

ZASTOSOWANIE ANALIZ MES I POMIARÓW DRGAŃ W PROCESIE ULEPSZANIA FREZÓW

Stanisław PŁASKA¹, Piotr WOLSZCZAK

1. WPROWADZENIE

Z obserwacji przeprowadzonych w przemyśle wynika, że firmy coraz częściej korzystają ze stosowania narzędzi o kształtach „Hi-Feed” do skrawania z dużymi prędkościami części z materiałów trudnoobrabialnych. Projektowanie takich narzędzi wymaga pewnego doświadczenia, wykonywania obliczeń obciążeń cieplnych oraz siłowych za pomocą technik MES oraz testowania narzędzi [4, 9]. W szczególności podczas testowania chętnie wykorzystywane są sygnały wibroakustyczne. Wykorzystanie tego rodzaju nośnika informacji o warunkach pracy narzędzi skrawających wiąże się z przetwarzaniem sygnałów wibroakustycznych. Praktycy z przemysłu preferują metody mało skomplikowane oraz dające wyniki łatwe do interpretacji [1, 2].

W pracy przedstawione zostały wyniki testowania frezów wykonanych z prętów węglkowych przeznaczonych do dwóch oddzielnych projektowanych zadań technologicznych. Na uwagę, zdaniem autorów, zasługuje odmienne kształtowanie sygnału wibroakustycznego w pozornie bardzo podobnych operacjach technologicznych oraz wynikające z tego odmienne zalecenia dla konstrukcji narzędzi.

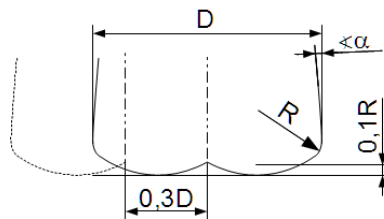
2. PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były frezy wykonane z pręta z węglków spiekanych pokrytych powłokami przeciwzużyciowymi. Wytwarzanie frezów przeprowadzono przy użyciu nowoczesnych, szlifierek CNC. Były to frezy o średnicach 4,8 mm

¹ Politechnika Lubelska, Katedra Automatykacji, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

i 12 mm przeznaczone były do obróbki materiału trudnoobrabialnego (Inconel 713). Frezy o średnicy 4,8 mm miały być zastosowane do wykonywania rowków o osi zakrzywionej i głębokości przekraczającej 7-krotnie średnicę narzędzia. Natomiast frezy o średnicy 12 mm były przeznaczone do skrawania powierzchni wirników turbosprężarek w operacji ich wyważania.

Z uwagi na rodzaj materiału i kształt obrabianego przedmiotu zaprojektowana została geometria typu Hi-Feed. Narzędzia takie skrawają w kierunku prostopadłym do swojej osi, co ułatwia usuwanie wiórów z wąskiego rowka. Narzędzie musiały być chłodzone zewnętrznie. Narzędzia typu Hi-Feed zastosowane do obróbki wykończeniowej zapewniają małą chropowatość przy stosunkowo dużych posuwach. Na rys. 1 przedstawiono charakterystyczne wymiary narzędzi typu Hi-Feed wraz z zalecaną głębokością skrawania $0,1R$. Profil narzędzia powyżej promienia R , nachylony jest pod kątem α do cylindra o średnicy D .



Rys. 1 Frezy typu Hi-Feed firmy J.G. Service: a) wymiary charakterystyczne, b) głębokości skrawania podczas kolejnych przejść narzędzi w trakcie testów frezowania [7]

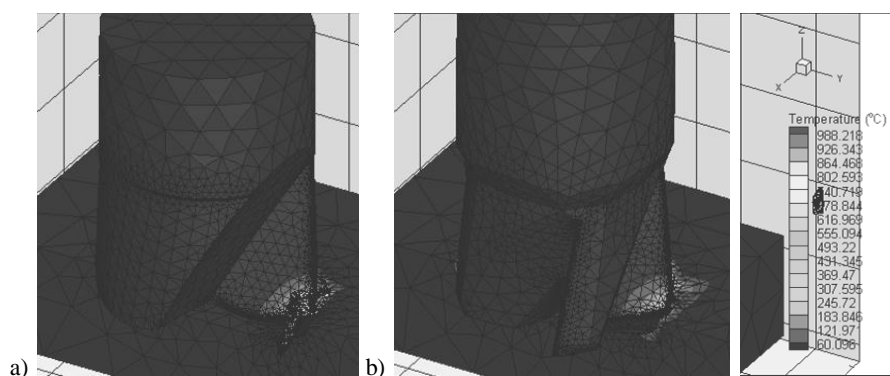
Pierwszą grupę frezów o ϕ 4,8 mm tworzyły frezy o kształcie handlowym zaproponowanym klientowi przez wytwórcę, a do drugiej grupy należały frezy po przeprowadzeniu zmian. Grupy frezów różniły się wymiarami trzonka narzędzia, liczbą zębów. Producent narzędzi wprowadzał zmiany sukcesywnie, w celu zwiększenia trwałości. W trakcie testów frezów grupy 1 zaobserwowano, że ich ostrza wykruszały się, co powodowało powstawanie uszkodzeń ścianek bocznych obrabianej części. Usunięcie uszkodzeń ścianki wymagało przeprowadzenia dodatkowej operacji szlifowania. Trzecią i czwartą grupę narzędzi tworzyły frezy palcowe o średnicach ϕ 12 mm. Te grupy również zróżnicowane były w efekcie wprowadzenia zmian poprawiających warunki pracy narzędzi. Zmiany dotyczyły takich parametrów jak: liczba ostrzy, kąt pochYLENIA linii śrubowej ostrzy oraz promień zaokrąglenia naroży.

Wymienione zmiany geometrii narzędzi następowały w wyniku prac racjonalizatorskich kolejne etapy:

1. analizę rodzajów zużycia narzędzi,
2. dyskusję zmian geometrycznych,
3. przygotowanie komputerowego modelu nowego narzędzia,
4. przeprowadzenie komputerowej symulacji pracy narzędzia,
5. analizę wyników symulacji,

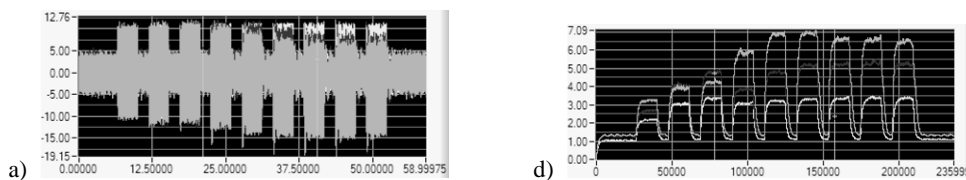
6. przygotowanie programów obróbkowych,
7. wykonanie prototypów narzędzi oraz
8. testowanie prototypów i obserwacja trwałości narzędzi w procesie produkcji klienta.

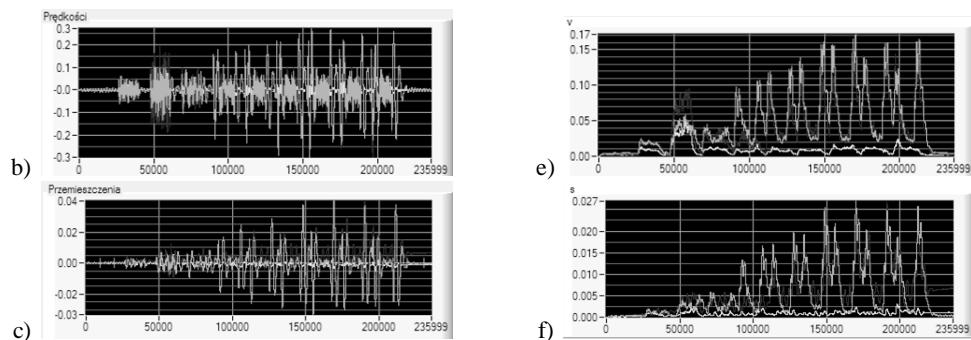
Wyniki przykładowych symulacji pracy frezów będących przedmiotem przedstawiono na rys. 2 i 3.



Rys. 1. Widok modeli bryłowych frezów Hi-Feed dla symulacji MES: a) frez dwupiórowy, b) frez czteropiórowy. Kolory cieniowania siatki odpowiadają temperaturom (°C) [7]

Warunki pracy narzędzia wszystkich czterech grup oceniono następnie z użyciem czujników drgań umieszczonych na wrzecionie frezarki. Warunki pracy odpowiadały warunkom pracy narzędzi w procesie docelowym. Celem testu było potwierdzenie znaczenia wprowadzonych zmian kształtów profili narzędzi. Efekty zmian dotyczyły zmniejszenia obciążenia ostrzy i zredukowania podatności na drgania. Charakter źródła drgań wymagał zastosowania czujników o szerokim paśmie pomiarowym. Na wrzecionie frezarki sterowanej numerycznie zamocowano trzy czujniki akcelerometryczne firmy Hansford Sensor typu HS-102 o zakresie pomiarowym do 16kHz i czułości 100mV/g. Czujniki rozmieszczono w płaszczyźnie XY co 45° od kierunku X0 do Y0. Przykładowe przebiegi sygnałów wibroakustycznych podczas testowania frezów o $\phi 4,8$ mm przedstawia rys. 3.





Rys. 4. Przykład zarejestrowanych sygnałów w trakcie kolejnych przejść narzędzia nr 13: a) wartości przyspieszenia, uzyskane po kolejnych całkowaniach, b) prędkość i c) przemieszczenie oraz odpowiadające im przebiegi odfiltrowane funkcją obwiedni (d, e, f). Na wykresach znajdują się nałożone sygnały z trzech czujników w kierunkach X0, Y0 i pod kątem 45 [7]

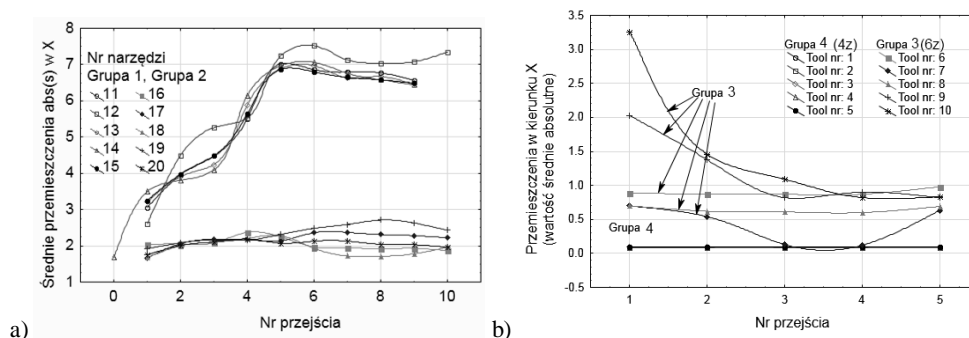
3. WYNIKI BADAŃ

Testom poddano cztery grupy nowych, nieużywanych narzędzi. Zarejestrowane przebiegi czasowe przetworzono w celu wyznaczenia obwiedni sygnałów przyspieszeń oraz odpowiadających im wartości prędkości i przemieszczeń [5, 6].

Wyznaczenie wartości sił składowych występujących w strefie skrawania na podstawie zarejestrowanych za pomocą czujników akcelerometrycznych przyspieszeń jest utrudnione. Przyjęto jednak, że amplitudy przemieszczenia obliczonych przez dwukrotne całkowanie zarejestrowanych szeregów czasowych odpowiadają zmiany wartości sił działających na wrzeciono, a ich źródłem jest strefa skrawania [3].

W przypadku narzędzi grupy 1 zaobserwowano wzrost wartości przemieszczeń w trakcie pierwszych 5-ciu przejść narzędzi. W kolejnych przejściach przebiegi się stabilizują. Spowodowane może to być zagłębianiem się narzędzia podczas kolejnych przejść wynikać ze wzrostu objętości usuwanego materiału podczas pojedynczego przejścia.

Podczas testów narzędzi grupy 3 zaobserwowano fazy docierania narzędzi. Zaobserwowano również zwiększone i mniej równomierne obciążenie frezów grupy 3 w porównaniu z grupą 4. Zaobserwowane w testach frezowania materiału trudnoobrabialnego różnice są zgodne z różnicami prognozowanymi na podstawie symulacji MES.



Rys. 2. Średnie absolutnych wartości przemieszczeń (dwukrotnie skalkowany sygnał przyspieszenia) w kolejnych przejściach narzędzi grup 1 i 2 (a) oraz 3 i 4 (b) zarejestrowane czujnikami przyspieszeń w kierunkach X. Punkty połączono krzywą sklejaną [7, 8].

Podczas analizy statystycznej porównano zmienności grupowe wyrażone wartościami średnich odchyleń standardowych w grupie 1 i 2. Różnice pomiędzy zmiennościami były istotne na poziomie $p < 0,0001$. Natomiast narzędzia grupy 3 charakteryzowały się wyższymi wartościami przemieszczeń (ugięć) w porównaniu do narzędzi grupy 4. Również zmienność grupowa przemieszczeń poszczególnych narzędzi w grupie 3 były również wyższe niż w grupie 4.

4. PODSUMOWANIE

Wprowadzone udoskonalenia w geometrii frezów o średnicy ϕ 4,8 mm spowodowały wzrost ich trwałości o 40%. W przypadku frezów o średnicy ϕ 12 mm ten wzrost również był znaczący. Podane wyniki uzyskano w warunkach produkcyjnych dla serii obrabianych części liczących 100 sztuk.

Przedstawiona metodyka, w szczególności wykonanie obliczeń obciążeń cieplnych i siłowych technikami MES, w powiązaniu z wynikami testów bazujących na analizie sygnałów wibroakustycznych okazała się bardzo skuteczna. Metoda przetwarzania sygnałów wibroakustycznych polegająca na zastosowaniu funkcji obwiedni również okazała się, w badanych przypadkach wystarczająca.

ABSTRACT

TYTUŁ REFERATU W JĘZYKU ANGIELSKIM

The observations carried out in the industry shows that companies are interested in using of "Hi-Feed" shape tools for high-speed machining of hard materials like Inconel. The design of such tools requires some experience, heat load calculations and strength using FEA techniques and tests of tools. The vibro-acoustic sensors are used

during the tests. Industry prefer easy interpret results and fast methods.

This paper presents the results of testing carbide cutters in two separated tasks of technology design. Authors present different shapes of vibroacoustic signals in a very similar technology operations, and consequently different recommendations for design of tools.

These changes of tool geometry followed by the next of work stages: first - analysis of the types of tool wear, second - discussion of changes, 3rd - preparation of a computer model of a new tool, 4th - carry out FEA simulation, 5th - analysis of simulation results, 6th - prepare CNC programs, 7th – making of prototypes and 8th - prototype testing and monitoring tool life in clients factory.

There was tested a four groups of new, unused tools. The recorded waveforms were processed to determine the envelope of acceleration, velocity and displacement signals.

The geometry changes of the 4.8 mm cutters have increased their life by 40%. For the 12 mm diameter cutters this increase was also significant.

The methodology, in particular the implementation of thermal load calculations and force FEM techniques, in conjunction with the results of tests based on analysis of vibro-acoustic signals proved to be very effective. Vibro-acoustic signal processing method consists in using the envelope function turned out to be enough in the studied cases.

LITERATURA

- [1] DIMLA E. i DIMLA Snr. *Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations—a review of methods*. International J. of Machine Tools and Manufacture. T. 40 (8), 2000, 1073-1098.
- [2] GHANI J.A. i inni, *Monitoring online cutting tool wear using low-cost technique and user-friendly GUI*. Wear., Tom 271 (9-10), 2011, s. 2619-2624.
- [3] NALBANT M., ALTIN A., GÖKKAYA H., *The effect of coating material and geometry of cutting tool and cutting speed on machinability properties of Inconel 718 super alloys*. Materials and Design. Tom 28, 2007, 1719–1724.
- [4] PRAMANIK A., ZHANG L.C., ARSECULARATNE J.A., *Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites*. International J. of Machine Tools & Manufacture. 46, 2006, 1795–1803.
- [5] SHAO H., WANG H. L. i ZHAO X.M., *A cutting power model for tool wear monitoring in milling*. International Journal of Machine Tools and Manufacture. Tom 44 (14), 2004, 1503-1509.
- [6] SMITH S. W., *Digital Signal Processing*. Burlington, MA, USA: Newnes, 2003.
- [7] WOLSZCZAK P., PŁASKAS., DZIUBA M., *Wpływ zmiany geometrii narzędzi typu high feed, przeznaczonych do frezowania materiałów trudnoobrabialnych, na ich trwałość*. Mechanik 8-9/2012 CD.
- [8] WOLSZCZAK P., PŁASKAS., DZIUBA M., *Optymalizacja skrawania materiału inconel 713 podczas procesu wyważania wirników turbosprężarek*. Mechanik 8-9/2012 CD
- [9] XIAO M. i in., *The effect of tool geometry on regenerative instability in ultrasonic vibration cutting*. International Journal of Machine Tools & Manufacture. Tom 46, 2006, 492–499.