

Ocena jakości cięcia kształtowego ceramiki technicznej na przecinarce PS2Tsk

Quality rating shape cutting technical ceramics on the wire saw PS2Tsk

BOŻENA CIAŁKOWSKA
MICHAŁ GORTYCH
ZBIGNIEW RODZIEWICZ
MAGDALENA WIŚNIEWSKA*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.279

W czasie cięcia kształtowego struną zbrojoną występują problemy z zapewnieniem dokładności wycinanych elementów. W artykule przedstawiono ocenę jakości cięcia kształtowego ceramiki technicznej na przecinarce PS2Tsk w zależności od wybranych parametrów procesu (prędkości posuwu, prędkości skrawania, naciągu struny) oraz różnych strategii cięcia. **SŁOWA KLUCZOWE:** cięcie kształtowe, struna zbrojona, materiały trudnoobrabialne, przecinarki strunowe

During the shape cutting with wire saw there are problems with ensuring the accuracy of cut parts. The article presents an assessment of the quality of shape cutting on the actual wire saw Ps2Tsk the example of technical ceramics depending on the selected cutting parameters (feed rate, cutting speed, tension strings) and various cutting strategies.

KEYWORDS: shape cutting, wire abrasive, hard machinable materials, wire saw

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój metody przecinania struną zbrojoną trwale lub struną zbrojoną luźnym ścierniwem w czasie cięcia. Dotyczy to głównie przecinania wielostrunowego w różnych układach kinematycznych cięcia płytek krzemowych, stosowanych na fotoogniwa w przemyśle wołtaicznym [1]. Obecnie wiele firm na świecie specjalizuje się w przecinaniu strunowym, a jednocześnie doskonalą narzędzia strunowe o różnej budowie. Istotnym obszarem zastosowania narzędzia strunowego jest wycinanie określonych kształtów – ręcznie według szablonu bądź numerycznie w układzie XY.

Istnieje wiele odmian narzędzi strunowych różniących się budową (struna zbrojona trwale, struna zbrojona luźnym ścierniwem, struna w postaci pętli oraz z dwoma końcami). W przypadku wycinania kształtowego najczęściej stosowana jest struna w postaci pętli bez końca. Odpowiednie sterowanie struną umożliwia wykonanie skomplikowanych kształtów w jednym przejściu narzędzia.

W porównaniu z innymi metodami ściernymi – takimi jak cięcie taśmą czy tarczą diamentową – przewagą narzędzia strunowego jest, oprócz cięcia prostoliniowego, zdolność do precyzyjnego wycinania kształtowego w różnych materiałach. Istotną zaletą jest możliwość wycinania konturów charakteryzujących się krzywiznami o ostrych kątach, z zachowaniem dobrej jakości powierzchni. Dotyczy to głównie materiałów trudnoobrabialnych, niemetalowych, takich jak: ceramika techniczna, cermetale, płyty grafitowe, kompozyty, w tym szklane i przekładkowe typu honey comb, tworzywa sztuczne.

* Dr hab. inż. Bożena Ciałkowska prof. PWr (bozena.cialkowska@pwr.edu.pl), mgr inż. Michał Gortych (gortych.michal@gmail.com), mgr inż. Zbigniew Rodziejewicz (zbigniew.rodziejewicz@pwr.edu.pl), dr inż. Magdalena Wiśniewska (m.wisniewska@pwr.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej

Prace w zakresie cięcia prostoliniowego i kształtowego struną zbrojoną od wielu lat są prowadzone na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Do cięcia kształtowego opracowano i wykonano przecinarkę PS2Tsk (rys. 1).



Rys. 1. Widok ogólny przecinarki strunowej PS2Tsk wykonanej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej: 1 – przecinarka PS2Tsk, 2 – falownik, 3 – stół XY, 4 – struna, 5 – sterownik stołu XY [3]

Podstawowe cechy tej przecinarki to: oryginalny układ prowadzenia narzędzia strunowego, zamknięty obieg chłodziwa, płynna regulacja prędkości cięcia, odprowadzenie produktów ubocznych i odsysanie pyłów po cięciu. Zaadaptowany stół krzyżowy XY, z dwoma komputerowo sterowanymi osiami, umożliwia dokładne wycinanie elementów kształtowych z materiałów trudnoobrabialnych.

Badania dokładności wyciętych kształtów

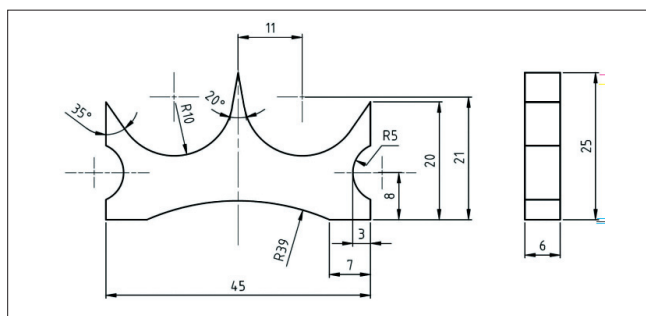
Na kolejnych etapach badań dotyczących wycinanych kształtów – od bardzo prostych (koło, trójkąt, kwadrat) do bardziej skomplikowanych (z ostrymi kątami) – analizowano dokładność uzyskanych kształtów oraz opracowano strategię poprawy dokładności cięcia. Polegało to na rozpoczynaniu pracy od przemieszczenia narzędzia po stycznej do pierwszego odcinka wycinanego konturu. W celu eliminacji (zmniejszenia) zniekształcenia uzyskanych naroży przedłużono długość drogi cięcia po prostej o odcinek równy w przybliżeniu długości zakłóconego konturu. Kolejnym etapem było przejście – po łuku stycznym do leżącego poza konturem odcinka – do wycinania kolejnej części konturu. Poprawiło to wyraźnie dokładność kształtu wycinanego konturu [2÷4].

TABLICA. Wyniki pomiarów wyciętych próbek

| Nazwa próbki | | Korona 1 | Korona 2 | Korona 3 | Korona 5 (wzorzec) | |
|--------------------------|------------------------|------------|-------------------------|------------|--------------------------|----|
| Kształt | | Podstawowy | Z dodatkowymi wyjściami | Podstawowy | Z dodatkowymi wyjściami | |
| Polożenie względem osi X | | W poprzek | | | Wzdłuż | |
| Pomiary | Szerokość podstawy, mm | 46 | 47 | 47 | 47 | 45 |
| | Promień góry, mm | 10,90 | 11,50 | 11,19 | 10,90 | 10 |
| | Promień boku, mm | | | 5,4 | 5,7 | 5 |
| | Kąt α , ° | 36,8 | 50,0 | 30,4 | 25,5 | 20 |
| | Kąt β , ° | 36,4 | 38,5 | 35,8 | 37,2 | 35 |
| Wartości uzyskane | | | | | Wielkości zaprojektowane | |

W ostatnim eksperymencie zaprojektowano kształt, którego geometria przedstawia najistotniejsze cechy opracowanej metody. Zawarto w nim łagodne przejścia o dużych i małych promieniach, częściowo zakończone ostrymi lub prostymi kątami (rys. 2). Cechy geometryczne tego elementu przypominającego kształtem koronę to:

- dwa kąty proste, dwa kąty 35° i jeden kąt 20° ,
- dwa promienie R5, dwa R10 oraz jeden R39 mm,
- wymiary gabarytowe $45 \times 25 \times 6$ mm.

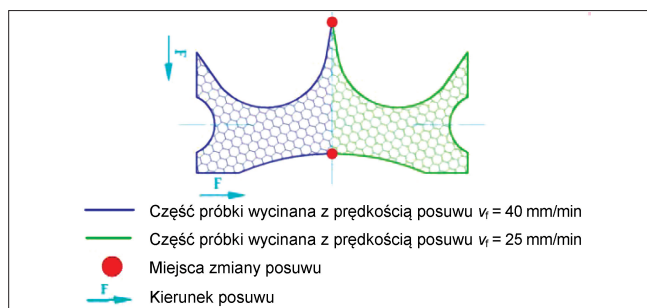


Rys. 2. Szkic techniczny zaprojektowanego kształtu (korony)

Próby cięcia wykonano na przecinarce PS2Tsk. Dwie pierwsze przeprowadzono narzędziem strunowym o dużym stopniu ściernego zużycia (ok. 70%), a następnie – po wymianie narzędzia na nową strunę firmy Hockler-Koch. Wyniki pomiarów dokładności wymiarowo-kształtowej uzyskanych kształtów przedstawiono w tabelicy.

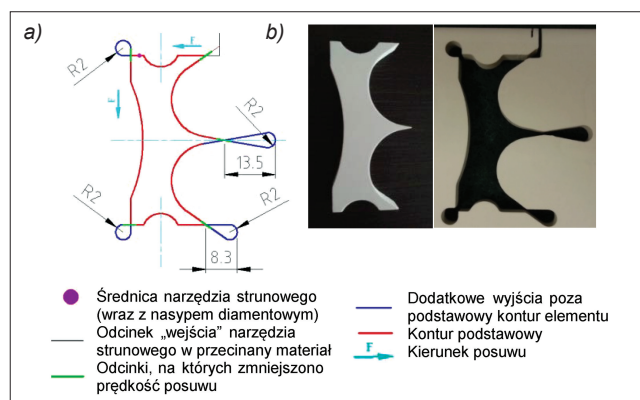
W kolejnej części eksperymentu wykorzystano symetrię elementu i jedną jego połowę wycięto z prędkością posuwu 25 mm/min, a drugą – z posuwem 40 mm/min (rys. 3), z zachowaniem stałej prędkości cięcia na poziomie 10 m/s (korona 4). Tak przyjęte parametry pozwoliły skrócić czas całkowitego procesu o ok. 40%.

Zwiększenie prędkości posuwu o 5 mm/min nie powoduje zniekształceń wycinanego przedmiotu, ale jej dwukrotny wzrost – do 40 mm/min – pogarsza odwzorowanie ostrych zakończeń konturu (defekt widoczny nieuzbrojonym okiem). Poprawę dokładności kształtowej (dla $v_f = 40$ mm/min) można uzyskać, zwiększając prędkość cięcia. Należy wówczas mieć na uwadze wzrost drgań układu prowadzącego narzędzie strunowe, co może zniwelować zakładane korzyści.



Rys. 3. Korona 4 – efekty cięcia struną z różną prędkością posuwu

Ostatni z kształtów – korona 5 – wykonano z dodatkowymi „wyjściami” skorygowanymi na podstawie analiz próbki korona 2. Przyjęto parametry: prędkość posuwu 20 mm/min, prędkość cięcia 8 m/s.



Rys. 4. Zaprojektowany kontur (korona 5) oraz wycięty kształt

Kontur założony (rys. 4a) i otrzymany (rys. 4b) przedstawiono w pionie, ponieważ jest to rzeczywiste położenie, w jakim wycięto element. Zmiana ta miała na celu zmniejszenie drgań przenoszonych do materiału przez strunę ścierną, które były większe podczas wycinania w poziomie, gdy element znajdował się przy krawędzi płytki (był usytuowany wzdłuż osi X). Kolorem zielonym oznaczono odcinki, na których prędkość posuwu zmniejszała się do 10 mm/min. Spowalniany miejscowo ruch stołu krzyżowego zmniejszał siłę docisku materiału do struny. W efekcie zapobiegało to „przeskoczeniu” narzędzia w powstałą wcześniej bruzdę, a także poprawiło odwzorowanie krawędzi elementu. Całkowity czas cięcia uległ wydłużeniu tylko o 10%.

Podsumowanie

Eksperyment potwierdził: możliwość zmniejszenia ugięcia struny na przecinarce PS2Tsk przez dobór odpowiedniej prędkości posuwu, z uwzględnieniem stopnia skomplikowania kształtu, twardości materiału przecinanego i stanu zużycia struny, oraz zasadność przedstawianych strategii cięcia w celu eliminowania zniekształceń kształtowych.

LITERATURA

1. Bidville A., Wasmer K., Kraft R., Ballif C. "Diamond Wire-Sawn Silicon Wafers – From The Lab To The Cell Production". *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany.
2. Ciałkowska B., Rodziewicz Z., Sobiech J. "CAM system application for shape cutting programming on wire saw type PS2Tsk". *Journal of Machine Engineering*. Vol. 6, No. 1 (2006): pp. 144-149.
3. Ciałkowska B., Rodziewicz Z. „Możliwości wycinania kształtowego narzędziem strunowym w materiałach trudnoobrabialnych”. *Mechanik*. Nr 9 (2014): s. 102-105.
4. Ciałkowska B., Rodziewicz Z. „Problematyka zagadnień w cięciu kształtowym struną zbrojoną”. *Obróbka ścierna. Współczesne problemy*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2011. ■