

Zagadnienia efektywności obróbki wodno-ściernej

MICHAŁ STYP-REKOWSKI, IVAN L. OBORSKI *

Celem przedstawionych w artykule badań było stwierdzenie na ile wybrane parametry procesu przecinania wodno-ściernego (AWJC) wpływają na efektywność przecinania. Bezpośrednią miarą efektywności była szerokość przecięcia, a pośrednią – objętość materiału usuniętego podczas przecinania. Na podstawie rezultatów badań stwierdzono, że wpływ ten jest zróżnicowany.

Wstęp

Różnorodność tworzyw konstrukcyjnych wykorzystywanych w procesach wytwórczych powoduje konieczność stosowania zróżnicowanych technik, metod i sposobów ich obróbki. Kryteria oceny rezultatów obróbki także najczęściej są różne. Jedną z częściej wykonywanych operacji technologicznych jest cięcie. Operacji tej poddaje się bardzo szerokie spektrum materiałów: od technicznych (metale, tworzywa sztuczne), przez surowce mineralne i materiały pochodne (skały, beton), aż po materiały biologiczne (roślinne: drewno, warzywa, owoce, tkanka organiczna: kości, mięśnie). Z wyżej wymienionych powodów w niniejszej pracy zajęto się tą operacją technologiczną.

Obrabianym tworzywem była stal oraz tworzywo mineralne – sjenit. W prezentowanych badaniach zastosowano cięcie skoncentrowanym strumieniem mieszaniny ścierniwa i wody (AWJC – *Abrasive Water Jet Cutting*), a więc technikę, która dzięki swoim zaletom rozwija się dynamicznie, o czym świadczą liczne publikacje o tej tematyce, np. [1, 2, 3, 5, 6]. Pomimo tego, jest ona zaliczana jeszcze do obróbek niekonwencjonalnych (nietradycyjnych) [7, 10, 11], wymagająca lepszego poznania, zwłaszcza w odniesieniu do nietypowych tworzyw konstrukcyjnych, np.

kompozyty. Prowadzone są liczne badania, mające na celu optymalizację parametrów w aspekcie, m.in. cech ukonstruowanej w tym procesie warstwy wierzchniej [8, 9].

Podstawowym celem badań było stwierdzenie na ile wybrane parametry procesu AWJC wpływają na efektywność przecinania, której bezpośrednią miarą była szerokość przecięcia, a pośrednio – ilość materiału usuniętego podczas przecinania.

Operacja technologiczna przecinania

Przecinanie to najczęściej jedna z pierwszych lub ostatnich operacji w procesie technologicznym elementów maszyn. Oddziela się w ten sposób fragment materiału od większej całości. Efektywność tej operacji można mierzyć różnymi miarami. Może nią być np. energia niezbędna do jej realizacji, ilość materiału traconego, topografia powierzchni. Wielkości te są ze sobą powiązane i różna jest ich waga w zależności, m.in. od materiału obrabianego i usytuowania operacji w całym procesie wytwórczym. Przecinając drogi materiał, wartość części traconej może stanowić istotny

element kosztów. Przecinanie w końcowej fazie procesu wytwórczego determinuje końcowy stan powierzchni, dlatego też należy tak dobrać parametry przecinania, żeby struktura geometryczna przecinanej powierzchni miała oczekiwane cechy. Zależność jakości powierzchni przecinanej metodą AWJC od posuwu przedstawiono na rys. 1.

W badaniach tych poziomy jakości oznaczono od 1 (najlepsza) do 5 (najgorsza), a kryteriami oceny były głównie cechy topograficzne analizowanych powierzchni.

W większości procesów wytwórczych cięcie to jedna z początkowych operacji technologicznych dlatego też cechy struktury geometrycznej powierzchni (SGP) przecinanej nie są tak istotne – po cięciu następują kolejne operacje wprowadzające do struktury zmiany.

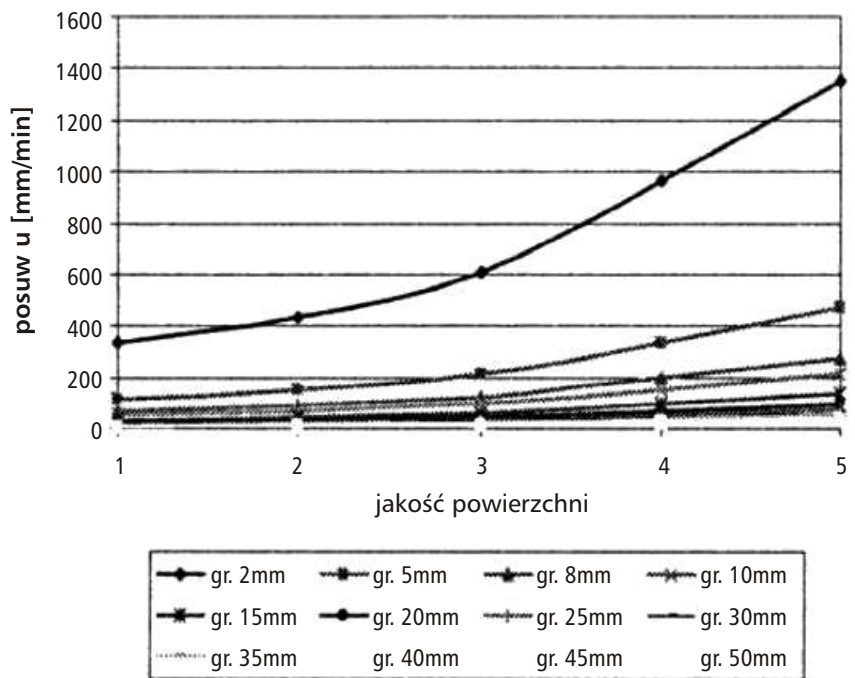
Miarą efektywności w prezentowanej pracy była szerokość strefy przecinanej. Jest to wielkość, która z kilku powodów wpływa na ekonomiczną stronę procesu przecinania. Większa szerokość strefy to więcej energii niezbędnej do rozdrobnienia i usunięcia materiału. To również więcej utraconego materiału, a także gorsza chropowatość (większa wartość

* Prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski, Bydgoska Szkoła Wyższa, ul. Unii Lubelskiej 4C, 85-059 Bydgoszcz, m.styprekowski@wp.pl, prof. Ivan L. Oborsky, Techniczny Instytut Kijów, Ukraina.

parametrów amplitudowych). Należy jednak zauważyć, że to ostatnie stwierdzenie nie zawsze stanowi cechę ujemną, co wykazano, m.in. w pracy [4].

Obiekt, warunki i zakres badań

Badania dotyczyły cięcia próbek wykonanych z dwóch tworzyw konstrukcyjnych. Pierwsze z nich to stal stopowa wg PN-EN oznaczona numerem 1.2080 lub symbolem X210Cr12 (wg starych oznaczeń była to stal NC11). Jest to bardzo często stosowana stal narzędziowa, z której wykonuje się m.in. narzędzia do obróbki plastycznej (ciągadła, wykrojniki, matryce i stemple do wyciskania, szczęki do walcowania gwintu na zimno) oraz do obróbki skrawaniem (gwintowniki, noże, zestawy narzędziowe do wykrawania i cięcia). Prezentowane badania dotyczą przecinania stali zahartowanej do 60 ± 2 HRC.



Rys. 1. Wpływ posuwu w obróbce AWJC na jakość przecinanej powierzchni dla różnych grubości przecinanych materiałów; 1 ÷ 5 – klasy jakości powierzchni [12]



Rys. 2. Widok rezultatów badań wycinarki DWJFB 1313: a) zespół mieszania ścierniwa z wodą, b) dysza wylotowa mieszaniny

Drugim tworzywem konstrukcyjnym przyjętym w badaniach był materiał mineralny: sjenit – jawnokrystaliczna skała gębinowa barwy ciemnoszarej lub czarnej. W przeciwieństwie do granitu, nie zawiera wcale, albo zawiera bardzo mało kwarcu.

Przecinane próbki miały przekrój prostokątny o wymiarach 30 × 10 mm, a przecinano je co 5 mm.

Przecinanie metodą AWJC realizowano na wycinarce wodnej DWJFB 1313, której podstawowe zespoły i elementy funkcyjne przedstawiono na rysunku 2.

Wyprodukowano ją w Chinach i charakteryzuje się poniższymi parametrami konstrukcyjnymi i technologicznymi:

– wymiary stołu roboczego (X × Y): 1300 × 1300 mm,

– przesuw w osi Z: 160 mm,

– dokładność pozycjonowania: Δ = ± 0,1 mm,

– powtarzalność: ± 25 μm

– zakres parametrów pracy:

maksymalna prędkość posuwu $f_{max} = 15\ 000$ mm/min

maksymalne ciśnienie strugi: $p_{max} = 300$ MPa.

Proces cięcia realizowano przy następujących wartościach parametrów:

– ciśnienie strumienia cieczy roboczej: $p = 200$ oraz 250 MPa,

– posuw: $f = 80$ mm/min.

Cieczą roboczą w prezentowanych badaniach była mieszanina wody i ścierniwa Garnet o granulacji *mesh 80*, a dysza w głowicy tnącej miała średnicę 1,016 mm. Podczas badań jej odległość od powierzchni ciętego elementu zmieniano od 1 do 2,5 mm, co 0,5 mm.

Ciśnienie cieczy roboczej p mieściło się w górnych przedziałach wartości możliwych do uzyskania na obrabiarce, a prędkość posuwu f_{sr} – w dolnych, przy czym wartość tę maszyna dobierała sama na podstawie wprowadzonych danych materiałowych przecinanej próbki i jej cech geometrycznych.

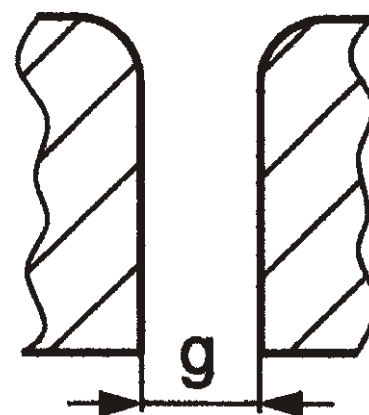
Rezultaty badań

Stwierdzono, że szerokość przecięcia próbek nie była jednakowa wzdłuż całej grubości – była ona większa od strony wejścia strugi. Ponadto, jej krawędź od

tej strony była zaokrąglona. Przybliżony, zaobserwowany kształt przecięcia przedstawiono na rysunku 3.

Zbieżny kształt przecięcia można uzasadnić tym, że strumień tracił swoją energię wraz z drogą jego cząstek w głąb przecięcia.

Uzyskane w badaniach wyniki zestawiono w Tabeli 1. Zamieszczone w niej wartości szerokości przecinania g stanowią średnią z 10 pomiarów: po 5 z każdej strony, przy czym różnice szerokości po obydwóch stronach w całym zakresie pomiarowym mieściły się w przedziale $0,1 \div 0,3$ mm. Takie uśrednienie wydaje



Rys. 3. Przekrój przez strefę przecinania; g – szerokość przecięcia w dolnej części

Tabela 1. Szerokość przecięcia metodą AWJC próbek ze sjenitu i stali przy różnych ciśnieniach strugi

Ciśnienie strugi MPa	Odległość dyszy od powierzchni h , mm			
	1,0	1,5	2,0	2,5
szerokość przecięcia g , mm (próbki ze sjenitu)				
200	1,45	1,55	1,80	2,95
250	1,50	1,65	1,95	3,10
szerokość przecięcia g , mm (próbki stalowe)				
200	1,35	1,40	1,45	1,80
250	1,40	1,45	1,55	1,90

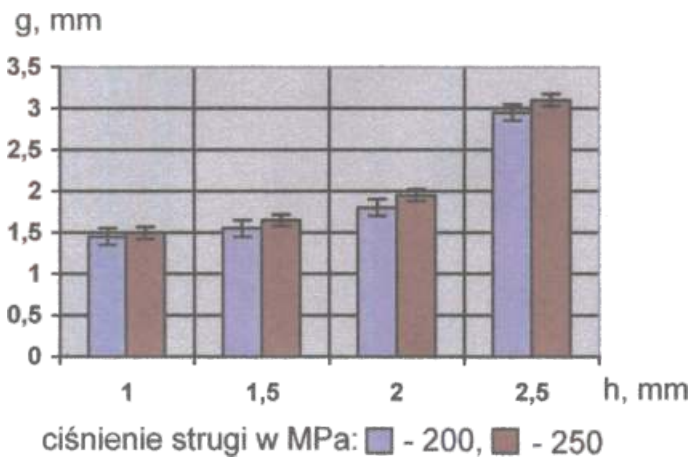
Tabela 2. Objętość usuniętego materiału w wyniku cięcia AWJC próbek ze sjenitu i stali

Ciśnienie strugi MPa	Odległość dyszy od powierzchni h , mm			
	1,0	1,5	2,0	2,5
objętość usuniętego materiału mm^3 (próbki ze sjenitu)				
200	435	465	540	885
250	450	495	585	930
objętość usuniętego materiału mm^3 (próbki stalowe)				
200	405	420	435	540
250	420	435	465	570

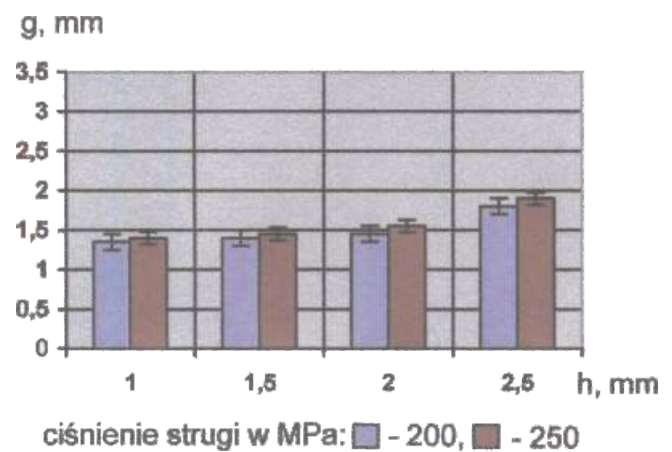
się dopuszczalne, zważywszy na fakt, że powierzchnie cięcia nie współpracują bezpośrednio po obróbce z innymi.

Analiza wyników zawartych w Tabelach 1 i 2 pozwala stwierdzić, że odległość h

dyszy od powierzchni przecinanej ma istotny wpływ na szerokość przecięcia g uzyskanego metodą AWJC. Gradient tych zmian rośnie ze zwiększaniem się odległości dyszy od czoła powierzchni przecinanej. Taki obraz zaobserwowa-



Rys. 4. Szerokość przecięcia g w funkcji odległości h dyszy od powierzchni próbki dla próbek ze sjenitu



Rys. 5. Szerokość przecięcia g w funkcji odległości h dyszy od powierzchni próbki dla próbek stalowych

tego zjawiska można wytłumaczyć tym, że struga wodno-ścierna ma kształt stożkowy, rozszerzający się w kierunku od dyszy. Tak więc im większa jest odległość h tym kontakt z materiałem obrabianym ma strumień o większej średnicy.

Rezultaty badań przedstawiono także w formie graficznej. Na rysunku 4 przedstawiono je dla przecinanych próbek z tworzywa mineralnego, natomiast na rysunku 5 – dla próbek stalowych.

Porównując obydwa wykresy stwierdzić można, że rodzaj przecinanego tworzywa to także czynnik wyraźnie różnicujący uzyskane wyniki. Szerokość przecięcia jest większa dla bardziej miękkiego tworzywa jakim jest niewątpliwie sjenit i właśnie większą twardość można przyjąć jako podstawową przyczynę takiego obrazu zmian. Wpływ na to może mieć także różna struktura obydwóch tworzyw. Zahartowana stal ma bowiem znacznie bardziej rozdrobnioną i jednorodną strukturę.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można uznać, że w badanym przedziale zmienności ciśnienie ma bardzo niewielki wpływ na badane relacje. Być może zbyt mała była przyjęta w badaniach różnica ciśnień.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na doświadczalną weryfikację czynników istotnych w obróbce AWJC. Zaobserwowane relacje na pewno są ważne dla badanych tworzyw konstrukcyjnych, jednak ich istotność jest bardzo prawdopodobna także dla innych tworzyw.

Stwierdzono, że na szerokość przecięcia w metodzie AWJC bezpośredni wpływ mają: odległość dyszy od czoła powierzchni przecinanej oraz rodzaj tworzywa konstrukcyjnego, a pośredni – jego twardość i struktura.

Dla innych tworzyw konstrukcyjnych niezbędna jest jednak weryfikacja istotności czynników stwierdzonych w niniejszych badaniach.

Literatura

- Borkowski J., Borkowski P.: Przecinanie zawieszinową strugą wodno-ścierną wytwarzaną metodą BORJET. Inżynieria Maszyn, z.1-2/2008, vol. 13, s. 104÷112.
- Kosmol J., Rybarz M., Wala T., Niedbała M.: Selected problems and FEM modeling of composites cutting using water jet and abrasive-water jet. Proc. of the 16th International Conference on Water Jet, Lyon (France) 2002, s. 246÷255.
- Kosmol J., Wala T., Hassan A.I.: Preliminary attempt to FEM modeling of AWJM of polymeric composites. Materiały II Międzynarodowej Konferencji „Obróbka wysokociśnieniowym strumieniem wody – WJM 2001”, Kraków 2001, pp. 39÷48.
- Matuszewski M., Styp-Rekowski M.: Przecinanie strugą wodno-ścierną jako operacja poprzedzająca proces klejenia. Technologia i Automatyzacja Montażu nr 1/2014, s. 18-22.
- Mazurkiewicz A.: Czynniki wpływające na jakość powierzchni stali po cięciu strumieniem wodno-ściernym. Inżynieria Materiałowa nr 5/2008, s. 1÷4.

6. Oczół K.E.: Efektywność innowacyjnych technologii na przykładzie wybranych sposobów obróbki strumieniowo-erozyjnej. Mechanik nr 8-9/2003, vol. 76, s. 463÷468.

7. Oczół K.E.: Istota, znaczenie i rozwój hybrydowych procesów obróbki ubytkowej. Zeszyty Naukowe ATR Bydgoszcz nr 225, seria Mechanika z. 46, Bydgoszcz 2000, s. 145÷164.

8. Perc A.: Wielokryterialna optymalizacja procesu cięcia strugą wodno-ścierną z wykorzystaniem metody TOIDIM. Materiały konferencji EM’23 (Electromachining), Bydgoszcz 2023.

9. Spadło S., Hlavec L., Hlavcova I.M., Gembalova L., Stefek A.: Warstwa wierzchnia części obrabianych metodą wysokociśnieniowej strugi wodno-ściernej (AWJM). Materiały konferencji EM’23 (Electromachining), Bydgoszcz 2023.

10. Styp-Rekowski M.: Obróbki hybrydowe i nietradycyjne jako uzupełnienie zbioru technik wytwarzania skoncentrowanymi nośnikami energii. w: STYPREKOW-SKI M. (red.). Wybrane zagadnienia obróbek skoncentrowaną wiązką energii. Wydawnictwo Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego, Bydgoszcz 2003, s. 213÷216.

11. Styp-Rekowski M., Oborski I., Polishchuk O.: Niekonwencjonalne metody cięcia we współczesnych procesach wytwórczych. Obróbka Metalu nr 3/2022. s. 54-59.

12. Wala T.: Ocena efektywności przecinania wybranych materiałów metodą strumienia wodno-ściernego. Inżynieria Maszyn, vol. 12, z.4, 2009. ■