

Wybrane zagadnienia technologii cięcia strumieniem wody

PAWEŁ ADAMCZYK, MAŁGORZATA SŁOMION, ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI, MACIEJ MATUSZEWSKI, OLEG POLISHCHUK*

W artykule przedstawiono technologię cięcia strumieniem wody. W szczególności scharakteryzowano uwarunkowania technologiczne determinujące ten sposób obróbki. Uwypuklono najważniejsze zalety i wady cięcia strumieniem wody.

Wprowadzenie

Technologia cięcia strumieniem wody została opatentowana już w 1968 roku w Stanach Zjednoczonych, natomiast jej dynamiczny rozwój nastąpił dopiero w latach 80-tych ubiegłego wieku i obecnie jest cały czas rozwijana. Abrazyjne cięcie strumieniem wody jest procesem cięcia na zimno mocno sprężonym strumieniem wody przepuszczonym przez dyszę o małej średnicy, tworzącej koherentny strumień. Czysty strumień wody pozwala na cięcie materiałów miękkich jak i trasowanie czy też nacinanie materiałów o większej twardości. Dzieje się tak dzięki zjawisku erozji oraz zmęczeniu ścinającemu. Podstawową zaletą tej technologii jest bardzo duża wszechstronność ze względu na rodzaj ciętego materiału. W Tabeli 1 przedstawiono przykładowe materiały, ich grubości oraz prędkości cięcia, co przekłada się na wydajność metody.

W celu cięcia materiałów twardych, takich jak metale, szkło czy też ceramika, do strumienia wody dodaje się ziarna ściernie w postaci garnetu. Ma on formę drobnego proszku, najczęściej krzemionki, oliwinu lub granatu. O jego jakości świadczy czystość ścierniwa, ilość płukań oraz ziarnistość, której dolna granica sięga nawet 0,088 mm, a górna wynosi zazwyczaj 0,3 mm [1, 6]. Ziarnistość cząstek garnetu używanego do cięcia nazywana jest granulacją i zazwyczaj wynosi od 50 do 220 jednostek, przy czym granulacja 80 jest najczęściej używaną [6]. Istotny jest fakt, że przedsiębiorstwa, stosujące technologię abrazyjnego cięcia wodą, używają garnetu jednokrotnie. Podyktowane jest to dokładnością kolejnych obróbek i zachowaniem czystości garnetu. Powtór-

nie użyty garnet zawsze będzie zawierał drobinki poprzednio ciętego materiału, co z kolei pogarszałoby dokładność cięcia kolejnych materiałów. Jednokrotne stosowanie ścierniwa może wpłynąć na to, że proces będzie niezwykle dokładny.

Technologia cięcia wodą z dodatkiem garnetu zwykle nazywana jest obróbką hydro-ścierną lub abrazyjnym cięciem strumieniem wody (z ang. *Abrasive Water Jet – AWJ*). Sam proces nie różni się zbyt od cięcia czystym strumieniem wody, poza dodatkiem garnetu podawanym na etapie komory mieszania. Przykładowa komora została zaprezentowana na rysunku 1.

Sprężona woda zasilana przez pompę dostarczona zostaje przewodami do komory mieszania, gdzie dostarczany jest garnet. Istotną kwestią, często zmienną dla producentów wycinarek, jest wydajność podawania ścierniwa do komory w kg/min. Ważnym elementem jest sposób przechowywania

Tabela 1. Typowe prędkości cięcia czystym strumieniem wody wybranych materiałów [2]

Rodzaj materiału	Grubość materiału mm	Prędkość cięcia m/min
Tworzywo sztuczne ABS	2,0	2,0
Karton	1,4	6,0
Karton falisty	6,4	3,0
Płytką obwodu scalonego	2,6	25,4
Skóra	1,6	96,0
Pleksiglas	3,0	0,9
Guma	1,3	90,0
Dywan z podkładką gumową	9,5	150,0
Drewno	3,2	1,0

* inż. Paweł Adamczyk, mgr inż. Małgorzata Słomion, dr hab. inż. Maciej Matuszewski, prof. uczelni – Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania, prof. Oleg Polishchuk – Narodowy Uniwersytet Techniczny, Chmielnicki, Ukraina, mgr inż. Andrzej Wojciechowski – ODEKA – Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Bydgoszcz.

garnetu, co determinuje jego wilgotność oraz czystość. W skrajnych sytuacjach za względu na wilgotność i czystość może dojść do zapchania się ujścia przewodu dostarczającego ścierniwo lub samej dyszy tnącej. Spowoduje to utratę jakości powierzchni ciętej, zmniejszenie prędkości cięcia, a nawet brak przecięcia. Dysza tnąca odpowiedzialna jest za ostateczne tworzenie się strumienia tnącego. Zazwyczaj jej średnica mieści się w granicach $0,5 \div 3,0$ mm w zależności od zasilanego przez pompę ciśnienia wody oraz obecności garnetu. Trwałość dyszy szacunkowo może osiągać od 20 do nawet 120 godzin pracy, i zależy głównie od jakości i rodzaju ścierniwa [2, 7]. Po upływie określonej przez producenta dyszy liczby godzin pracy lub po kontroli wymiarów krytycznych, należy wymienić ją na nową. Spowodowane jest to wycieraniem przez ścierniwo ścianek wewnętrznych, co zwiększa jej średnicę, a więc również powoduje większe zużycie garnetu oraz utratę dokładności wymiarowej. Są to koszty konieczne przy wykorzystywaniu tej technologii. Istotne jest więc, aby zoptymalizować pracę maszyny, wybrać odpowiedni garnet oraz szczególnie uważać na błędy na poziomie programowania parametrów technologicznych – np. zbyt duże prędkości posuwu czy też brak korekty odległości dyszy od arkusza blachy.

Cięcie strumieniem wody z dodatkiem ścierniwa wykorzystywane jest przy cięciu wielu różnych i trudnych do obróbki materiałów, np.: ceramika, szkło, kevlar bez efektu zwęglania, materiały kompozytowe itp. Jednocześnie istnieje bardzo małe zagrożenie pożarem i porażenia prądem. Możliwa jest również operacja w warunkach zagrożenia wybuchem, np. przecinanie pocisków [2]. W Tabeli 2 przedstawiono przykładowe materiały, które można ciąć strumieniem wody z dodatkiem ścierniwa.

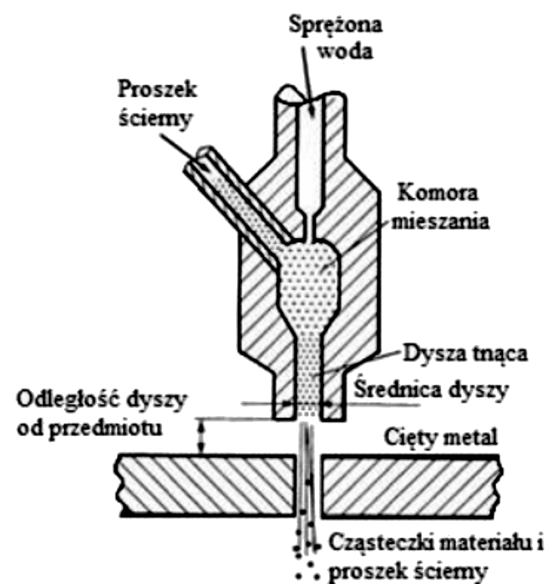
Ogólnie, w stosunku do cięcia samą wodą zauważalne są znacznie mniejsze prędkości cięcia strugą wody z proszkiem ściernym.

Podstawowe parametry abrazyjnego cięcia wodą są następujące [1, 2]:

- prędkość cięcia w m/min,
- ciśnienie wody w MPa,
- wydajność podawania proszku w kg/min,
- rodzaj i ziarnistość proszku ściernego w mm,
- odległość dyszy od przedmiotu w mm,
- geometria dyszy.

Uwarunkowania technologiczne abrazyjnego cięcia wodą

Zaletami technologii abrazyjnego cięcia wodą są przede wszystkim: duża dokładność cięcia, bardzo dobra jakość powierzchni ciętej oraz uniwersalność zastosowań ze względu na rodzaj ciętego materiału. Posiada ona jednak nie tylko zalety, ale i szereg wad. Głównymi są: duże zużycie wody i energii, potrzebnej do sprężenia ciśnienia przez pompę oraz ilość wykorzystanego środka ściernego. Dodać do nich można również koszty eksploatacyjne, czyli regularna wymiana dyszy tnącej oraz elementarnych części pompy, oczyszczanie wanny z garnetu i złomu odpadowego oraz samo zakupienie, zarów-



Rys. 1. Schemat budowy głowicy urządzenia do cięcia strumieniem wody z proszkiem ściernym [2]

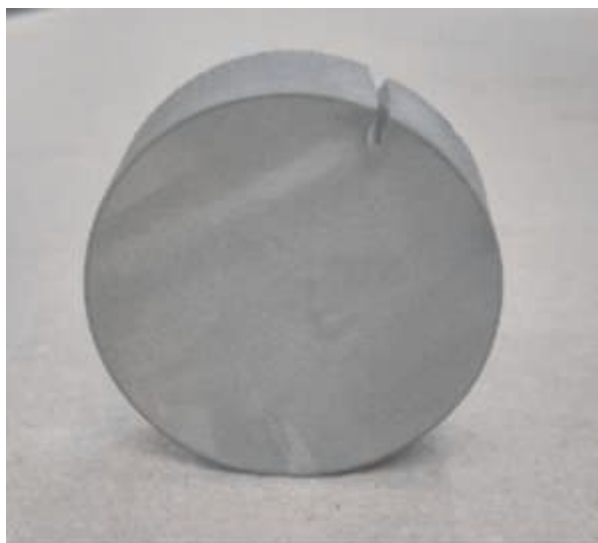
no maszyny jak i garnetu, a także jej instalacja, szkolenie operatorskie jak i oprogramowanie [3].

W przypadku wycinania elementów wewnętrznych, takich jak otwory, miejsce przebicia oraz wyjścia należy wykonać od strony odpadu (rys. 2), zwracając jednocześnie uwagę na możliwe ponowne wykorzystanie kawałka odpadowego blachy.

Z uwagi na to, że miejsce przebicia powstaje poza ścieżką cięcia i jakość tego etapu jest drugoplanowa, to najważniejszym czynnikiem podczas tego procesu jest czas. Przyspieszenie tego procesu może odbyć się poprzez zwiększenie ciśnienia podawanej strugi wody, wysokości dyszy od powierzchni arkusza blachy, kąta padania strumienia, poziomu zużycia dyszy, rodzaju oraz sypliwości garnetu. Ścierniwo to ok. 0,1% objętości całej strugi. Łączy się ono ze strumie-

Tabela 2. Typowe prędkości cięcia strumieniem wody z proszkiem ściernym dla różnych materiałów [2]

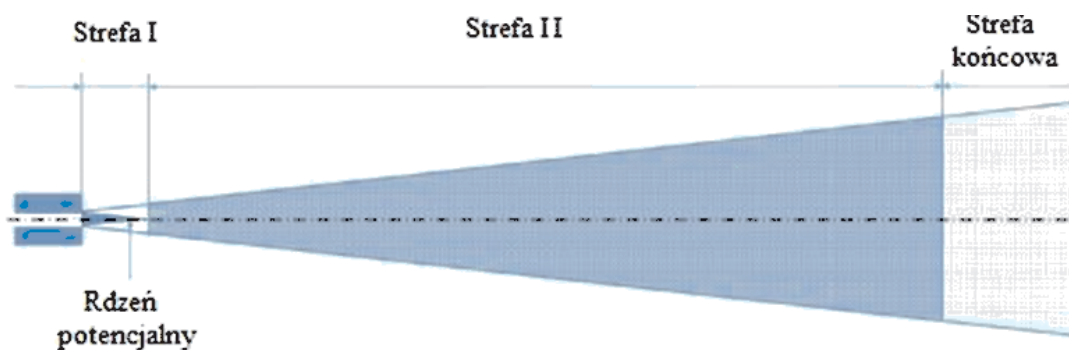
Rodzaj materiału	Grubość materiału mm	Prędkość cięcia m/min
Aluminium	12,5	0,48
Mosiądz	25,4	0,12
Miedź	16,0	0,18
Stal węglowa	19,0	0,18
Stale odporne na korozję	25,4	0,12
Tytan	12,7	0,30
Guma	7,6	5,0
Ceramika w osnowie aluminium	0,6	0,15
Szkło	19,0	1,0
Włókno szklane	2,5	5,00
Kevlar	25,4	0,07



Rys. 2. Wycięty krążek odpadowy z zauważalnym miejscem przebicia oraz wyjścia

woduje sam proces przebicia oraz powierzchni jaką zajmuje. Po opuszczeniu dyszy wiązka kształtuje się w specyficzny sposób przedstawiony na rysunku 3.

Struga wody tworzy kształt stożka, co podczas obróbki ma negatywne skutki – geometria wyciętego detalu zmienia się w dużym stopniu [4]. Prostopadłość powierzchni górnej arkusza z powierzchnią ciętą jest w takim przypadku niemożliwa do osiągnięcia. Nie ma możliwości korekcji samego kształtu strumienia. Skorygować za to można jego położenie względem powierzchni. Stosuje się do tego dwa napędy obracające głowicę w taki sposób, aby powierzchnia boczna spełniała wymagania kształtowe. Skutki niekorzystnego wpływu geometrii strumienia przenoszone są na część odpadową materiału. Silniki napędowe głowicy zmieniają kąt padania wiązki wodnej niezależnie od kierunku cięcia. Warto nadmienić, że w miejscach, gdzie ostateczna jakość obróbki ma mniejsze znaczenie, jak choćby na wejściu oraz wyjściu głowicy z linii cięcia, zwykle napędy resetują układ pochylenia strumienia. Strona cięcia zwykle jest określona odgórnie przez producenta wycinarki.



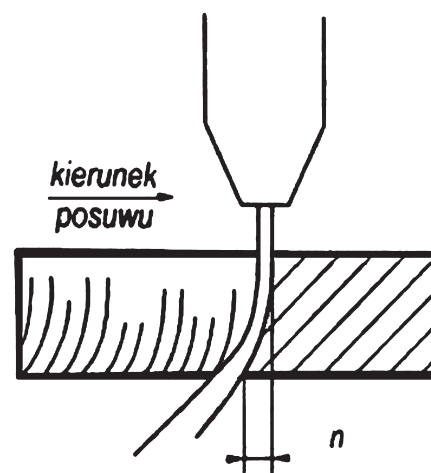
Rys. 3. Schemat kształtowania się strumienia wody [5]

niem, otrzymując natychmiastowe przyspieszenie, co może powodować jego miejscowe zakłócenia jego stabilności, spadek energii i siły naporu. Tak powstała mieszanka uderza w materiał, wykorzystując swoją dużą energię kinetyczną. Prędkość strugi zależna jest głównie od ciśnienia wody. Zaraz po wyjściu z dyszy natychmiast traci swoją prędkość, i co jest z tym związane, również zdolność erozyjną strumienia. Dopóki nie nastąpi pełne przebicie, to ziarna powodują miejscową deformację podczas kontaktu z powierzchnią oraz powstawanie mikro-wiórów stopniowo usuwanych z wodą z miejsca obróbki [3].

Zaraz po zakończeniu etapu przebijania materiału następuje przejście wiązki tnącej w stronę linii cięcia. Przejście to jest bardzo ważne i może od niego zależeć wiele parametrów jakościowych. Po to, aby obróbka spełniała założone kryteria należy również przyjąć odpowiednie parametry cięcia. Zwrócić uwagę należy przede wszystkim na prędkość cięcia. Jest ona kluczowa nie tylko w kontekście stałego, nieprzerwanego przecięcia arkusza, jak również jakości powierzchni bocznej detalu obrabianego.

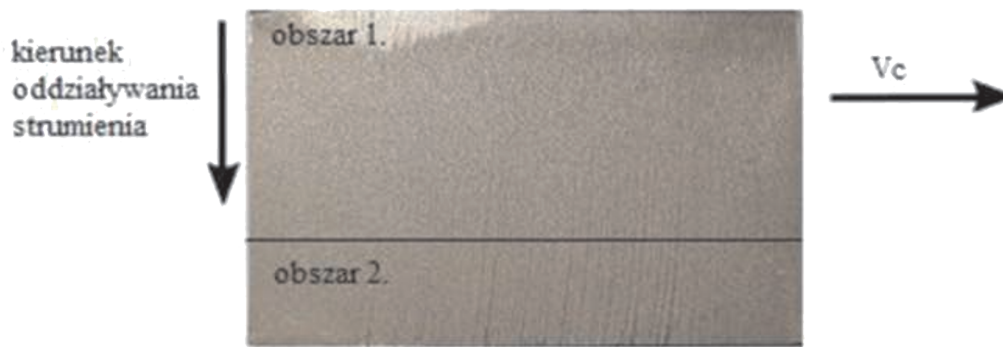
Po przebicciu materiału metodą abrazyjnego cięcia strumieniem wody, głowicę kieruje się w stronę linii cięcia, niezbędna droga jest zwykle krótka z powodu małych szkód, jakie po-

Podczas obróbki struga tnąca odchyła się w kierunku przeciwnym do ruchu głowicy (rys. 4). Oznacza to, że wypływ strumienia ze szczeliny jest opóźniony w stosunku do punktu wejścia w arkusz.



Rys. 4. Schemat odchylenia strugi wodno-ściernej podczas cięcia [1]





Rys. 5. Powierzchnia po abrazyjnym cięciu wodą z zaznaczonymi strefami jakości na próbce

Odchylenie strugi ma wpływ na powstawanie na powierzchni bocznej elementu zakrzywionych, równoległych rowków. Ich intensywność jest zauważalnie rosnąca w dolnej strefie cięcia (rys. 5).

Na powierzchni widoczne są dwa obszary. Obszar 1 jest w większości gładki, pozbawiony większych rowków i śladów obróbkowych. Występujący przy krawędzi dolnej próbki obszar 2, charakteryzuje się śladami tworzącymi równoległe rowki [1]. Różnice te spowodowane są nierównomiernym rozkładem energii kinetycznej strumienia tnącego. W obsza-

rze 1 podczas przecinania warstw bliżej powierzchni, większość cząsteczek ściernych posiada energię, pozwalającą na obróbkę o dobrej jakości. Wraz ze wzrostem głębokości przecinania liczba tych cząsteczek maleje, a nierówny rozkład ich energii prowadzi do powstawania widocznych śladów na powierzchni próbki.

Dużą zaletą technologii jest również brak strefy wpływu ciepła, temperatura strefy obróbki nie przekracza zwykle 100°C. Materiał więc nie zmienia swojej struktury, a właściwości mechaniczne są zachowane. »»

reklama



DWIE TECHNOLOGIE. JEDNA MASZYNA. VHYBRID 260.

GRINDINGHUB, NIEMCY
17.-20.05.2022

POŁĄCZENIE SZLIFOWANIA I ERODOWANIA. VHYBRID 260.

VHybrid 260 łączy zalety innowacyjnej szlifierki i wydajnej elektrodrążarki, pozwalając na wymienne stosowanie obu funkcji dla wykonywanych narzędzi. Jako pełnowartościowa szlifierka VHybrid 260 umożliwia produkcję i ostrzenie wiertel i frezów z węglików spiekanych o zakresie średnic do 150 mm oraz w tym samym zakresie ostrzenie narzędzi PKD, wykorzystując swobodnie obie technologie ostrzenia.



VHybrid 260

www.vollmer-group.com

Istotną rolę pełni wanna z wodą oraz ruszty, na których ułożone są arkusze blachy. Długość strumienia wody nie jest wartością kontrolowaną, co czyni go bardzo niebezpiecznym. Istnieje, więc ryzyko przebicia dna wanny, co może skutkować jej zniszczeniem i cieknięciem wody. W celu zahamowania energii strumienia stosuje się stalowe kule bądź kamienie rzeczne ułożone na dnie wanny [2]. Woda skutecznie traci swoją energię przed dotarciem do podłoża. Jest to jednak dużym utrudnieniem podczas procesu oczyszczania wanny z garnetu i resztek odpadowych, powstałych w wyniku cięcia. Konieczne jest, aby maszyna posiadała systemy wzburzające wodę od podłoża, umożliwiające regularną konserwację wanny wycinarki. Jej ruszty również wymagają renowacji. Pod wpływem cięcia materiałów, istnieje duże prawdopodobieństwo przebicia materiału i nacięcia rusztów, które po pewnym czasie mogą być przyczyną zarysowań, powstałych w czasie układania arkusza na stole.

Podsumowanie

Dzięki erozyjnemu charakterowi obróbki technologia cięcia strugą wodną z domieszką proszku ściernego zdecydowanie przewyższa pozostałe metody niekonwencjonalnego cięcia materiałów pod względem wszechstronności stosowania. Ciąć tą metodą można praktycznie każdy rodzaj materiału. Zaletami w stosunku do innych niekonwencjonalnych technologii są również: możliwość przecinania materiałów o znacznych grubościach oraz brak strefy wpływu ciepła. Podstawową wadą tej technologii są koszty. Pompa

generująca duże wartości ciśnienia musi znajdować się stale pod kontrolą, gdyż jej awaria może nieść za sobą duże straty. Dochodzi również koszt ścierniwa, dysz oraz wody. Uzyskana dokładność kształtowo-wymiarowa pozwala często uniknąć dalszych procesów obróbkowych szczególnie przy mniejszych grubościach ciętego materiału i tam gdzie tolerancje wykonania są małe.

Literatura

- [1] Borkowski P.J.: *Podstawy wysokociśnieniowych technologii hydrostrumieniowych. Monografie – Politechnika Koszalińska*; nr 174, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
- [2] Klimpel A.: *Spawanie, zgrzewanie i cięcie metali*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
- [3] Krajcarz, *Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting. Procedia Engineering*, 69/2014, pp. 838-843.
- [4] Perec A.: Wpływ głównych parametrów wysokociśnieniowej strugi wodno-ściernej na jakość powierzchni przeciętej stali Hardox 500. *Obróbka Metalu* nr 2/2021, s. 45-50.
- [5] Xie J. i in., *A two-dimensional model for metallic surface roughness resulting from pure waterjet peening. International Journal of Engineering Science*, Vol. 120/2017, pp. 189-198.
- [6] www.surowceprzemyslowe.pl/sklep/scierniwa/garnet-do-ciecia-woda/.
- [7] www.flowwaterjet.pl/Maszyny/Mach-4c ■

reklama



narzedziownia.org
Portal branży narzędziowej

Baza firm



Katalog produktów



Wiadomości



Księgarnia



Reklama



Zostaw nam swoją ofertę
Daj się znaleźć...

Skontaktuj się z nami:
www.metale.org
 e-mail: redakcja@metale.org
 85-766 Bydgoszcz, ul. Fordońska 393
 tel. 52 343 73 35, fax 52 561 02 37



staleo.pl
portal przemysłowy



Stale
o PRZEMYSŁE
www.staleo.pl