

Przecinanie materiałów niemetalowych tarczą diamentową

Cutting with diamond saw blades non-metallic materials

BOŻENA CIAŁKOWSKA
MAGDALENA WIŚNIEWSKA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.4.48>

Przedstawiono specyfikę przecinania tarczami diamentowymi i rodzaje narzędzi ze względu na ich konstrukcję. Opisano możliwości zastosowania tej metody w odniesieniu do różnych materiałów trudnoobrabialnych, głównie niemetalowych. Wskazano na zalety i ograniczenia dotyczące różnych rodzajów tarcz diamentowych.

SŁOWA KLUCZOWE: materiały trudnoobrabialne, cięcie, tarcze diamentowe

The article presents a specificity of cutting with abrasive diamond blade saws. The types of blades considering construction are discussed. Also possibilities of the application of this method in relation to various, hard – machinable mostly non-metallic materials are described. Paper presents advantages and limitations concerning different types of blades.

KEYWORDS: hard machinable materials, cutting, diamond saws

Przecinanie jest jednym z podstawowych procesów technologicznych wytwarzania wyrobów. W zależności od wymagań technologicznych i przeznaczenia kształtowanego elementu przecinanie może być pierwszą operacją poprzedzającą dalszą obróbkę albo pierwszą i ostatnią, a więc może stanowić tzw. cięcie na gotowo [2]. Stosowane w przemyśle metody rozdzielania materiałów realizuje się wieloma technikami obróbki ubytkowej i za pomocą różnych narzędzi. Każda z metod rozdzielania ma swój zakres i obszar zastosowania, w którym jej efekty są uzasadnione technicznie i ekonomicznie.

Rozwój technologii przecinania wynika z dążenia do jak najbardziej ekonomicznego zastosowania określonych narzędzi, z zachowaniem wysokiej efektywności procesu. Dostępne na rynku maszyny i narzędzia cechuje duża precyzja i powtarzalność efektów cięcia. Metody cięcia różnią się ilością zużytej energii, prędkością cięcia, wielkością ubytku materiału, wpływem temperatury na cięty materiał, jak również jakością uzyskanych powierzchni i krawędzi [7].

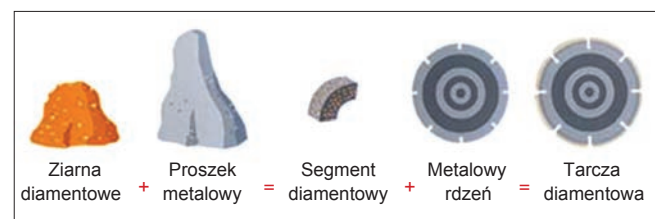
Konieczność obróbki nowoczesnych materiałów wpływa na ciągły rozwój technologii cięcia. Wybór metody zależy od wymagań stawianych przez konstruktora danego elementu oraz od możliwości technicznych, tj. od: rodzaju i grubości ciętego materiału, kształtu wycinanego elementu i wymaganej dokładności kształtu, szerokości strefy wpływu ciepła oraz tolerancji wymiarowych.

Tarcze diamentowe

Tarcze diamentowe powszechnie stosuje się w warunkach przemysłowych od przeszło 70 lat. Za twórcę tych narzędzi uważa się chemika i farmaceutę Richarda Felkera. Około 1939 r. Felker stworzył pierwsze ostrze ściernie,

osadzając mieszaninę ziaren diamentowych, metalowego proszku i oliwy z oliwek na metalowym rdzeniu [14–16]. Taka tarcza miała służyć przede wszystkim do cięcia kamienia. Po kilku modyfikacjach narzędzia te zaczęto stosować do cięcia betonu i kryształów kwarcu oraz w przemyśle militarnym [15].

Tarcze diamentowe mają setki odmian, które różnią się rodzajem rdzenia i spoiwa, techniką łączenia lub miejscem osadzenia ścierniwa. Te narzędzia ściernie są stosowane do przecinania różnego rodzaju materiałów, np. kamieni naturalnych, monokryształów, szkła, ceramiki, betonu i wielu innych. Bez względu na odmianę i zastosowanie tarcze diamentowe są zbudowane z metalowego korpusu, na którego obwodzie (zewnątrznym lub wewnętrznym) znajduje się warstwa diamentu zatopionego w spoiwie metalowym (rys. 1).



Rys. 1. Idea powstawania ścierniej tarczy diamentowej [14]

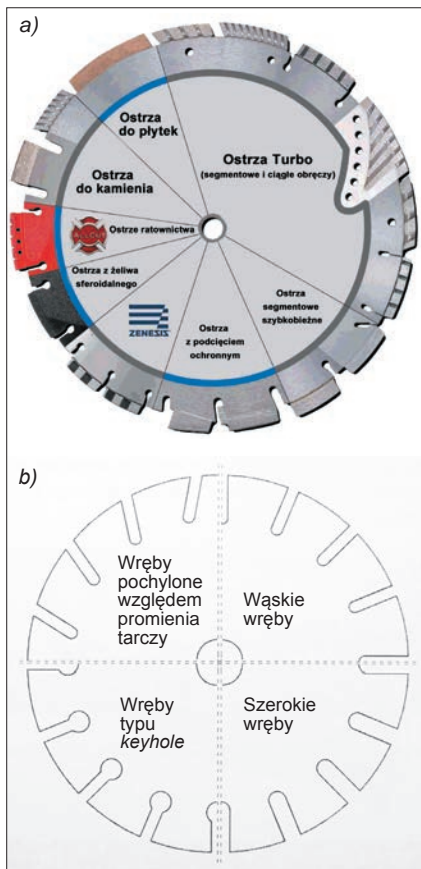
Jak wytwarza się tego typu narzędzia? Ogólnie proces można podzielić na etapy:

- przygotowania i mieszania surowców,
- prasowania na zimno (lub na gorąco),
- spiekania,
- łączenia elementów diamentowych z korpusem,
- obróbki mechanicznej [1, 6, 9].

Zazwyczaj do spajania diamentów wykorzystuje się metalurgię proszków. Alternatywną metodą jest galwaniczne osadzanie metalu osnowy. Materiałem osnowy w narzędziowych spiekach metaliczno-diaamentowych mogą być proszki kobaltu, a także kobalt z żelazem, miedzią, brązem lub nikiem [9]. W trakcie formowania diamentowej warstwy ścierniej kryształy diamentu rozmieszcza się kierunkowo – tak aby uzyskać optymalną jakość skrawania. W celu połączenia diamentowych segmentów i krążków z materiałem korpusu obecnie najczęściej stosuje się dwie metody: lutowanie i spawanie laserowe [1, 17]. Wybór metody łączenia zależy od przeznaczenia narzędzia i nacisków wywieranych w układzie *materiał obrabiany – narzędzie*. W przypadku narzędzi stosowanych w obróbce na mokro segmenty poddaje się lutowaniu. Zastosowanie takich narzędzi do obróbki na sucho mogłoby spowodować osłabienie spoiny pod wpływem temperatury występującej podczas cięcia, a nawet oderwanie segmentów. Spawanie laserowe wykorzystuje się natomiast w produkcji narzędzi do pracy na sucho [5, 9].

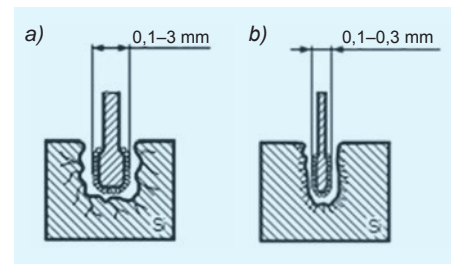
Ze względu na mnogość odmian i tym samym szerokie zastosowanie tarcz diamentowych spotyka się różne

* Dr hab. inż. Bożena Ciałkowska prof. nadzw. PWR (bozena.cialkowska@pwr.edu.pl), dr inż. Magdalena Wiśniewska (m.wisniewska@pwr.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej



Rys. 2. Rodzaje tarcz diamentowych: a) przykładowe rodzaje zewnętrznych krawędzi tnących i obszar zastosowania, b) podstawowe rodzaje wrębów [5, 9, 18]

Rys. 4. Strefa uszkodzonej warstwy wierzchniej dla tarcz: a) tnących zewnętrznym obwodem, b) tnących wewnętrznym obwodem



oraz właściwości przecinanego materiału – w przypadku tarcz tnących wewnętrznym obwodem mieści się ona w zakresie $16 \div 20$ m/s, a w przypadku tarcz z zewnętrznym nasypem – przeszło dwukrotnie więcej.

Czynniki decydujące o wyborze narzędzia to oczekiwana jakość powierzchni po cięciu oraz szerokość szczeliny cięcia, mające wpływ na ekonomikę procesu. Należy zaznaczyć, że dla tarcz tnących wewnętrznym obwodem szczelina cięcia oraz strefa uszkodzeń warstwy wierzchniej materiału są znacznie mniejsze niż dla tarcz pracujących zewnętrznym obwodem (rys. 4, [2]).

Chropowatość powierzchni po cięciu tarczami diamentowymi jest ściśle związana z wielkością ziarna i jego koncentracją oraz parametrami przecinania. Dla tarcz tnących wewnętrznym obwodem można uzyskać chropowatość powierzchni R_a rzędu $0,1 \mu\text{m}$, podczas gdy dla tarcz o zewnętrznej krawędzi tnącej wartość ta sięga nawet kilku μm [3].

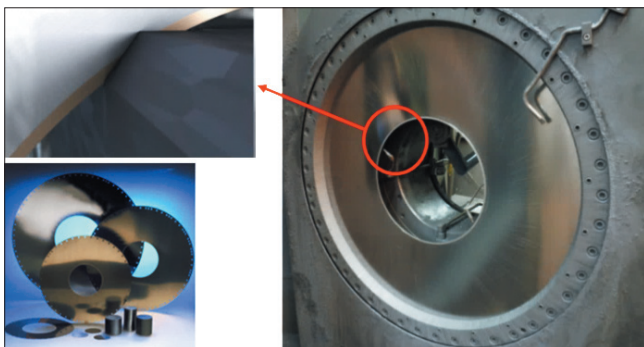
Cięcie tarczą z wewnętrzną krawędzią skrawającą

Tarcza z wewnętrzną krawędzią skrawającą jest narzędziem wytwarzanym podobnie jak tarcze tnące zewnętrznym obwodem. Na krawędzi wewnętrznej znajduje

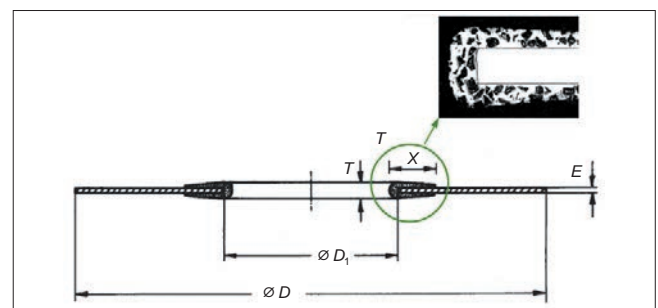
podziały tych narzędzi. Biorąc pod uwagę położenie nasypu ściernego, wyróżnia się tarcze z zewnętrzną krawędzią skrawającą oraz tnące wewnętrznym obwodem. Warstwa diamentowa może być naniesiona w sposób ciągły lub w postaci segmentowej, ze szczelinami lub bez szczelin w korpusie (rys. 2). Tarcze mogą być przeznaczone do pracy na sucho lub mokro, do przecinania materiałów twardych, kruchych i miękkich o różnej strukturze i grubości [21]. Przykładowe rozwiązania konstrukcji tarcz tnących zewnętrznym obwodem przedstawiono na rys. 2.

Tarcze diamentowe tnące wewnętrznym obwodem cechuje nasyp ciągły (rys. 3). Wynika to z grubości korpusu i zupełnie innego sposobu mocowania tej grupy tarcz (co zostało wyjaśnione w dalszej części artykułu).

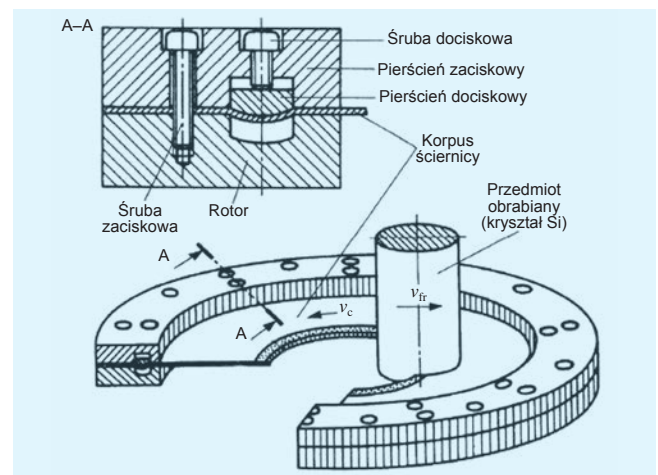
W zależności od przeznaczenia tarczy dobiera się odpowiednio wielkość cząstek proszku diamentowego i jego ułożenie, koncentrację i rodzaj spoiwa wiążącego [5]. Tarcze tnące – wewnętrznym lub zewnętrznym obwodem – występują w podobnym zakresie średnic, tj. od ok. 120 do 900 mm [12, 20]. Prędkość przecinania zależy od obrotów wału przecinarki, średnicy i rodzaju tarczy diamentowej



Rys. 3. Tarcza z wewnętrzną krawędzią skrawającą, stosowana do przecinania ściernego [13, 19]



Rys. 5. Przekrój tarczy diamentowej do przecinania wewnętrzną krawędzią: D – średnica zewnętrzna, D_1 – średnica wewnętrzna, T – szerokość cięcia, X – szerokość nasypu diamentowego, E – grubość rdzenia [12]



Rys. 6. Zasada mocowania i przecinania przedmiotu wewnętrznym obwodem tarczy diamentowej [8]

się kilkuwarstwowa powłoka galwanicznie spojonych mikroziaren diamentowych. Na jej zewnętrznym obwodzie promieniowo rozmieszczone są otwory służące do mocowania, napinania i środkowania narzędzia w uchwycie głowicy. Schemat takiego narzędzia przedstawiono na rys. 5, a na rys. 6 – istotę cięcia tarczą z wewnętrzną krawędzią skrawającą i system jej mocowania w głowicy maszyny.

Obecnie stosowane w przemyśle tarcze mają grubość $0,1\pm 0,2$ mm, co powoduje, że są mało sztywne. W celu zminimalizowania tego problemu tarcza jest mocowana poprzez promieniowo rozmieszczone na całym obwodzie otwory (rys. 6), a następnie równomiernie napinana, aby uzyskać odpowiednią sztywność narzędzia [3, 4]. Obszar zastosowania tych tarcz to przede wszystkim precyzyjne przecinanie elementów optycznych oraz elektronicznych. Narzędzia te – ze względu na bardzo małą szerokość cięcia, dobrą jakość uzyskiwanych powierzchni, małą strefę uszkodzeń oraz bardzo dobrą dokładność wymiarowo-kształtową – nadają się do przecinania monokryształów krzemu, kwarcu, szafiru, szkła oraz ceramiki.

W przypadku przecinania tarczami diamentowymi z wewnętrznym nasypem kilka istotnych czynników może generować błędy kształtu i chropowatości powierzchni. Nieregularny przepływ chłodziwa, niewłaściwie przeprowadzone napinanie tarczy oraz niewystarczająco sztywne zamocowanie elementu ciętego mogą skutkować nierównowagą sił, sprzyjającą uginaniu się tarczy i zmianom kształtu nasypu [10, 11]. Dodatkowo należy brać pod uwagę fakt, że wraz z rosnącą liczbą przecięć następuje pełzanie i relaksacja materiału tarczy, co powoduje zmianę kształtu otworu na eliptyczny i wywołuje bicie. Istotne jest również, aby na wewnętrznej powierzchni grani znajdowało się ziarno ściernie, gdyż odstonięcie rdzenia może doprowadzić do zniszczenia tarczy (pęknięcia, wygięcia) i uszkodzenia ciętego materiału [3].

Cięcie tarczą z zewnętrzną krawędzią skrawającą

Podczas gdy tarcze tnące wewnętrznym obwodem wykorzystuje się przede wszystkim do precyzyjnego przecinania drogich i delikatnych materiałów, zakres zastosowania pił tarczowych tnących zewnętrznym obwodem jest bardzo szeroki. Biorąc pod uwagę system mocowania tych tarcz, od korpusu wymagana jest duża sztywność, co przekłada się na grubość tarczy. W zależności od warunków pracy stosowane piły mają różny kształt i rozmiar wrębów (rys. 7). Wręby zwiększają przepływ chłodziwa w obszarze styku narzędzia z materiałem ciętym i przedłużają trwałość narzędzia. Wybór określonego typu tarczy jest podyktowany właściwościami ciętego materiału. Takie materiały, jak klinkier, łupek naturalny, płytki ceramiczne czy ceramika budowlana, wymagają zastosowania tarcz z wieńcem ciągłym. W przypadku marmuru, cegły, piaskowca i betonu dobrze sprawdzają się tarcze segmen-

towe. Wśród materiałów konstrukcyjnych i budowlanych, do których cięcia stosuje się tarcze tnące zewnętrznym wieńcem, znajdują się również: zbrojony beton, asfalt, granit, marmur, lastryko, gres, laminaty i inne.

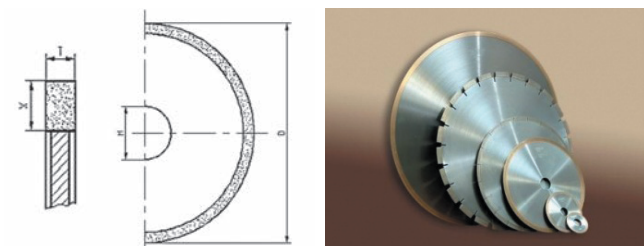
Tarcze diamentowe tnące zewnętrznym obwodem są mniej wrażliwe na rozerwanie korpusu niż tarcze z wewnętrznym nasypem ściernym. W tym przypadku jednak pojawiają się uszkodzenia związane z temperaturą, która może sprzyjać odkształcaniu się korpusu tarczy. Nierównomierne zużywanie się segmentów zwykle jest związane ze złym osiowym mocowaniem tarczy. Najczęstszym błędem prowadzącym do zniszczenia tarczy jest niedopasowanie konstrukcji narzędzia do właściwości przecinanego materiału.

Podsumowanie

Narzędzia diamentowe odgrywają istotną rolę w kształtowaniu wyrobów. Współczesne materiały budowlane i konstrukcyjne, cechujące się wysoką odpornością na ścieranie, wymagają narzędzi o najlepszych właściwościach skrawnych i wysokiej odporności ścierniej. W obróbce kamienia naturalnego i materiałów półprzewodnikowych krystalicznych istotne są precyzja oraz minimalizowanie strat materiału. Tarcze diamentowe pozwalają uzyskać bardzo dużą dokładność wymiarowo-kształtową i korzystny stan warstwy wierzchniej obrabianego materiału przy dobrej wydajności procesu, dlatego znajdują zastosowanie w wielu branżach przemysłu. Pod tym względem niewiele narzędzi może z nimi konkurować.

LITERATURA

1. Bakoń A., Barylski A. „Automatyzacja procesów produkcji spiekanych kompozytów diamentowo-metalowych”. *Mechanik*. 8–9 (2015).
2. Ciałkowska B. „Cięcie struną zbrojoną materiałów trudnoobrabialnych”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2008.
3. Ciałkowska B., Wiśniewska M., Druszcz I., Banaszkiewicz K. „Efekty cięcia tarczą diamentową z wewnętrzną krawędzią skrawającą wybranych materiałów trudnoobrabialnych”. *Mechanik*. 8–9 (2015).
4. Ciałkowska B., Wiśniewska M. „Zagadnienie cięcia wybranych materiałów trudnoobrabialnych narzędziami diamentowymi”. *Innovative manufacturing technology 2*. Ed. by Piotr Rusek. Kraków, 2012.
5. Jaworska L. „Diament – otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007.
6. Konstany J. *Cobalt as a matrix in diamond impregnated tools for stone sawing applications*. Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2003.
7. Mazurkiewicz A. „Czynniki wpływające na wybór technologii przecinania materiałów na obrabiarkach CNC”. *Logistyka*. 3 (2011).
8. Oczko K.E. „Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych”. Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 1996.
9. Romański A. „Rozwój materiałów osnowy w narzędziowych spiekach metaliczno-diamentowych”. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2015.
10. Struth W.F., Steffens K., Koenig W. „Wafer slicing by internal diameter sawing”. *Precision Engineering*. 10 (1988).
11. Tkaczyk M. „Porównanie wpływu technologii cięcia płytek krzemowych na ich geometrię i charakter warstwy uszkodzonej”. Warszawa: Politechnika Warszawska, 2008.
12. Materiały informacyjno-techniczne Winter diamond tools. Saint-Gobain Abrasives Electronics, Niemcy, 2006.
13. Materiały informacyjno-techniczne Meyer-Burger, Szwajcaria, 2013.
14. www.penhall.com/quick-history-diamond-blades (dostęp: 16.12.2016 r.).
15. barrancadiamond.com/home/history.html (dostęp: 16.12.2016 r.).
16. www.paver-saws.com/diamond-blade-evolution.htm (dostęp: 12.12.2016 r.).
17. www.nortonabrasives.com/en-us/resources/expertise/understanding-diamond-blades (dostęp: 16.12.2016 r.).
18. www.narzedziadiamentowe24.pl/ (dostęp: 01.12.2016 r.).
19. www.abcwarren.com/uses-apps.aspx (dostęp: 16.12.2016 r.).
20. www.diamond.com.pl/85,pila-tarczowa-diamentowa-o-nasypieciaglym-8211-1a1r.html (dostęp: 04.12.2016 r.).
21. www.topnar.pl/tarcze-diamentowe-i-%C5%9Bciernice (dostęp: 16.12.2016 r.).



Rys. 7. Schemat przekroju tarczy diamentowej z zewnętrznym obwodem tnącym oraz przykładowe narzędzia tej grupy [20]