Energy of plastic deformation as an estimator of retentive properties of metal matrix in diamond impregnated tools. Diamond Tooling Journal, 1, 28-32, 2009.
21. Konstany J., Stephenson T. F., Tyrala D., Novel Fe-Ni-Cu-Sn matrix materials for the manufacture of diamond impregnated tools. Diamond Tooling Journal, 2, 26-29, 2011.
22. Żak-Szwed M., Konstany J., Ratuszek W., Properties of Fe-Cu matrix for diamond impregnated tools, Industrial Diamond Review, 2, 29-34, 2008.
23. Weber G., Weiss C., DIAMIX – Eine Bindungsfamilie auf Basis von DIABASE-V21. IDR, 39, nr 11, 168-171, 2005.
24. Koziański A., Metody obciążania ścierni ze ścierni supertwardych. Podstawy i technika obróbki ścierni. Zbiór prac XVI Naukowej Szkoły Obróbki Ścierni, 129-144, Wydawnictwo WSInż. Koszalin 1993.
25. Skoryk J., Bakoń A., Metody kształtowania powierzchni czynnej narzędzi diamentowych o spoiwach metalowych. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, nr 59, Konferencje nr 34, 313-318, 1995.
26. Gołąbczak A., Elektrochemiczne ostrzenie ścierni z zastosowaniem prądu przemiennego. Praca habilitacyjna. Zeszyty Naukowe – Politechnika Łódzka. Rozprawy Naukowe. Zeszyt 234, Łódź 1996.
27. Materiały informacyjno-techniczne firmy Lukas Erzett (Niemcy).