

Hybrydowe, lekkie elementy obrabiarek z możliwością integracji czujników

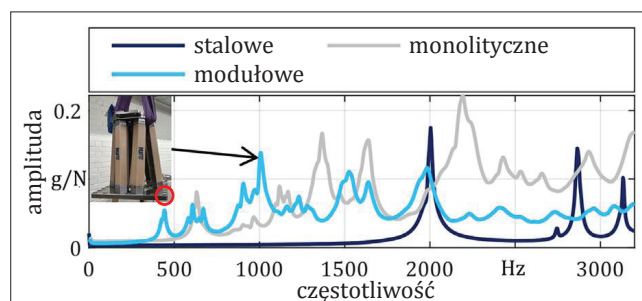
Zmniejszenie masy ruchomych części obrabiarek przy zachowaniu wysokiej sztywności i tłumienia drgań stanowi istotne wyzwanie współczesnej konstrukcji maszyn. Jednym z kierunków rozwoju jest wykorzystanie materiałów hybrydowych łączących beton polimerowy z włóknami węglowymi.

Celem pracy było zaprojektowanie i zbadanie prototypowych komponentów obrabiarki z betonu polimerowego z rurami zawierającymi cztery wiązki włókien węglowych jako lokalne wzmocnienia. Elementy te odlano w formach z tworzywa PLA, co umożliwiło uzyskanie złożonych kształtów bez konieczności późniejszego demontażu form.

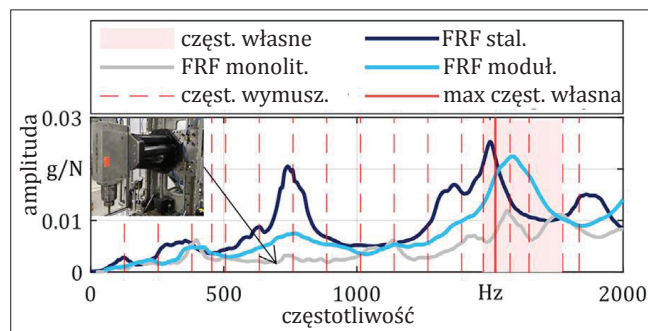
Elementem odniesienia było ramię wspornikowe wrzeciona frezarki ze spawanych rur stalowych (rys. 1a). Porównywano je z dwoma wariantami ramienia z materiału hybrydowego – monolitycznym (rys. 1b) i modułowym (rys. 1c) w postaci platformy Stewarta. Uzyskano redukcję masy o 50–65% przy zachowaniu wystarczającej sztywności statycznej do zastosowań w lekkich obrabiarkach.

Zastosowanie żywic utwardzanych na zimno w betonie polimerowym umożliwia osadzenie czujników odkształceń, np. światłowodowych siatek Bragga (FBG), już na etapie odlewania. Analiza charakterystyk częstotliwościowych (rys. 2) wykazała, że konstrukcje hybrydowe mają niższe częstotliwości własne, ale znacznie wyższe tłumienie drgań niż element stalowy. W badaniach całego układu obrabiarki (rys. 3) potwierdzono redukcję amplitud drgań i poprawę stabilności dynamicznej podczas obróbki.

Próby frezowania polioksymetylenu (POM) potwierdziły korzystny wpływ kompozytowych ramion na dynamikę procesu – uzyskano do 45% mniejszą



Rys. 2. Funkcje odpowiedzi częstotliwościowej (FRF) porównywanych ramion wspornikowych, punkt wzbudzenia zaznaczony na czerwono



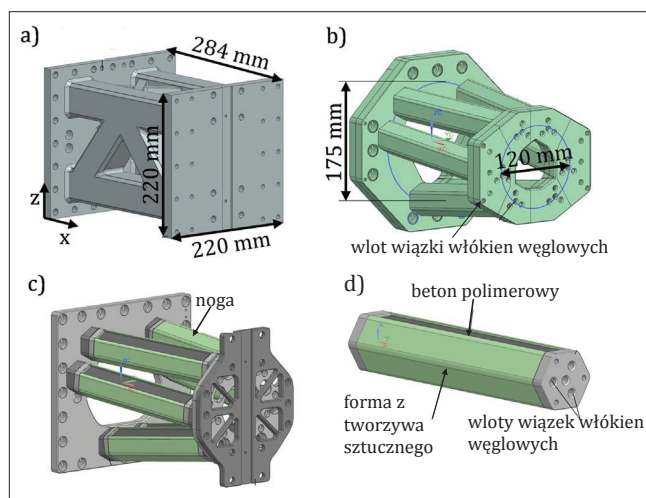
Rys. 3. Funkcje odpowiedzi częstotliwościowej (FRF) całej obrabiarki z komponentami testowymi

chropowatość powierzchni w porównaniu z elementem stalowym. Zintegrowane czujniki FBG wykazały bardzo dobrą korelację (94%) między odkształceniem a siłami skrawania, co dowodzi ich przydatności do monitorowania procesu w wielu stopniach swobody.

Zaproponowana koncepcja łączy zalety wysokiego tłumienia materiałów mineralnych z dużą sztywnością elementów węglowych, stanowiąc podstawę dalszego rozwoju lekkich, hybrydowych i „inteligentnych” struktur obrabiarek z możliwością integracji czujników do monitorowania obciążeń oraz drgań w czasie rzeczywistym.

LITERATURA

H.-C. Möhring, M. Engert, K.T. Werkle, Material hybrid and sensor integrated lightweight machine tool components, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 74 (2025) 499–503, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.04.042>



Rys. 1. Porównywane ramiona wspornikowe wrzeciona frezarki: a) stalowe, b) monolityczne, c) modułowe

Opracował: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak