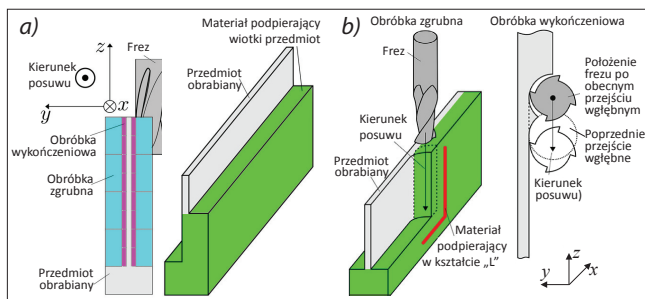


## Wysoko wydajna, stabilna i precyzyjna strategia frezowania cienkościennego

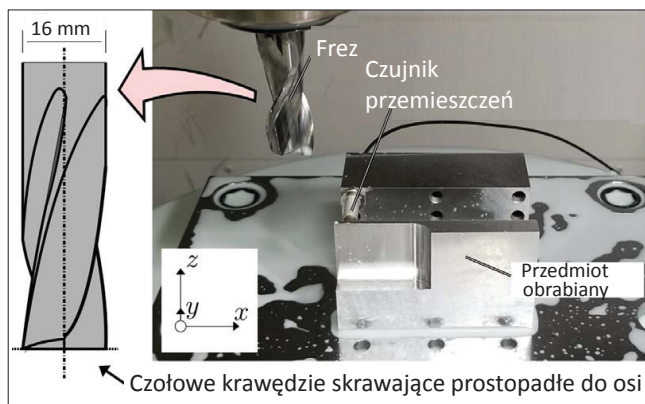
Mimo ciągłego wzrostu zapotrzebowania na przedmioty cienkościenne metoda obróbki od dawna się nie zmieniła. Tu zaproponowano metodę uwzględniającą kierunek skrawania i podatności przedmiotu, z wykorzystaniem agresywnego frezowania wglębnego. Synergiczne zalety proponowanej metody zostały zweryfikowane eksperymentalnie.

Klasyczna reguła frezowania przedmiotów cienkościennych, stosowana w celu utrzymania ich sztywności statycznej i dynamicznej, głosi, że głębokość osiowa powinna być mniejsza niż  $n$ -krotność pozostałej grubości ścianki (np.  $n = 8$  dla tytanu,  $n = 4$  dla Al), co ogranicza wydajność obróbki (rys. 1a). Kierunek posuwu w płaszczyźnie  $xy$ , prostopadłej do wysokości ( $z$ ) ściany powoduje powstawanie wysokich statycznych/dynamicznych składowych siły skrawania w kierunku podatności ściany oraz dużą szerokość skrawania, decydującą o regeneracji drgań.

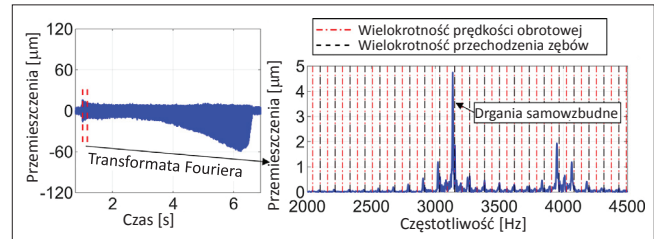
W zaproponowanej metodzie stosuje się agresywne frezowanie wglębne, przy którym pozostały do obróbki materiał ma kształt litery  $L$  („metoda  $L$ ” – rys. 1b). Najpierw wykonuje się obróbkę zgrubną frezowaniem wglębnym z posuwem w kierunku  $z$  aż do dna ścianki, a przy obróbce ostatniej warstwy dodatkowo obróbkę wykończeniową frezowaniem obwodowym, by usunąć występ pozostawiony między poprzednim a obecnym procesem wglębiania. Osiowa głębokość skrawania przy obróbce wykończeniowej jest równa wysokości ścianki, ale głębokość można podzielić w zależności od stabilności procesu.



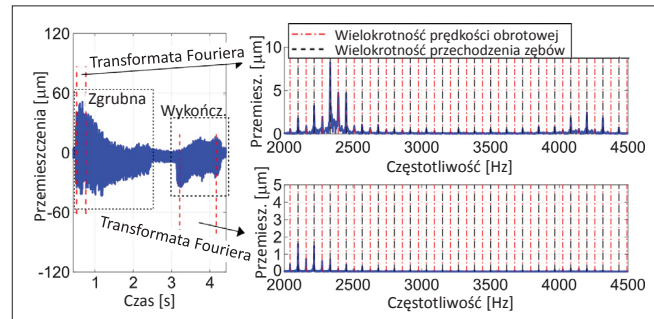
Rys. 1. Konwencjonalne frezowanie cienkościenne (a), frezowanie cienkościenne metodą  $L$  (b)



Rys. 2. Stanowisko badawcze



Rys. 3. Drgania mierzone w czasie wykończeniowego konwencjonalnego frezowania cienkościennego (frezowanie obwodowe)



Rys. 4. Drgania mierzone w czasie frezowania cienkościennego metodą  $L$  w ostatnim przejściu obróbki zgrubnej (wglębnej) i obróbki wykończeniowej (frezowanie obwodowe)

Stanowisko badawcze pokazano na rys. 2. Wysokość i szerokość ściany ze stopu aluminium wynoszą odpowiednio: 30 i 80 mm, a docelowa grubość: 2 mm. Wykorzystano 2-ostrzowy frez z węglików spiekanych o średnicy  $\varnothing 16$  mm.

Wyniki pomiarów drgań przy obróbce wykończeniowej metodą konwencjonalną pokazano na rys. 3, a na rys. 4 zestawiono wyniki uzyskane w ostatnim przejściu zgrubno-wykończeniowym metodą  $L$ . Jak widać, w pierwszym przypadku wystąpiły wyraźne drgania samowzbudne, a w drugim jedynie drgania wymuszone. Porównanie odchylenia grubości ścianki wykazało, że średnia różnica między górną i dolną częścią wynosiła  $33 \mu\text{m}$  dla metody konwencjonalnej i  $20 \mu\text{m}$  dla metody  $L$ . Zmierzone chropowatości  $R_a$  wyniosły odpowiednio w kierunku pionowym i poziomym:  $0,095 \mu\text{m}$  i  $0,05 \mu\text{m}$  dla metody konwencjonalnej oraz  $0,15 \mu\text{m}$  i  $0,243 \mu\text{m}$  w przypadku metody  $L$ .

Opracował: prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

### LITERATURA

Takehiro Hayasaka, Keigo Miyagawa, Kyungki Lee, Akira Saito, Eiji Shamoto. «L-stock method» – High-efficiency high-chatter-stability high-precision thin-wall milling strategy with aggressive use of plunge milling”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 73 (2024): 289–292, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2024.04.085>.