

# Analiza sztywności frezu trzpieniowego

## The analysis of end mill cutter stiffness

JAN BUREK  
 ŁUKASZ ŻYŁKA  
 MARCIN PŁODZIEN  
 ARTUR SZAJNA \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.440

W artykule przedstawiono analityczne, numeryczne oraz doświadczalne metody oceny sztywności frezu trzpieniowego walcowo-czołowego. Porównano wyniki obliczeń z wynikami badań doświadczalnych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** frez, sztywność, MES

*The article presents the analytical, numerical and experimental methods of determination the stiffness of the end mill cutter. There were compared the results of calculation with the experimental results.*

**KEYWORDS:** milling cutter, stiffness, FEM

Frez trzpieniowy w procesie skrawania poddawany jest działaniu składowych siły skrawania, a każda z nich powoduje różnego rodzaju obciążenia [1]. Najczęściej występującym obciążeniem narzędzia jest zginanie i skręcanie, może również wystąpić ściskanie lub ścinanie. W wyniku działających obciążeń dochodzi do odkształcenia narzędzia [2]. Odkształcenie w zakresie sprężystym nie powoduje trwałego uszkodzenia narzędzia. Ma jednak negatywny wpływ na przebieg procesu skrawania, gdyż sprężyste odkształcenia narzędzi powodują powstawanie drgań. Ponadto odkształcenie narzędzia powoduje zmianę rzeczywistego naddatku obróbkowego i przekroju warstwy skrawanej. Skutkuje to zmiennym obciążeniem narzędzia, a w konsekwencji powstaniem błędów wymiaru i kształtu przedmiotu obrabianego [1÷4]. Jest to szczególnie istotne na etapie obróbki wykończeniowej. Stąd też bardzo ważna jest znajomość odkształcenia sprężystego narzędzia już na etapie planowania procesu technologicznego. Dzięki temu parametry skrawania mogą zostać tak dobrane, aby wartość ugięcia mieściła się w zakresie pola tolerancji.

Dalej przedstawiono metody określenia sprężystego odkształcenia frezu trzpieniowego walcowo-czołowego we frezowaniu walcowo-czołowym. Wyniki obliczeń porównano z rzeczywistym odkształceniem frezu.

### Badania doświadczalne

Badania frezowania zrealizowano na centrum obróbkowym HSC55 Linear firmy DMG (rys. 1). Pomiar siły skrawania wykonano, stosując 3-składowy piezoelektryczny siłomierz firmy Kistler typu 9121 i wzmacniacz ładunku 5019A. Zastosowano frez trzpieniowy monolityczny węglkowy o średnicy  $d = 10$  mm firmy Sandvik Coromant R216.34-10050-AK22P 1620. Wysięg narzędzia był maksymalny dopuszczalny i wynosił 65 mm. Próbkę wykonano ze stopu aluminium AlZn5.5MgCu (7075). Badania zrealizowano przy stałych parametrach skrawania: prędkości skrawania  $v_c = 628$  m/min i osiowym dosuwie  $a_p = 18$  mm,

posuwie na ostrze  $f_z = 0,05$  mm/z; promieniowy dosuw  $a_e$  zmieniano w zakresie: 0,5; 1; 1,5; 2 mm.



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – obrabiarka, 2 – przestrzeń robocza z zamocowaną próbką, 3 – aparatura pomiarowa

Ze względu na duży wysięg narzędzia i znaczny osiowy dosuw tylko w dwóch próbach zarejestrowano odporową siłę skrawania: dla  $a_e = 0,5$  i 1 mm. W pozostałych przypadkach drgania były tak duże, że zakłócały pracę siłomierza i pomiar był niemożliwy. Ponadto jakość powierzchni po obróbce uniemożliwiała pomiar odchyłki spowodowanej ugięciem narzędzia. W związku z tym analizie poddano dwa przypadki obciążenia narzędzia: dla  $a_e = 0,5$  i 1 mm. Podczas frezowania z  $a_e = 0,5$  mm odnotowano średnią siłę odporową  $F_p = 66$  N i ugięcie narzędzia  $\Delta_n = 0,015$  mm, natomiast dla  $a_e = 1$  mm siła  $F_p = 180$  N, a ugięcie  $\Delta_n = 0,053$  mm. Dane te posłużyły do dalszych obliczeń analitycznych i numerycznych.

### Obliczenia analityczne i numeryczne

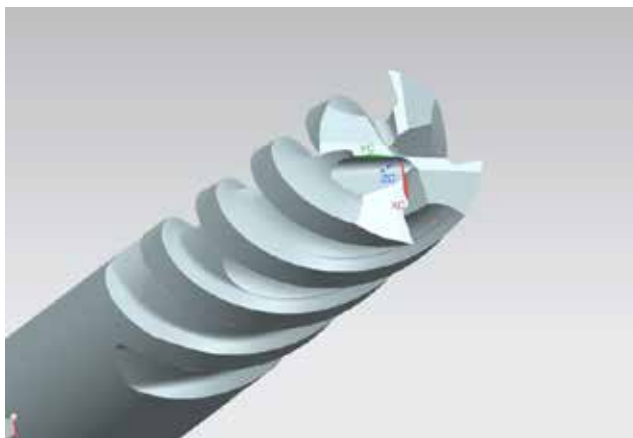
Do obliczeń analitycznych przyjęto następującą zależność:

$$\Delta_n = \frac{FL^3}{3EI}$$

Wyznaczono strzałkę ugięcia pręta jednostronnie utwierdzonego, obciążonego siłą przyłożoną na jego końcu. Moment bezwładności  $I$  przyjęto taki jak dla pręta walcowego, co wiązało się ze znacznym uproszczeniem bryły narzędzia. Dla  $a_e = 0,5$  mm obliczono ugięcie narzędzia  $\Delta_n = 0,02$  mm, natomiast dla  $a_e = 1$  mm ugięcie wyniosło  $\Delta_n = 0,057$  mm.

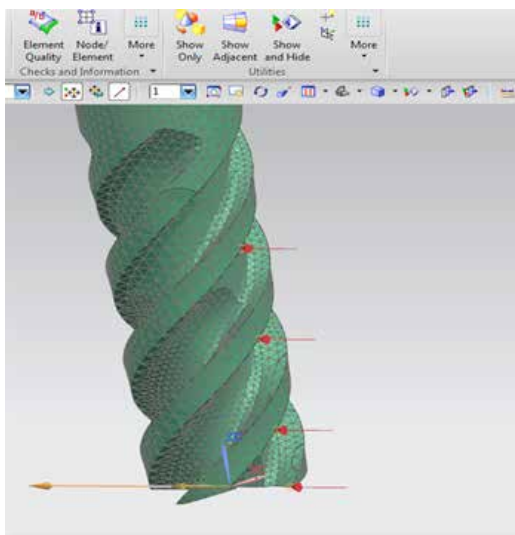
Następnie w celach porównawczych przeprowadzono analizę ugięcia narzędzia za pomocą MES. W pierwszej kolejności wykonano model 3D frezu z dokładnym odwzorowaniem szczegółów geometrycznych części roboczej (rys. 2). Model narzędzia wykonano w środowisku NX, a obliczenia w module NX Nastran. Zastosowano trójkątne elementy czterowzłowe o wielkości 1 mm.

\* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Łukasz Żyłka (zylka@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Płodzien (plodzien@prz.edu.pl), mgr inż. Artur Szajna – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska



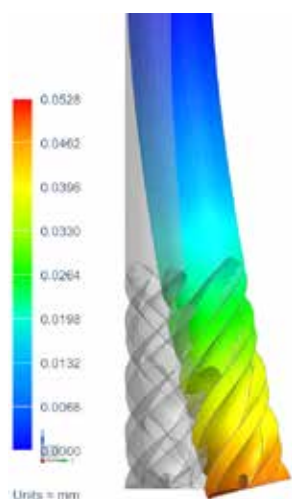
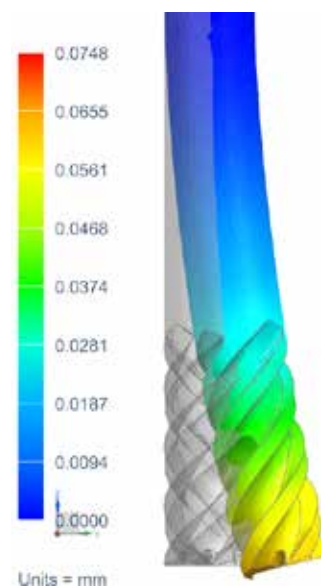
Rys. 2. Model 3D badanego frezu

Rozpatrzono dwa przypadki. W pierwszym narzędzie zostało obciążone wektorami sił rozłożonymi na długości roboczej narzędzia, tak aby jak najdokładniej odwzorować warunki rzeczywiste (rys. 3). W drugim przypadku przyjęto jednopunktowe obciążenie narzędzia na jego końcu, analogicznie do metody analitycznej (rys. 4).



Rys. 3. Wielopunktowe obciążenie badanego frezu

Na rys. 4 i 5 przedstawiono wyniki obliczeń MES dla  $a_e = 1$  mm. Wyniki wszystkich obliczeń zestawiono z wynikami badań doświadczalnych (tablica).

Rys. 4. Ugięcie narzędzia obliczone dla  $a_e = 1$  mm i wielopunktowego obciążenia badanego frezuRys. 5. Ugięcie narzędzia obliczone dla  $a_e = 1$  mm i jednopunktowego obciążenia badanego frezu

TABLICA I. Wyniki pomiarów i obliczeń

Metoda	$a_e$ , mm	
	0,5	1
Doświadczalna	<b>0,015</b>	<b>0,053</b>
Analityczna	0,021	0,057
MES jednopunktowa	0,018	0,050
MES wielopunktowa	0,023	0,063

## Podsumowanie

Wartości odkształcenia sprężystego, obliczone za pomocą trzech metod, różniły się nieznacznie. Najbardziej zbliżone do wyników doświadczalnych były wyniki obliczeń przeprowadzone MES przy założeniu wielopunktowego obciążenia narzędzia. Wynika to z tego, że model 3D narzędzia użyty w MES dobrze odwzorowywał rzeczywiste narzędzie. Wyniki uzyskane metodą analityczną charakteryzowały się rozbieżnością od wyników otrzymanych doświadczalnie. Wynika to z przyjmowania w obliczeniach bryły narzędzia jako jednolitego walca, który ma większą sztywność niż rzeczywisty frez. Jednakże metoda analityczna pozwala na szybkie i proste obliczenie orientacyjnego ugięcia frezu.

Wartości ugięć narzędzia najbardziej odbiegające od wyników doświadczalnych uzyskano, przyjmując w MES jednopunktowe obciążenie narzędzia. Wynika to z tego, że, stosując MES, niezmiernie ważne jest odpowiednie ustalenie warunków obciążenia narzędzia i właściwe interpretowanie uzyskanych wyników.

## LITERATURA

1. Rekers S., Auerbach T., Veselovac D. Klocke F. "Cutting force reduction in the milling of aluminum alloys with serrated cutting tool edges". *Journal of Machine Engineering*. Vol. 15, No. 4 (2015): pp. 27-36.
2. Songmene V., Kheftabi R., Zaghbani I., Kouam J., Djebara A. "Machining and Machinability of Aluminum Alloys, Aluminium Alloys". *Theory and Applications, InTech* (2011): pp. 377-400.
3. Dombovari Z., Altintas Y., Stepan G. "The effect of serration on mechanics and stability of milling cutters". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 50, No. 6 (2010): pp. 511-520.
4. Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. WNT, Warszawa 2006.