

Wpływ wybranych warunków procesu cięcia strugą wodno-ścierną na odchyłkę okrągłości otworów cylindrycznych

Influence of the process conditions on the roundness deviation of cylindrical holes produced by means of abrasive water jet cutting

DANIEL KRAJCARZ
SŁAWOMIR SPADŁO *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.1.14>

Przedstawiano wyniki badań dotyczące wpływu trzech czynników wejściowych o trzech stopniach wartości kodowych, takich jak prędkość posuwu głowicy tnącej, odległość końca dyszy wodno-ścierniej od ciętego materiału i wydatek dozowanego ścierniwa na wartość wyjściową, którą była odchyłka okrągłości mierzona w trzech przekrojach. Otwory zostały wycięte w stopie aluminium za pomocą wysokociśnieniowej strugi wodnej z dodatkiem ścierniwa.

SŁOWA KLUCZOWE: cięcie strugą wodno-ścierną, parametry przecinania, odchyłka okrągłości

This paper discusses experimental results concerning the geometric accuracy of cylindrical holes. The input variables were the cutting speed, the distance between the abrasive water jet nozzle and the workpiece, and the abrasive mass flow rate. The output variables were roundness deviation, which were measured in three sections. The holes were made in aluminum alloy by a high-pressure jet of water containing almandine garnet as an abrasive substance.

KEYWORDS: abrasive waterjet cutting, cutting parameters, roundness deviation

Dążenie do uzyskiwania coraz lepszych jakościowo powierzchni elementów przecinanych przy ograniczeniu liczby operacji technologicznych stanowi czynnik rozwojowy alternatywnych metod kształtowania materiałów. Jedną z nowych technologii obróbki elementów maszyn jest cięcie wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną (AWJ) [2]. Jest to technologia, która wykorzystuje skoncentrowany strumień energii strugi wodnej z domieszką ziaren ściernych. Dodatek ziaren ściernych ma zintensyfikować proces obróbki. Z uwagi na brak strefy wpływu ciepła technologia nazwana jest „zimną”, dzięki czemu cięcie AWJ stało się w ostatnim czasie skuteczną i atrakcyjną metodą przecinania materiałów, głównie w przypadku obróbki elementów, których nie można nagrzewać [7]. W obróbce wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną proces erozji odbywa się przy niewielkiej sile naporu na obrabiany materiał.

Cięcie strugą wodno-ścierną ma wiele zalet. Jest to metoda uniwersalna – można w ten sposób kształtować większość materiałów, zarówno cienkich jak i grubych, co zapewnia jej szeroki zakres zastosowań obróbkowych. Stanowi jednocześnie trudną do pokonania konkurencję dla powszechnie wykorzystywanych metod cięcia materiałów [4]. Technologia AWJ sprawdza się bardzo dobrze przy wykonywaniu elementów o skomplikowanych kształtach.

* Mgr inż. Daniel Krajcarz (d.krajcarz@wp.pl), dr hab. inż. Sławomir Spadło, prof. PŚk (sspadlo@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

Parametry charakteryzujące proces przecinania

Parametry charakteryzujące proces cięcia wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną można podzielić na [5]: hydrauliczne (ciśnienie strugi, średnica strugi, moc strugi), właściwości ścierniwa (rodzaj stosowanego ścierniwa, granulacja ścierniwa, wydatek ścierniwa) i parametry technologiczne procesu przecinania (prędkość posuwu głowicy tnącej, odległość końca dyszy wodno-ścierniej od ciętego materiału).

Strukturę powierzchni po cięciu strugą wodno-ścierną określa się zazwyczaj w sposób wizualny za pomocą wskaźników klas jakości. Poznanie wpływu poszczególnych parametrów procesu obróbki na jakość otrzymywanych powierzchni przecięcia pozwoli opracować model procesu przecinania badanego materiału [3]. Umożliwi to wyeliminowanie nadwyżek technologicznych procesu w postaci przykładowo zbyt małej wartości prędkości posuwu czy wydatku dozowanego ścierniwa. Uzyskanie dobrej czy bardzo dobrej jakości powierzchni po cięciu AWJ wiąże się z relatywnie większymi i niepotrzebnymi kosztami cięcia, które należy minimalizować.

Metodyka badań

Celem badań było określenie wpływu wybranych warunków procesu cięcia wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną, takich jak prędkość posuwu (v), odległość dyszy wodno-ścierniej od powierzchni przecinanego materiału (s) i wydatek masowy dozowanego ścierniwa (m_a), na wartość odchyłki okrągłości otworów cylindrycznych wycinanych metodą AWJ.

■ **Przedmiot badań.** Na wydajność procesu cięcia oprócz parametrów obróbki wpływ mają również właściwości obrabianego materiału, wśród których najczęściej wymieniana się grubość ciętego materiału oraz odporność na erozję.

W badaniach wykorzystano płytę o grubości 15 mm wykonaną ze stopu aluminium EN AW-2007. Charakteryzuje się on dobrymi własnościami wytrzymałościowymi oraz bardzo dobrą skrawalnością. Ponadto materiał ten ma wysoką wytrzymałość zmęczeniową. W tabl. I podano normatywny skład chemiczny badanego materiału.

TABLICA I. Skład chemiczny stopu aluminium EN AW-2007 [6]

Skład chemiczny aluminium EN AW-2007, %						
Cu	Pb	Mg	Mn	Fe	Si	Zn
3,3–4,6	0,8–1,5	0,4–1,8	0,5–1,0	maks. 0,8	maks. 0,8	maks. 0,8

■ **Warunki badań.** W procesie cięcia użyto zestawu dyszy wodnej o średnicy 0,30 mm oraz dyszy formującej o średnicy 1,02 mm i długości 75 mm. Badania przeprowadzono przy wartości ciśnienia 280 MPa. Materiałem ściernym użytym w procesie cięcia był garnet # 80 E.

Badania eksperymentalne przeprowadzono zgodnie z planem Boxa-Behnkena. Plan ten zakłada wzajemne badanie wpływu trzech czynników wejściowych o trzech poziomach wartości kodowych na wartości wyjściowe. Zakresy parametrów wejściowych w doświadczeniu określono na podstawie analizy literatury oraz badań własnych.

Podczas eksperymentu w płycie ze stopu aluminium wycięto otwory cylindryczne [1] o średnicy 30 mm. Pomiar wartości średnicy otworów wykonano z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej Prismo Navigator. Podczas pomiarów użyto kulki stykowej o średnicy 2 mm, przemieszczającej się z prędkością 5 mm/s.

Wyniki badań i ich analiza

W tabl. II zestawiono wartości parametrów wejściowych oraz wyniki pomiarów odchyłek okrągłości otworów. Pomiar odchyłki okrągłości przeprowadzono w trzech przekrojach: P1 – pomiar 2 mm poniżej wlotu strugi w cięty materiał, P2 – pomiar pośrodku ciętego materiału, P3 – pomiar 2 mm powyżej wylotu strugi z ciętego materiału.

TABLICA II. Plan badań i wyniki pomiarów

Nr eksp	Parametry wejściowe			Odchyłka okrągłości		
	v, mm/min	s, mm	m_a , g/min	P1, μm	P2, μm	P3, μm
1	20	2	340	35,1	35,6	39,6
2	100	2	340	69,8	80,3	115,2
3	20	6	340	38,1	40,0	51,0
4	100	6	340	86,4	86,0	131,8
5	20	4	230	41,2	42,6	46,1
6	100	4	230	76,5	103,1	175,8
7	20	4	450	34,9	37,8	40,2
8	100	4	450	49,8	54,3	80,4
9	60	2	230	38,2	47,0	78,3
10	60	6	230	45,3	58,5	89,1
11	60	2	450	36,0	41,0	61,4
12	60	6	450	42,8	52,4	80,2
13	60	4	340	41,3	42,7	66,8
14	60	4	340	42,1	44,0	69,9
15	60	4	340	42,5	44,2	69,3

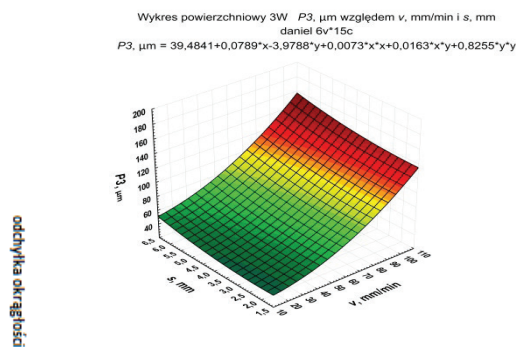
Zależność parametrów wyjściowych w funkcji parametrów wejściowych zestawiono w tabl. III w formie współczynników korelacji cząstkowych. Za istotną przyjmuje się taką korelację, dla której spełniony jest warunek $k > |0,5|$. W przypadku korelacji ujemnej wzrost wartości parametru wejściowego powoduje zmniejszenie wartości parametru.

Najsilniejszą korelację liniową otrzymano dla parametru v, dla przekroju P3. Parametry wejściowe s oraz m_a (ujemna korelacja) ze względu na wyznaczoną wartość nie stanowią korelacji istotnych. Wartość efektu kwadratowego (nieliniowego) w żadnym z przypadków nie osiąga założonego warunku istotności.

Na rysunku przedstawiono wpływ wartości odchyłki okrągłości otworów cylindrycznych w funkcji parametrów v oraz s (przy ustalonej wartości $m_a = 340$ g/mm) dla przekroju P3. Analiza wykresu wskazuje, że ze wzrostem parametru

TABLICA III. Współczynniki korelacji cząstkowych wyznaczone dla badanych przekroji

Parametr wejściowy	Współczynnik korelacji		
	P1	P2	P3
v(L)	0,78	0,79	0,83
v(Q)	-0,41	-0,33	-0,16
s(L)	0,20	0,16	0,15
s(Q)	-0,07	-0,06	-0,03
m_a (L)	-0,22	-0,31	-0,32
m_a (Q)	0,17	-0,03	-0,05



Rys. Wykres powierzchniowy odchyłki okrągłości dla przekroju P3 względem v w mm/min i s w mm (dla $m_a = 340$ g/min)

v w rozpatrywanym przedziale jego zmienności wartość odchyłki okrągłości wzrasta niemalże liniowo. Natomiast zmiana parametru s ma niewielki wpływ na badaną odchyłkę.

Podsumowanie

Otrzymane wartości współczynników korelacji cząstkowych dla efektów liniowych potwierdzają istotny wpływ parametru v na otrzymywaną wartość odchyłki okrągłości dla badanych przekrojów. Jest to istotna korelacja dodatnia, która dla przekroju P3 osiąga wartość 0,83.

Parametry wejściowe s oraz m_a w badanym przedziale w mniejszym stopniu wpływają na odchyłkę okrągłości otworów cylindrycznych. Nie zaobserwowano w tym przypadku wystąpienia istotnych korelacji cząstkowych. Wraz ze wzrostem parametru m_a odchyłka okrągłości ulegała zmniejszeniu.

LITERATURA

- Adamczak S., Miko E., Cus F., Strojnicki V. „A model of surface roughness constitution in the metal cutting process applying tools with defined stereometry”. *Journal of Mechanical Engineering*. 55, 1 (2009): s. 45–54.
- Borkowski J., Borkowski P. „Wysokociśnieniowe technologie hydrostrumieniowe”. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2008.
- Chithirai Pon Selvan M., Mohana Sundara Raju N. „Assessment of process parameters in abrasive waterjet cutting of stainless steel”. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*. 1, 3 (2011): s. 33–40.
- Harnicarova M., Valicek J., Zajac J., Hloch S., Cep R., Dzubakova I., Tofil S., Hlavacek P., Klich J., Cepova L. „Techno-economical comparison of cutting material by laser, plasma and oxygen”. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*. 19, 4 (2012): s. 813–817.
- Hlavac L., Hlavacova I., Gembalova L., Kalicinsky J., Fabian S., Mesttanek J., Kmec J., Madra V. „Experimental method for the investigation of the abrasive water jet cutting quality”. *Journal of Materials Processing Technology*. 209, 20 (2009): s. 6190–6195.
- PN-EN 573-1:2006 Aluminium i stopy aluminium – Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie – Część 1: System oznaczeń numerycznych.
- Spadlo S., Krajcarz D. „A Comparison of Laser Cutting and Water Jet Cutting”. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 66, 2 (2014): s. 87–92.