Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
9 - 10 Grudnia 2013

ZB 5

Nowoczesna obróbka mechaniczna stopów magnezu i aluminium
Modern mechanical working of magnesium and aluminium alloys

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań
Results

Metodyka selekcji stabilnych prędkości
Klasyczna analiza stabilności wymaga poznania charakterystyki maszyny w celu dokonania obliczenia krzywych workowych i zapewnienia stabilnych warunków obróbki. Zapewnienie tych warunków obróbki w warunkach przemysłowych jest znacznie utrudnione poprzez konieczność przebadania każdej konfiguracji maszyna-narzędzie.
Metodyka selekcji stabilnych prędkości zaadoptowana na potrzeby selektora stabilnych prędkości obrotowych bazuje na automatycznej rozpoznanej rzeczywistej prędkości obrotowej wrzeciona w oparciu o zadaną prędkość. Na podstawie rozpoznanej rzeczywistej prędkości obrotowej obliczone zostają częstotliwości obrotów wrzeciona oraz przechodzenia zębów oraz ich harmoniczne, a następnie usunięte zostają z widma. W przypadku jeżeli w widmie pozostanie silna składowa zostaje ona rozpoznana jako częstotliwość drgań samowzbudnych i na tej podstawie obliczony zostaje szereg stabilnych prędkości obrotowych, a następnie wskazana zostaje prędkość najbliższa aktualnej prędkości.

Methods of stable speed selection
Classical stability analysis requires knowledge of the characteristics of the machine in order to calculate the stability lobe diagram to ensure stable machining conditions. In industrial environment it is significantly difficult because of the need to test all the configuration of each machines and tools.
Methodology for selection of stable speed adapted to the needs of the selector stable speed software is based on the automatic detection of the actual spindle speed based at the set speed. On the basis of known actual speed frequency of spindle rotation and tooth passing frequency and their harmonics are calculated, and then they are removed from the spectrum. In the case where in the spectrum will remain a strong component is recognized as a self-excited vibration frequency and on the basis of that frequency stable speeds are calculated and speed indicated is closest to the actual speed.
Rozpoznanie rzeczywistej prędkości obrotowej
Real spindle speed detection
Zadana prędkość obrotowa wrzeciona podlega w każdej frezarce pewnym wahaniom. Zmienność prędkości ma znaczenie ze względu na odpowiadającą jej zmianę częstotliwości obrotów a także przechodzenia ostrzy.
Obliczenie częstotliwości obrotowych wraz z częstotliwościami przechodzenia ostrzy oraz ich kolejnymi harmonicznymi umożliwi automatyczne rozpoznanie poszczególnych składowych widma częstotliwościowego, co znacząco ułatwi analizę widma pod kątem wystąpienie drgań samowzbudnych. Częstotliwości obrotowe obliczone są w następujący sposób:

$$f_{obr} = \frac{Nn}{60}$$

N – kolejne liczby naturalne począwszy od 1
n – zadana prędkość obrotowa

Przykładowo dla prędkości obrotowej 6000 rpm częstotliwości obrotowe wynoszą kolejno:

LP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F obr [Hz]	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Tabela 1. Częstotliwości obrotowe i harmoniczne
Table 1. Spindle speed frequency and its harmonics

Częstotliwości przechodzenia ostrzy obliczone są w następujący sposób:

$$f_{ostrzy} = \frac{Nnz}{60}$$

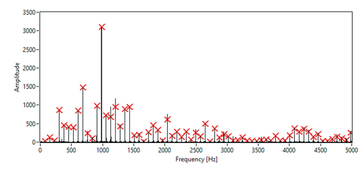
N – kolejne liczby naturalne począwszy od 1
n – zadana prędkość obrotowa
z – liczba zębów freza

Przykładowo dla prędkości obrotowej 6000 rpm oraz freza o 4 zębach częstotliwości obrotowe wynoszą kolejno:

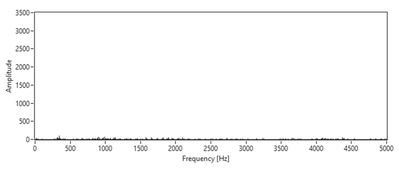
LP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F ostrzy [Hz]	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000

Tabela 2. Częstotliwości przechodzenia ostrzy i harmoniczne
Table 2. Tooth passing frequency and its harmonics

W celu umożliwienia automatycznego rozpoznania częstotliwości drgań samowzbudnych rozpoznane częstotliwości obrotowe oraz przechodzenia ostrzy zostają usunięte z widma co umożliwia przeglądanie widma oczyszczonego z rozpoznanych częstotliwości. Usunięcie odbywa się w zakresie ±5 Hz względem wskazanej częstotliwości.



Rys.1. Rozpoznane częstotliwości obrotowe i przechodzenia ostrzy
Fig.1. Identified spindle and tooth passing frequency

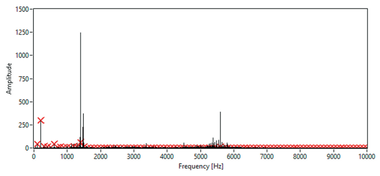


Rys.2. Widmo z odrzuconymi rozpoznanymi częstotliwościami
Fig.2. Frequency spectrum with rejected detected frequencies

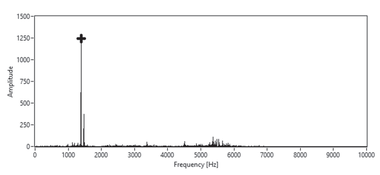
Widmo na rysunku powyżej z wieloma składowymi rozpoznanymi po oczyszczeniu reprezentuje stabilną obróbkę poprzez niewystąpienie drgań samowzbudnych, które widoczne byłyby na widmie.
W celu umożliwienia automatycznego rozpoznania częstotliwości drgań samowzbudnych rozpoznane częstotliwości obrotowe oraz przechodzenia ostrzy zostają usunięte z widma co umożliwia przeglądanie widma oczyszczonego z rozpoznanych częstotliwości. Usunięcie odbywa się w zakresie ±5 Hz względem wskazanej częstotliwości.

Rozpoznanie stabilności obróbki
Stable/Chatter condition detection

Stabilność obróbki czyli ocena wystąpienia drgań samowzbudnych jest dokonana poprzez porównanie amplitudy najsilniejszej składowej widma przed i po usunięcie rozpoznanych składowych. W przypadku, gdy amplituda składowej po usunięciu jest większa niż 25% wartości amplitudy przed usunięciem rozpoznane zostaje wystąpienie drgań samowzbudnych.



Rys.3. Rozpoznane częstotliwości obrotowe i przechodzenia ostrzy
Fig.3. Identified spindle and tooth passing frequency



Rys.4. Widmo z odrzuconymi częstotliwościami – drgania samowzbudne
Fig.4. Spectrum with rejected frequencies – chatter detected

Maksymalna składowa zostaje oznaczona na widmie oraz potraktowana jako częstotliwość drgań samowzbudnych i względem niej obliczone są w dalszych krokach stabilne prędkości obrotowe.

Obliczenie stabilnych prędkości
Stable speed detection

Rozpoznana z poprzednim kroku częstotliwość drgań samowzbudnych jest wykorzystana do obliczenia stabilnych prędkości obrotowych.

N – kolejne liczby naturalne począwszy od 1
z – liczba zębów freza

$$n = \frac{60 f_{ds}}{}$$

LP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n [rpm]	3650	1793	1195	896	717	598	512	448	398	359

Tabela 3. Stabilne prędkości obrotowe
Table 3. Stable spindle speed

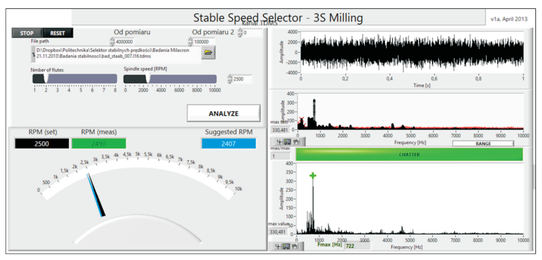
Z wszystkich obliczonych stabilnych prędkości obrotowych zostaje wskazana prędkość najbliższa prędkości aktualnej rzeczywistej prędkości obrotowej.

Oprogramowanie 3S
3S Software

Po uruchomieniu oprogramowanie umożliwia:
- Rejestrację sygnału do pliku
- Wczytanie danych z pliku
- Analizę danych online

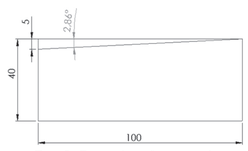
Po wczytaniu danych z pliku wymagane jest wprowadzenie danych wejściowych:
- Liczba zębów
- Zadana prędkość obrotowa

Następnie po wciśnięciu przycisku analizy następuje dokonanie całego procesu analizy selektora stabilnych prędkości oraz ocena stabilności warunków obróbki.



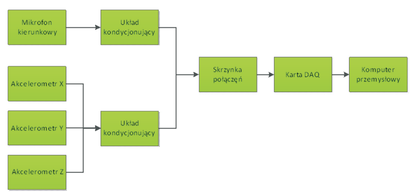
Rys.5. Interfejs oprogramowania 3S
Fig.5. User interface of 3S software

Badania selektora stabilnych prędkości obrotowych w Instytucie Technik Wytwarzania
Stable speed selector testing in Institute of Manufacturing Technology
Badania zostały wykonane poprzez frezowanie wraz ze zwiększającą się głębokością skrawania w zakresie od 0 do 5 mm, co na odcinku 100 mm (długość przedmiotu obrabianego) daje kąt 2,86 stopnia (patrz Rys. 6).



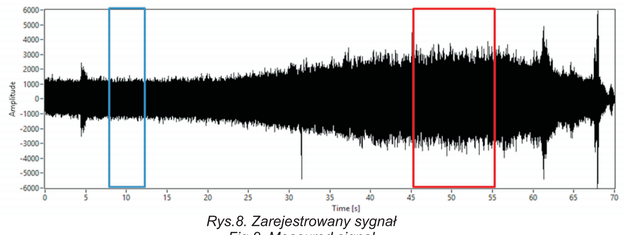
Rys.6. Procedura frezowania
Fig.6. Milling procedure

Do badań selektora prędkości obrotowych zbudowany został tor pomiarowy składający się z mikrofonu kierunkowego wraz z układem kondycjonującym, trójosiowego akcelerometru wraz z układem kondycjonującym. Do podłączenia czujników do karty pomiarowej umieszczonej w komputerze przemysłowym została wykorzystana skrzynka połączeń.
Schemat blokowy przygotowanego toru pomiarowego widoczny jest na rysunku 7.



Rys.7. Schemat toru pomiarowego
Fig.7. Diagram of the measurement system

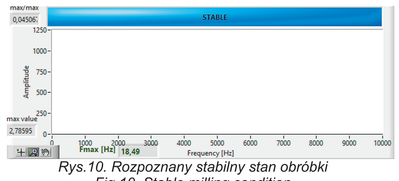
Zarejestrowany został sygnał akustyczny w czasie frezowania przy prędkości 6000 obr/min. Wystąpiły w czasie obróbki drgania samowzbudne, przez co obróbka stała się niestabilna. Zarejestrowany sygnał zaprezentowany jest na rysunku 8.



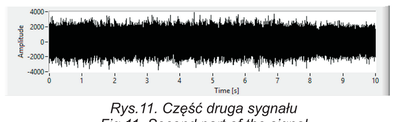
Rys.8. Zarejestrowany sygnał
Fig.8. Measured signal

Pierwszy fragment oznaczony na rysunku 8 jest przedstawiony na rysunku 9, a drugi na rysunku 11. Oprogramowanie poprawnie rozpoznało stabilny stan obróbki co zaprezentowane jest na rysunku 10.

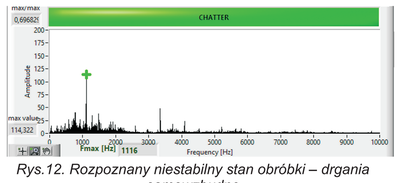
Rys.9. Część pierwsza sygnału
Fig.9. First part of the signal



Rys.10. Rozpoznany stabilny stan obróbki
Fig.10. Stable milling condition



Rys.11. Część druga sygnału
Fig.11. Second part of the signal

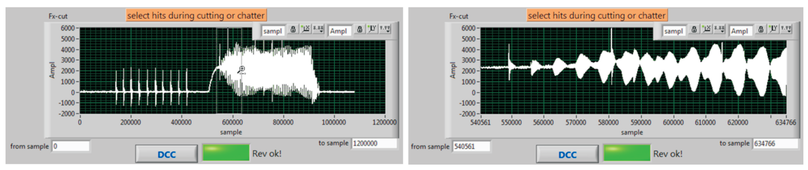


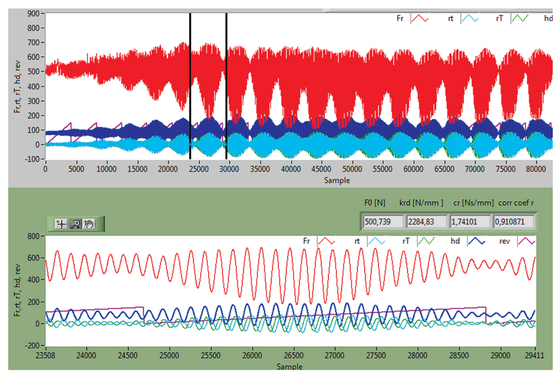
Rys.12. Rozpoznany niestabilny stan obróbki – drgania samowzbudne
Fig.12. Chatter milling condition

Prezentowany fragment zarejestrowanego sygnału został poddany analizie w opracowanym oprogramowaniu 3S – selektorze stabilnych prędkości obrotowych. Oprogramowanie rozpoznało poprawnie obecność drgań samowzbudnych oraz klarownie wskazało odpowiadającą im częstotliwość drgań.

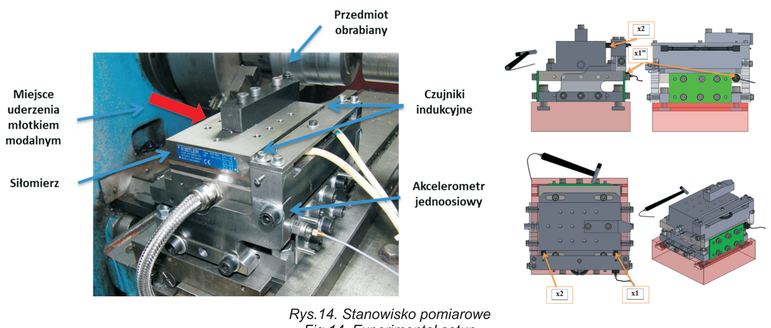
Na podstawie widma sygnału akustycznego oraz wprowadzonej ręcznie zadanej prędkości obrotowej oprogramowanie dokonuje automatycznego określenia rzeczywistej prędkości obrotowej, co ma kluczowe znaczenie w rozpoznaniu częstotliwości drgań samowzbudnych. Po podstawie tej częstotliwości określoną została najbliższa stabilna prędkość obrotowa.

Dodanie modułu do analizy drgań samowzbudnych w aplikacji "*DCC from Hits*"
New Chatter module in "*DCC from Hits*" software





Rys.13. Interfejs oprogramowania "DCC from hits"
Fig.13. User interface of "DCC from hits" software



Rys.14. Stanowisko pomiarowe
Fig.14. Experimental setup

Wnioski
Conclusions

Wstępna wersja stabilna selektora prędkości pozwala na analizę sygnału akustycznego do automatycznej identyfikacji rzeczywistej prędkości obrotowej wrzeciona w celu określenia rzeczywistej częstości obrotów wrzeciona i przechodzenia zębów żeby odrzucić je z widma w celu wykrywania częstotliwości drgań samowzbudnych, lub określenia, że obróbka jest stabilna.

A preliminary version of stable speed selector allows for analysis of the acoustic signal to automatically identify actual spindle speed in order to define the actual frequency of spindle rotation and tooth passing frequency to reject them from spectrum and detect self-excited vibration frequency of identify that milling conditions are stable.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty
1. Jemielniak K., Nejman M. Śniegulska-Grądzka D., Wypysiński R.: ***Wyznaczanie dynamicznych współczynników sił skrawania metodą doświadczalną***, VII Konferencja Szkoły Obróbki Skrawaniem 11-13.09.2013 r. Mierzęcin
2. Jemielniak K., Wypysiński R.: ***Symulacja numeryczna drgań samowzbudnych – przegląd metod, możliwości i potencjalnych korzyści***, VII Konferencja Szkoły Obróbki Skrawaniem 11-13.09.2013 r. Mierzęcin
3. Jemielniak K., Nejman M. Śniegulska-Grądzka D., Wypysiński R.: ***New method of dynamic cutting force coefficients determination***, International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, str. 159-166 Stockholm 27-30.10.2013
4. Jemielniak K., Wypysiński R.: ***Numerical simulation of self-excited vibrations - review of methods and potential advantages and pitfalls***, International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, str. 199-208 Stockholm 27-30.10.2013
5. Bąk P.A., Jemielniak K., ***Selektor stabilnych prędkości obrotowych – wersja wstępna***, Seminarium projektu Kluczowego Aeronet, 23-25 wrzesień 2013, Nałęczów, wygłoszona prezentacja

Publikacje
1. Jemielniak K., Nejman M. Śniegulska-Grądzka D., Wypysiński R.: ***Wyznaczanie dynamicznych współczynników sił skrawania metodą doświadczalną***, MECHANIK Nr 10/2013
2. Jemielniak K., Wypysiński R.: ***Symulacja numeryczna drgań samowzbudnych – przegląd metod, możliwości i potencjalnych korzyści***, MECHANIK Nr 10/2013
3. Jemielniak K., Wypysiński R.: ***Review of potential advantages and pitfalls of numerical simulation of self-excited vibrations***, Journal of Machine Engineering, Vol 13, No. 3, 2013, Page 77-90/p, ISSN 1895-7595X

Prace mgr, dr, hab.
Prace magisterskie obronione:
- inż. Piotr Andrzej Bąk ***„Automatyczna analiza modalna SISO wrzeciona frezarki" .***
  Promotor: dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

Prace inżynierskie planowane
- Karol Żurek ***Przemysłowy system akwizycji danych pomiarowych***
  Promotor: dr inż. Mirosław Nejman
- Mikołaj Rejmer ***Pomiary i analiza sygnałów drgań oraz siły skrawania podczas toczenia***
  Promotor: dr inż. Mirosław Nejman
- Piotr Bazydło ***Urządzenie do kompensacji nieliniowości charakterystyk czujników***
  Promotor: dr inż. Mirosław Nejman
- Maria Wróblewska ***Rozszerzenie funkcjonalności programu LabVIEW SignalExpress w zastosowaniu do testowania torów pomiarowych o nieliniowych charakterystykach***,
  Promotor: dr inż. Mirosław Nejman

Prace doktorskie

Tytuł: ***Selektor stabilnych prędkości obrotowych dla frezowania***
Autor: mgr inż. Piotr Andrzej Bąk
Promotor: prof. *dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak*
Status: praca przed otwarciem przewodu

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO