

Jerzy Józwik ¹⁾, Marcin Kobyłka ²⁾

BADANIE WPŁYWU PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH KIESZENI PROSTOKĄTNEJ ORAZ WARUNKÓW REALIZACJI PROCESU SKRAWANIA NA DRGANIA PODCZAS FREZOWANIA TROCHOIDALNEGO

Streszczenie: Obróbka trochoidalna pozwala na usuwanie relatywnie dużej objętości materiału obrabianego w minimalnym czasie. Omówiono generowanie trochoidalnej ścieżki narzędzia podczas frezowania w systemie NX 7.5. Dokonano analizy drgań w przedmiocie podczas frezowania trochoidalnego kieszeni prostokątnej.

Słowa kluczowe: trochoida, obróbka skrawaniem, generowanie ścieżki narzędzia, Uni-graphics NX 7.5.

WSTĘP

Ważnym zagadnieniem podczas obróbki frezowaniem jest osiągnięcie jak najlepszej jakości produktu przy minimalizacji kosztów wytwarzania. Jednym z rozwiązań pozwalających zrealizować to jest usuwanie dużej ilości nadmiaru w jak najkrótszym czasie. Nie daje to jednak zawsze żądanych rezultatów z punktu widzenia jakości powierzchni i jej dokładności geometrycznej. Innym sposobem jest optymalizacja obróbki polegająca na wyborze jak najkorzystniejszej strategii obróbki.

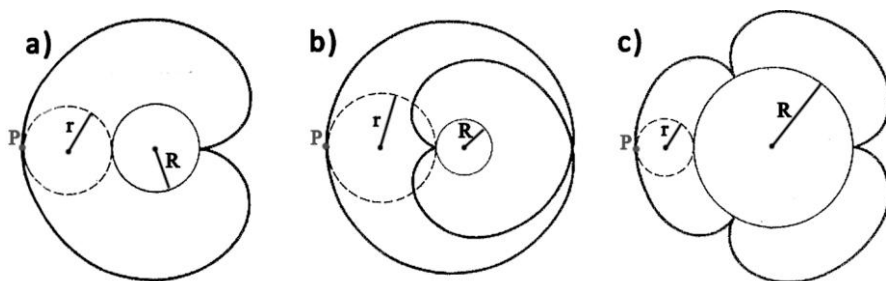
Obróbka materiału po ścieżce trochoidalnej pozwala na usuwanie w jednym przejściu dużej ilości materiału przy jednoczesnym zmniejszeniu kąta opasania narzędzia, a pośrednio zmniejszeniu sił skrawania drgań przedmiotu obrabianego. W badaniach skupiono się na analizie drgań podczas frezowania trochoidalnego kieszeni prostokątnej. Ścieżkę trochoidalną wygenerowano z wykorzystaniem systemu NX 7.5.

KRZYWA TROCHOIDALNA I JEJ INTERPRETACJA W SYSTEMIE NX 7.5

Trochoida (gr. *trochós* – koło, *eidos* – kształt) jest to krzywa płaska zakreślona przez dowolnie obrany punkt P stale związany z kołem O toczącym się wzdłuż wewnętrznej lub zewnętrznej strony stałego (nie poruszającego się) okręgu bez poślizgu. Termin został wprowadzony do matematyki przez Gillesa de Robervalą (rys. 1) [8].

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji.

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Koło Naukowe Podstaw Inżynierii Produkcji.

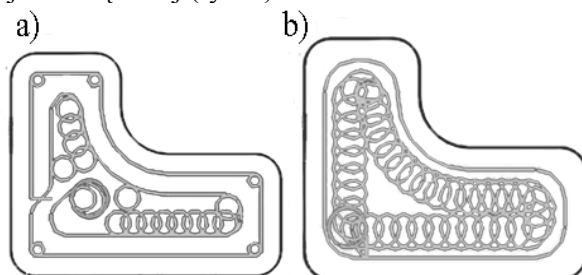


Rys. 1. Przykłady trochoid [8]

Strategia frezowania trochoidalnego najczęściej wykorzystywana jest podczas obróbki wcięć, naroży, wąskich kanałów, rowków i kieszeni. Podczas obróbki tradycyjnej naroży, lub rowków wpustowych następuje gwałtowne zwiększenie kąta opasania narzędzia. Powoduje to zwiększenie siły działającej na narzędzie oraz wzrost ilości generowanego ciepła i drgań. Czynniki te negatywnie wpływają na okres trwałość narzędzia, powodując jego skrócenie.

Ruch narzędzia po ścieżce trochoidalnej powoduje: zwiększenie płynności ruchu narzędzia, co jest istotne w przypadku obróbki HSM/HSC, oraz zmniejszenie kąta opasania frezu podczas obróbki naroży lub rowków [1, 3].

System NX 7.5 umożliwia generowanie dwóch rodzajów ścieżki trochoidalnej: wewnętrznej i zewnętrznej (rys. 2).



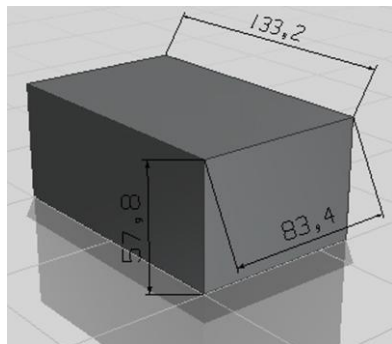
Rys. 2. Ścieżki trochoidalne dostępne w systemie NX: a) trochoida zewnętrzna, b) trochoida wewnętrzna [6]

BADANIE ORAZ ANALIZA DRGAŃ POWSTAŁYCH W PRÓBCE

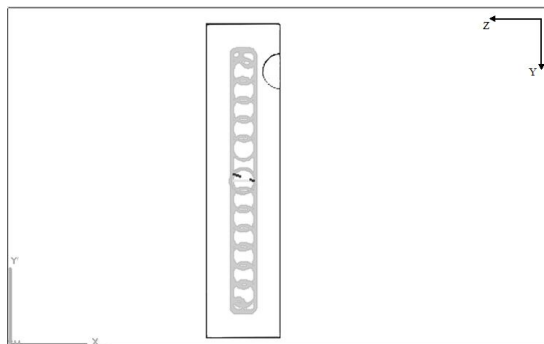
Próbkę do symulacji zaprojektowano w module „Modelling” systemu NX jako wyciągnięcie prostokąta o wymiarach 83,4mm x 133,2mm na wysokość 57,8mm (rys. 3). Docelowo w próbce zamodelowano i wykonano kieszeń o grubości ścianek 2,5mm.

W kolejnym etapie wygenerowano ścieżkę trochoidalną narzędzia z różną szerokością skrawania. Poszczególne kieszenie zaprojektowano jako oddzielne pliki *.prt, tak aby system NX rozpoznawał każdą z nich jako osobny element.

Rozmieszczenie kieszeni o szerokościach $e=18\text{mm}$ i $e=22\text{mm}$ zaprojektowano tak, aby po każdym zabiegu frezowania grubość ścianki próbki skokowo malała do wartości $2,5\text{mm}$ (rys. 4).



Rys. 3. Model próbki wygenerowanej w systemie NX 7.5

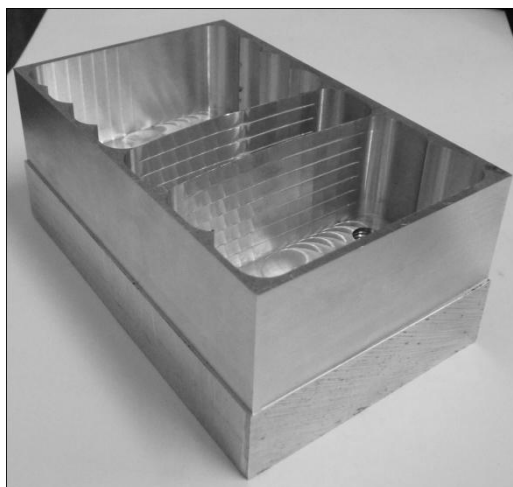


Rys. 4. Ścieżka ruchu narzędzia wygenerowana w systemie NX 7.5

Podczas procesu frezowania badano przebieg czasowy zmian przyspieszeń w trzech osiach za pomocą akcelerometru piezoelektrycznego firmy SEQUOIA. Wyniki rejestrowano na komputerze przy użyciu oprogramowania SeTAC Configuration Console ver. 5.14.0. Akcelerometr został zamocowany na bocznej ściance próbki (rys. 5). Proces frezowania przeprowadzono na pionowym centrum obróbkowym FV-580A firmy MOC MECHANICY. Badana próbka była wykonana z aluminium 7075.



Rys. 5. Zamocowanie próbki na stole obrabiarki



Rys. 6. Próbką po obróbce

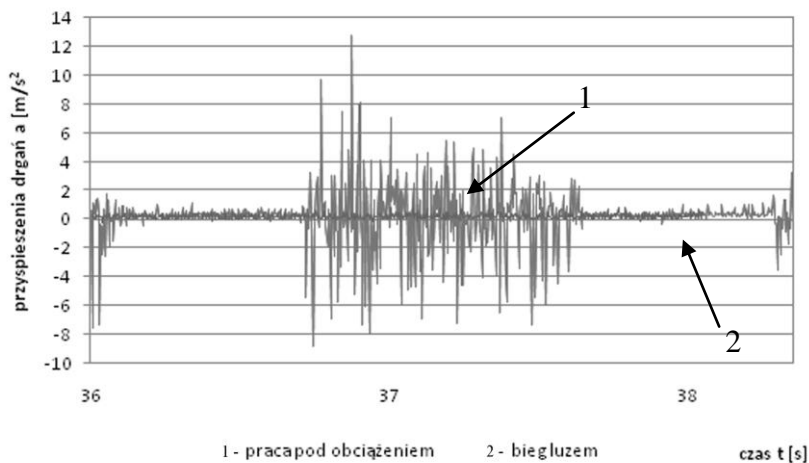
Próby powtarzano 4 – krotnie z szerokością frezowania $e=18\text{mm}$ oraz 3-krotnie z szerokością frezowanej kieszeni $e=22\text{mm}$. Głębokość kieszeni dla obu szerokości frezowanej kieszeni wynosiła 35mm , zaś głębokość skrawania $a_p=5\text{mm}$ (tab. 1).

Tabela 1. Parametry technologiczne obróbki

Parametr	Wartość
a_p [mm]	5
V_c [mm/min]	230
f [mm/ostrz.]	0,07
V_f [mm/min]	840

Po wstępnej analizie w dalszej części pracy uwzględniono drgania tylko w osi Z (rys. 4), która podczas badań była równoległa do najdłuższej krawędzi próbki. Wybór ten wynika z charakteru obróbki ścieżką trochoidalną.

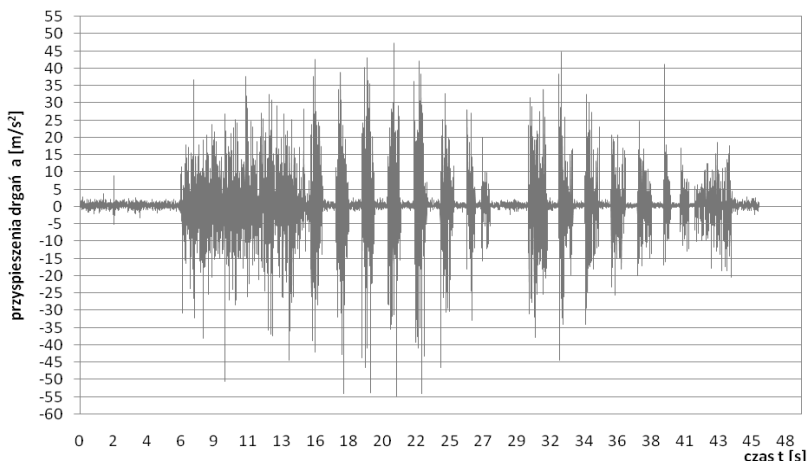
Analizując przeprowadzony proces stwierdzono, że nieznacznie odbiega on od pierwotnych założeń. W kieszeni pozostał materiał w dwóch miejscach. Powodem tego może być błąd w zaprojektowaniu kolejnych kieszeni (zbyt mała długość, na której kieszenie nakładają się na siebie) lub jest to odkształcenie wywołane działaniem sił na materiał (rys. 6).



Rys. 5. Przebieg czasowy zmian przyspieszenia drgań w osi Z podczas biegu luzem ($V_c=230\text{mm/min}$, $n=6000\text{ obr/min}$) centrum obróbkowego FV-580A, przy: $a_p=5\text{mm}$, $f=0,07\text{ mm/ostrz}$, $V_f=840\text{ mm/min}$, $V_c=230\text{ mm/min}$.

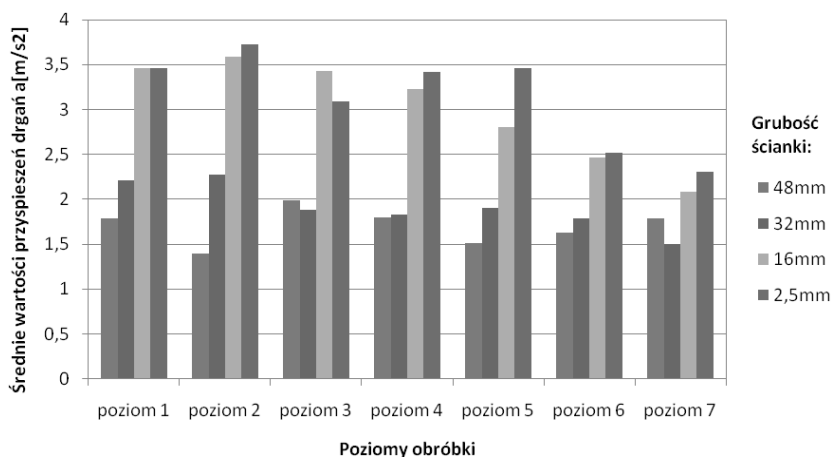
Na rys. 7 przedstawiono przebieg czasowy zmian przyspieszenia drgań dla osi Z przyrządu pomiarowego podczas próby pracą oraz biegu luzem w porównaniu do przebiegu czasowego podczas pracy pod obciążeniem. Wybrany przedział czasowy przedstawia moment w którym narzędzie wykonuje ruch tro-

choidalny w materiale obrabianym. Wartość szczytowa w tym przypadku wynosi $12,81 \text{ m/s}^2$, a odchylenie standardowe $2,21 \text{ m/s}^2$.



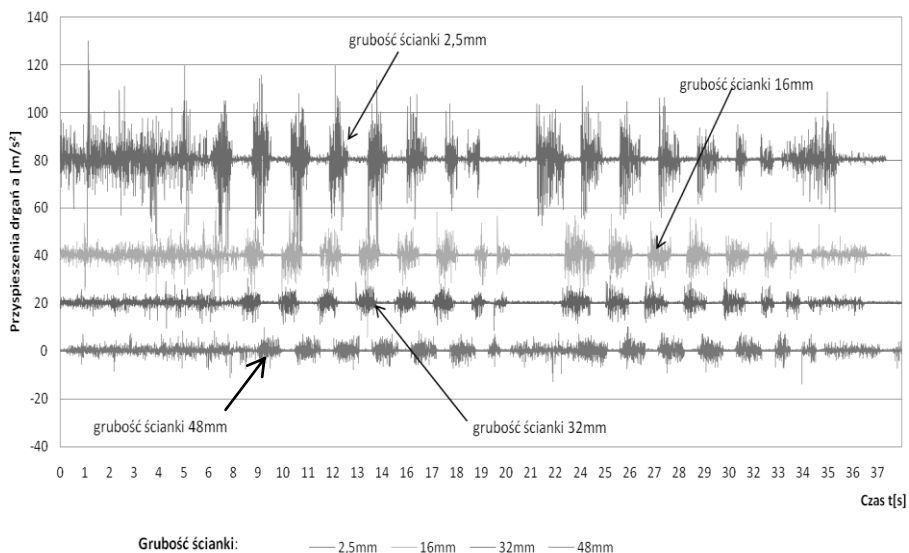
Rys. 6. Przebieg czasowy zmian przyspieszenia drgań w osi Z podczas pracy centrum obróbkowego FV-580A, parametry technologiczne: $a_p=5\text{mm}$, $f=0,07 \text{ mm/ostz}$, $V_f=840 \text{ mm/min}$, $V_c=230 \text{ mm/min}$, $e=18\text{mm}$.

Na rys. 8 przedstawiony został przebiegu czasowy przyspieszeń drgań w osi Z podczas pracy ścieżką trochoidalną przy grubości ścianki $2,5\text{mm}$, głębokość skrawania $a_p=15\text{mm}$. Cechą charakterystyczną jest cykliczne zwiększanie się amplitudy drgań przy wchodzeniu narzędzia w materiał krokiem trochoidalnym. W czasie od 6 do 16 sekundy następuje wejście freza w materiał strategią heliakalną. Wartość szczytowa wynosi $54,84 \text{ m/s}^2$, odchylenie standardowe $6,31 \text{ m/s}^2$.



Rys. 7. Średnie wartości przyspieszeń drgań dla szerokości frezowanej kieszeni $e=18\text{mm}$

Analizując wartości przyspieszeń drgań na poszczególnych poziomach obróbki można stwierdzić pewnego rodzaju tendencję zwiększania się wartości drgań wraz z coraz mniejszą grubością ścianki próbki (rys. 9). Wartości przyspieszeń drgań, dla tych samych grubości ścianek, na poszczególnych poziomach obróbki są do siebie zbliżone. Wartości średnie zostały obliczone bez uwzględnienia zwrotu działania wektora przyspieszenia w celu dokładniejszego oszacowania średnich wartości drgań.



Rys. 8. Zestawienie przebiegów czasowych drgań w osi Z, szerokość frezowanej kieszeni $e=18\text{mm}$, parametry technologiczne: $a_p=5\text{mm}$, $f=0,07\text{ mm/ostrz}$, $V_f=840\text{ mm/min}$, $V_c=230\text{ mm/min}$.

Na rys. 10 przedstawiono zestawienie przebiegów czasowych drgań w osi Z podczas frezowania na głębokości $a_p=5\text{mm}$. Analizując wykresy można zauważyć wyraźne zwiększanie się amplitudy oraz wartości szczytowych drgań wraz ze spadkiem grubości ścianki (tabela 2).

Tabela 2. Wartości szczytowe drgań podczas przebiegu czasowego

Grubość ścianki g [mm]	Wartość szczytowa drgań a [m/s^2]
48	11,77
32	12,38
16	20,77
2,5	39,75

Tabela 3. Odchylenie standardowe wartości drgań dla przebiegu czasowego

Grubość ścianki g [mm]	Odchylenie standardowe σ_a [m/s^2]
48	1,62
32	1,55
16	2,5
2,5	5,06

Analizując wartości odchyłeń standardowych można zaobserwować pewnego rodzaju wzrost dynamiczności procesu frezowania dla grubości ścianki $g=2,5\text{mm}$.

Odchylenie standardowe dla grubości ścianki $g=2,5\text{mm}$ wynosi $\sigma_a=5,06\text{m/s}^2$, jednocześnie pozostałe wartości odchyień standardowych są około dwukrotnie mniejsze. Świadczy to o mniejszym skupieniu obserwowanych wartości drgań wokół wartości średniej niż w przypadku ścianek o grubościach $g=48\text{mm}$, $g=32\text{mm}$, $g=16\text{mm}$ (tabela 3).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu parametrów geometrycznych kieszeni prostokątnych przedmiotu obrabianego oraz warunków realizacji procesu skrawania na drgania podczas frezowania trochoidalnego dokonano oceny wpływu szerokości ścieżki trochoidalnej, grubości frezowanych ścian i głębokości frezowania na poziom generowanych drgań przedmiotu obrabianego.

W oparciu o przeprowadzone badania eksperymentalne stwierdzono, że:

- wraz ze spadkiem grubości ścianki wartości przyspieszenia drgań wzrastają,
- szerokość ścieżki trochoidalnej wpływa na poziom drgań przedmiotu obrabianego,
- frezowanie kieszeni o szerokości $e=18\text{mm}$ generowało w przedmiocie obrabianym mniejsze drgania niż przy szerokości frezowanej kieszeni $e=22\text{mm}$,
- głębokość skrawania w niewielkim stopniu wpływa na poziom generowanych drgań przedmiotu obrabianego.

PIŚMIENNICTWO

1. Ibaraki S., Yamaji I., Matsubara A.: On the removal of critical cutting regions by trochoidal grooving. *Precision Engineering*, Volume 34, Issue 3, July 2010, p. 467-473.
2. Otkur M., Lazoglu I.: Trochoidal milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 47, Issue 9, July 2007, p. 1324-1332.
3. Rauch M., Duc E. Hascoet J.-Y.: Improving trochoidal tool paths generation and implementation using process constraints modeling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 49, Issue 5, April 2009, Pages 375-383.
4. Uddin M. S., Matsubara A., Ibaraki S., Yasuda T.: Comparison of cutting strategies for high productive end milling. *Proceedings of the 35th International MATADOR Conference Formerly The International Machine Tool Design and Research Conference*, 2007.
5. Zalewski A.: Obróbka trochoidalna na frezarkach CNC. *Mechanik* nr 4/2007, s. 303-304.
6. Siemens PLM Software: NX Unigraphics 7.5 Help, Siemens 2010.
7. Cichosz P.: Obróbka skrawaniem. Wysoka produktywność. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.
8. Fichtenholz G. M.: Rachunek różniczkowy i całkowity, tom I. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
9. Górski E.: Poradnik frezera. WNT, Warszawa 1999.

STUDY ON THE IMPACT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE RECTANGULAR POCKET AND CONDITIONS OF THE CUTTING PROCESS TO VIBRATIONS DURING TROCHOIDAL MILLING

Summary

Trochoid machining allows for the removal of relatively large volumes of material processed in minimal time. Explained are generation the trochoidal tool path in the NX7.5. The analysis of the vibrations in the workpiece during trochoidal milling has been made.

Keywords: trochoid, milling, generating of tool path, Unigraphics NX 7.5.