

# Analiza możliwości wycinania elementów cienkościennych ze stopu EN AW-2024 T351 wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną

Analysis of capabilities of cutting thin-walled structures of EN AW-2024 T351 alloy using an abrasive water-jet

STANISŁAW BŁAWUCKI  
KAZIMIERZ ZALESKI  
MICHAŁ LELEŃ\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.256

Struga wodno-ścierna o wysokim ciśnieniu jest często stosowana jako wydajne narzędzie do cięcia materiałów. Maksymalna głębokość cięcia jest uzależniona przede wszystkim od właściwości mechanicznych i technologicznych obrabianego materiału. W pracy zaprezentowano wyniki prób eksperymentalnych wycinania elementów cienkościennych z pręta walcowanego ze stopu aluminium EN AW-2024 T351. Zbadano wpływ parametrów technologicznych obróbki na grubość wycinanych ścianek.

**SŁOWA KLUCZOWE:** elementy cienkościenne, przecinanie water-jet, stop aluminium, wysokociśnieniowa struga wodno-ścierna

*Ultra-high-pressure abrasive water-jet is widely used as an efficient cutting tool. The maximum depth of cutting primarily depends on the mechanical and technological properties of the workpiece. The paper presents results of experimental research of cutting thin-walled components from a square bar of the aluminum EN AW-2024 T351 alloy. Investigated the influence of technological parameters of processing to thickness of the cutted walls.*

**KEYWORDS:** thin-walled structures, water-jet cutting, milling, aluminium alloy, ultra-high-pressure water-jet

Wytwarzanie elementów cienkościennych zazwyczaj wymaga użycia specjalnych narzędzi oraz dodatkowego oprzyrządowania technologicznego, co jest nieopłacalne przy produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Alternatywnym sposobem jest wykorzystanie jako narzędzia wysokociśnieniowej strugi wodno-ściernej, określanej akronimem AWJ (*abrasive water jet*). Brak informacji na temat wycinania metalowych elementów cienkościennych strugą wodno-ścierną uzasadnia potrzebę przeprowadzenia badań w tej dziedzinie.

Zasadniczymi zaletami wycinania strugą wodno-ścierną są niska temperatura obróbki oraz niewielkie naciski powodowane przez narzędzie – strugę roboczą [1÷3]. Istnieje możliwość kształtowania dużych elementów o gabarytach  $2000 \times 2500 \times 500$  mm, które często stanowią kłopot w przypadku innych metod wytwarzania. Ograniczeniem technologii AWJ jest grubość wycinanego elementu, uzależniona od właściwości materiałowych. Wycięte części zwykle mają ślady poobróbkowe w kształcie łuków na powierzchni przecięcia w obszarze dolnej krawędzi [5÷7]. Nieodłączną cechą obrobionych elementów jest również ukosowanie bocznych powierzchni ścianek, co w praktyce

można wyeliminować dzięki zastosowaniu obrotowej, pięcioosiowej głowicy wodnej [4], jednak zakup takiej maszyny wiąże się z dużymi kosztami.

Celem przeprowadzonych badań była ocena możliwości wycinania elementów cienkościennych na trzyosiowej przecinarnie water-jet.

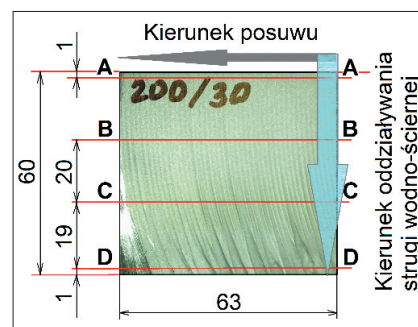
## Metodyka badań

W eksperymencie wykorzystano pręt walcowany ze stopu aluminium EN AW-2024 T351, o wymiarach przekroju  $63 \times 60$  mm i długości 300 mm. Przeprowadzono próby wycinania elementów cienkościennych o nominalnych grubościach ścianek równych: 3 mm, 2 mm, 1,5 mm, 1 mm, 0,5 mm oraz 0,4 mm. Przyjęto kolejność wycinania od największej do najmniejszej grubości.

Wycinanie elementów cienkościennych przeprowadzono z wykorzystaniem trzyosiowej przecinarki wodno-plazmowej WATERJET COMBO firmy ECKERT. Maszyna została wyposażona w pompę Thyssen Krupp HPS 4022 do wytwarzania wysokiego ciśnienia wody o wartości maksymalnej  $p = 400$  MPa. Badania wykonano dla dwóch wartości ciśnienia wody:  $p = 200$  MPa oraz  $p = 350$  MPa – zgodnie z zaleceniami z literatury [3÷6]. W eksperymencie stosowano prędkości posuwu  $v_f = 10$  mm/min oraz  $v_f = 30$  mm/min – dobrane na podstawie badań wstępnych. Do wycinania zastosowano ceramiczną dyszę ogniskującą o średnicy  $\varnothing 0,7$  mm, ustawioną w odległości 2 mm od powierzchni przecinanego pręta, co pozwoliło uzyskać szczelinę cięcia rzędu 1,1 mm. Do wysokociśnieniowej strugi wodnej wprowadzano garnet ścierny #80, przy ustalonym wydatku masowym rzędu 8 g/s.

Wycięte próbki poddano pomiarom grubości ścianki w czterech przekrojach, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1. Grubości ścianek zmierzono za pomocą mikrometru cyfrowego Tesa Micromaster o zakresie pomiarowym 0÷30 mm i wartości działki elementarnej 0,001 mm.

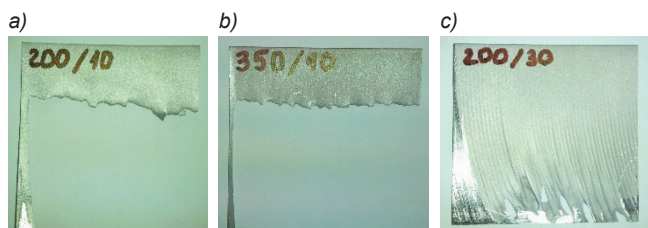
Rys. 1. Poglądowy schemat wyciętego elementu cienkościennego wraz z zaznaczonymi: przekrojami A-A, B-B, C-C i D-D pomiaru grubości ścianki, kierunkiem oddziaływania strugi wodno-ściernej i kierunkiem jej posuwu



\* Mgr inż. Stanisław Bławucki (s.blawucki@pollub.pl), dr hab. inż. Kazimierz Zaleski prof. PL (k.zaleski@pollub.pl), mgr inż. Michał Leleń (m.lelen@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

## Wyniki badań

Podczas oględzin wyciętych elementów cienkościenych zauważono, że przy niektórych parametrach obróbki dochodzi do znacznego uszkodzenia ścianki o grubości nominalnej 0,4 i 0,5 mm (rys. 2a i b). Występuje erozja ścianki na odcinku ok. 40 mm od krawędzi w obszarze wyjścia strugi roboczej. Ponadto zaobserwowano wyraźny wzrost wysokości śladów poobróbkowych na powierzchni w obszarze wyjścia strugi dla próbek poddanych wycinaniu z parametrami  $p = 200$  MPa i  $v_f = 30$  mm/min (rys. 2c). Kolejną widoczną wadą było niecałkowite odcięcie próbek przy niższych wartościach ciśnienia strugi wodno-ścierniej i wyższych wartościach posuwu.



Rys. 2. Przykłady wad na elementach cienkościenych o grubości 0,5 mm po cięciu wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną: a)  $p = 200$  MPa,  $v_f = 10$  mm/min; b)  $p = 350$  MPa,  $v_f = 10$  mm/min; c)  $p = 200$  MPa,  $v_f = 30$  mm/min

Wyniki pomiarów grubości ścianki wyciętych próbek przedstawiono na rys. 3. Maksymalny rozrzut wyników pomiaru grubości ścianki w przekroju A-A wokół wartości nominalnej wynosi ok. 0,15 mm. Za taki stan rzeczy odpowiada z jednej strony dokładność pozycjonowania głowicy wodnej i jej zużycie, a z drugiej – parametry robocze strugi wodno-ścierniej (ciśnienie, prędkość cięcia i odległość od

powierzchni przedmiotu). Największe odstępstwa wymiaru zmierzonego od wartości nominalnej zauważono dla badanych struktur cienkościenych o grubości 0,4 i 0,5 mm, ciętych z parametrami  $p = 200$  MPa i  $v_f = 10$  mm/min oraz  $p = 350$  MPa i  $v_f = 30$  mm/min – w tym przypadku maksymalne różnice grubości sięgają nawet 0,3 mm (rys. 3a i b). Świadczą o tym także znaczące wartości odchylenia standardowego (średnio 0,05 mm). Należy dodać, że grubość ścianki wynosząca 0 oznacza, że próbka w tym przekroju nie została przecięta bądź uległa całkowitej erozji. Oba przypadki uważa się za wadę cięcia.

## Podsumowanie

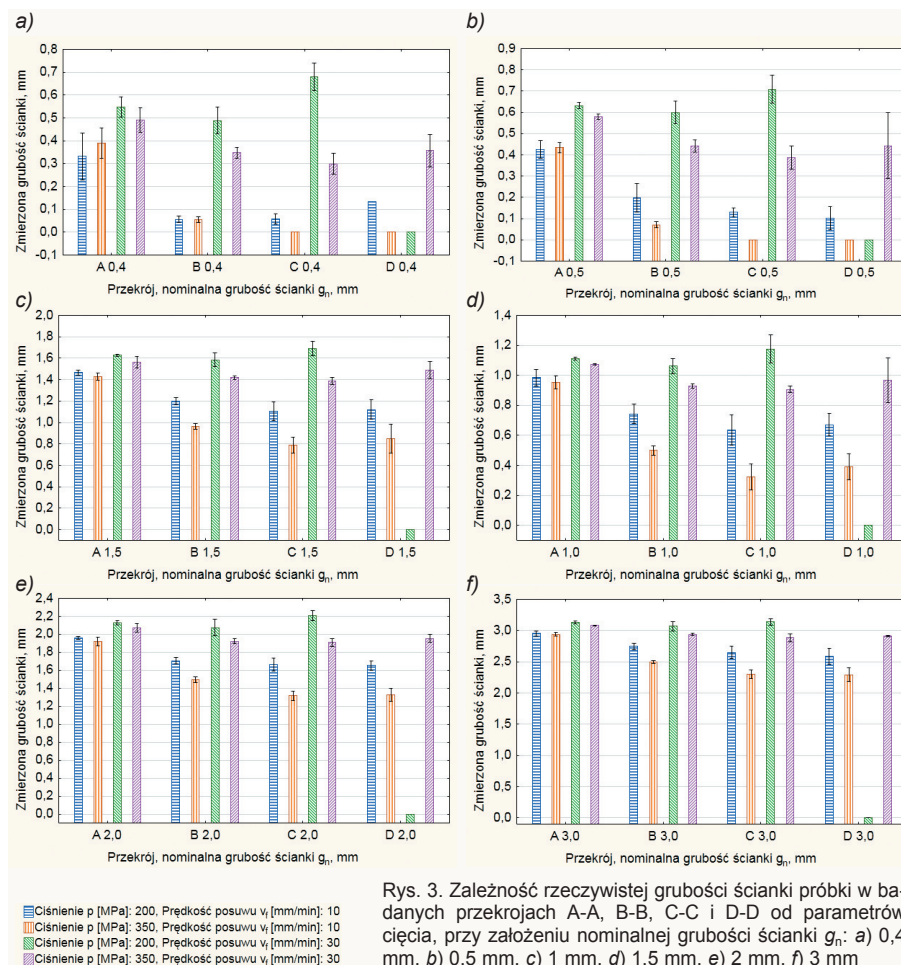
Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że istnieje techniczna możliwość wycinania elementów cienkościenych ze stopu AW-2024 T351 o nominalnej grubości ścianki równej 0,4 mm lub większej oraz głębokości cięcia 60 mm za pomocą wysokociśnieniowej strugi wodno-ścierniej, przy parametrach cięcia  $p = 200$  MPa i  $v_f = 10$  mm/min oraz  $p = 350$  MPa i  $v_f = 30$  mm/min.

Zauważono duże trudności w uzyskaniu powtarzalnej grubości ścianki. Jest to częściowo spowodowane luzami na prowadnicach oraz błędami pozycjonowania dyszy roboczej wycinarki, a ponadto duży wpływ na to ma średnica strugi wodno-ścierniej.

Najkorzystniejsze wyniki w aspekcie dokładności wymiarowo-kształtowej elementów cienkościenych (w zakresie 0,4÷3,0 mm) i wysokości śladów poobróbkowych uzyskano dla cięcia z parametrami  $p = 200$  MPa i  $v_f = 10$  mm/min oraz  $p = 350$  MPa i  $v_f = 30$  mm/min. Biorąc pod uwagę aspekty ekonomiczne oraz wydajność obróbki, najlepszym wyborem wydaje się wycinanie elementów cienkościenych przy ciśnieniu

$p = 350$  MPa oraz prędkości posuwu  $v_f = 30$  mm/min.

Nieodpowiednio dobrane parametry procesu powodują powstawanie wad cięcia, takich jak niedocięcie bądź erozja ścianki elementów cienkościenych ze stopu aluminium przy grubości przedmiotu obrabianego rzędu 60 mm.



Rys. 3. Zależność rzeczywistej grubości ścianki próbki w badanych przekrojach A-A, B-B, C-C i D-D od parametrów cięcia, przy założeniu nominalnej grubości ścianki  $g_n$ : a) 0,4 mm, b) 0,5 mm, c) 1 mm, d) 1,5 mm, e) 2 mm, f) 3 mm

## LITERATURA

- Borkowski J., Borkowski P. „Niekonwencjonalne technologie hydrostrumieniowe”. Mechanik. Nr 12 (2011): s. 16÷17.
- Borkowski P. „Podstawy wysokociśnieniowych technologii hydrostrumieniowych”. Mon. INT. Nr 174. Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, 2010.
- Krajcarz D. „Comparison metal water jet cutting with laser and plasma cutting”. *Procedia Engineering*. Vol. 69 (2014): pp. 838÷843.
- Spadło S., Krajcarz D., Dudek D. „Wpływ wybranych parametrów procesu przecinania strugą wodno-ścierną na dokładność geometryczną i jakość powierzchni otworów cylindrycznych”. *Mechanik*. Nr 8-9 (2015): s. 308÷312.
- Sutowska M. „Wpływ warunków procesu cięcia wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną na kształt śladów poobróbkowych”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*. R. 31, nr 4 (2011): s. 59÷67.
- Sutowska M. „Wpływ wybranych parametrów obróbki na pochylenie płaszczyzny przecięcia”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*. R. 31, nr 2 (2011): s. 97÷105.
- Wantuch E., Kudelski R., Nieciąg H. „Dependency of technological quality of elements made from an aluminium alloy on their shape in the water jet machining”. *Journal of Machine Engineering*. Vol. 13, No. 4 (2013): pp. 35÷46.