Projekt kluczowy
Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO

SPOTKANIE PANELI EKSPERTÓW
28-29 Czerwca 2010

ZB 2

Modelowanie, konstruowanie i kontrolowanie procesu HSM z uwzględnieniem skonfigurowanego układu maszyna-przyrząd-detal

Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań

Układy diagnostyki stanu narzędzia i procesu skrawania dla przemysłu lotniczego

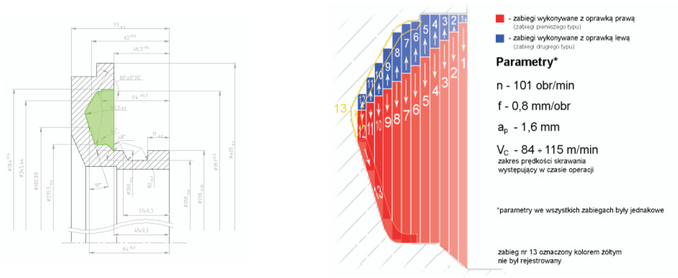
Badania doświadczalne zależności wybranych sygnałów diagnostycznych od stanu procesu skrawania – Etap II

Celem badań jest zarejestrowanie zależności sygnałów diagnostycznych (emisji akustycznej, sił skrawania, drgań) od stanu procesu obróbki skrawaniem. Badania prowadzone są w trakcie rzeczywistej produkcji na stanowiskach wytypowanych przez zakłady przemysłowe na których występują zakłócenia procesu skrawania takie jak: szybkie i niepowtarzalne zużycie ostrza, katastroficzne zużycie ostrza, odkształcenia detalu obrabianego, powstawania białej warstwy o nadmiernej grubości. Na podstawie zgromadzonych danych w dalszej części prac powstaną układy nadzoru pozwalające na minimalizacje strat wywołanych tymi zakłóceniami.

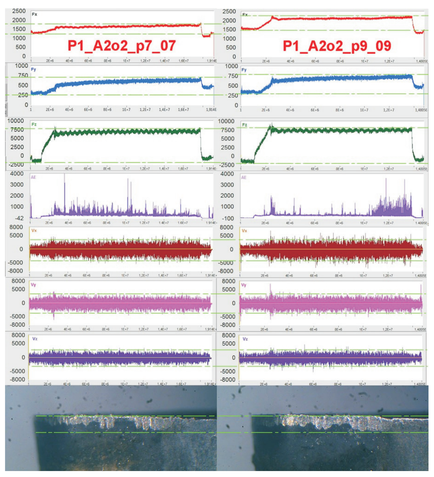
Podczas drugiego etapu badania przeprowadzono w zakładach WSK Rzeszów. Celem badań jest określenie możliwości diagnostyki zużycia ostrza dla wskazanych przez zakład operacji toczenia detali wykonanych z trudnoobrabialnych stopów żarowytrzymałych. Diagnostyka zużycia ostrza dla tych wybranych operacji jest szczególnie istotna dla zakładu z powodu występowaniu w nich krótkich i niepowtarzalnych okresów trwałości ostrza. Ocena stanu ostrza przez każdego z operatorów jest różna. Sytuacja taka powoduje dla uniknięcia dużej liczby braków niezawodny okres trwałości jest bardzo krótki a średni stopień wykorzystania narzędzia niski. Mimo stosowania bardzo krótkiego niezawodnego okresu trwałości ostrza w produkcji występują również braki spowodowane obróbka stępionym narzędziem. Wprowadzenie na tym stanowisku skutecznej diagnostyki stanu narzędzia umożliwiło by wydłużenie średniego stopnia wykorzystania narzędzia oraz zmniejszenie liczby braków.

- Stanowisko wykorzystane do badań (patrz rysunek 8):
- Obrabiarka: tokarka TZC 32N1.
- Tor pomiarowy:
  - Czujnik sił Kistler typ 9017B
  - Czujnik drgań PCB PIEZOTRONICS typ 356A16
  - Czujnik emisji akustycznej Kistler typ 8152B
  - Komputer pomiarowy wraz z kartami akwizycji danych NI PCI-6221 oraz NI PCI-6111 oraz skrzynkami połączeń
  - Kamera zainstalowana na mikroskopie do pomiaru zużycia ostrza
- Narzędzia: noże tokarskie *SVJCR(L) 2020K-16* wyposażone w płytki *VCMT 160408-SM* z materiału o oznaczeniu *IC907*

Przedmiot obrabiany, plan operacji i parametry skrawania przedstawiono na rysunku 1. Zarejestrowano sygnały z czterech okresów trwałości ostrza. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi zarejestrowanych sygnałów wraz ze zdjęciami stanu ostrza.



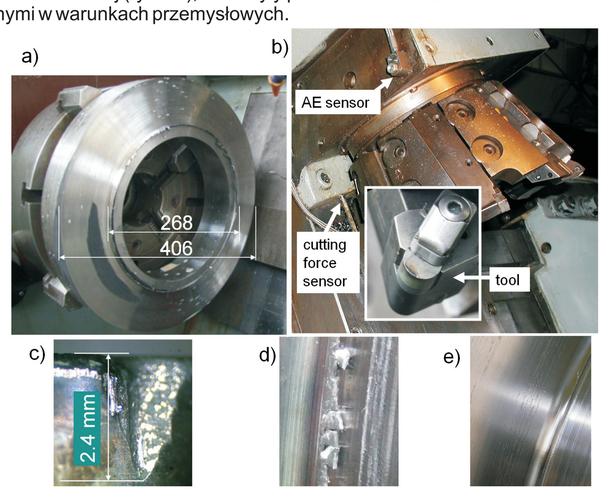
Rys. 1. Plan operacji realizowanej w trakcie badań na tokarce TZC 32N1



Rys. 2. Przebiegi sygnałów i zdjęcia zużycia narzędzia po pierwszym i ostatnim zabiegu z czwartego okresu trwałości ostrza zarejestrowane w trakcie badań na tokarce TZC 32N1

Analiza przydatności sygnałów i ich miar do diagnostyki stanu narzędzia

Badania zostały przeprowadzone w trakcie obróbki elementu silnika lotniczego (obudowy wirnika z Inconelu 625 – rys. 3a) na centrum tokarskim TKX 50N, wyposażonym w przemysłowy czujnik emisji akustycznej (Kistler 8152B121), czujnik drgań (PCB PIEZOTRONICS 356A16) oraz czujnik sił skrawania (Kistler 9017B) - rys. 3b. Użyto narzędzia CRSNL 3225P12 MN7 z ceramicznymi płytkami typu whiskers, RNGN 120700T01020 CC670 (rys. 3b). Wykonywano operację produkcyjną w warunkach zbliżonych do występujących w produkcji - kolejne przejścia prostopadłe do osi obrotu, od średnicy 406 do 268mm. Głębokość skrawania wynosiła a_p = 2.5 mm, posuw f = 0.2 mm/obr., a prędkość skrawania v_c = 220 m/min. Obrobiono trzy takie części, wykorzystując w pełni siedem ostrzy skrawających. Mierzono bezpośrednie, laboratoryjne kryterium określania trwałości ostrza – zużycie wrębowe (rys. 3c). Wszystkie próby prowadzono do czasu powstawania zadziorów (rys. 3d) lub drastycznego spadku jakości powierzchni obrobionej (rys. 3e), które były pośrednimi wskaźnikami określenia trwałości ostrza stosowanymi w warunkach przemysłowych.



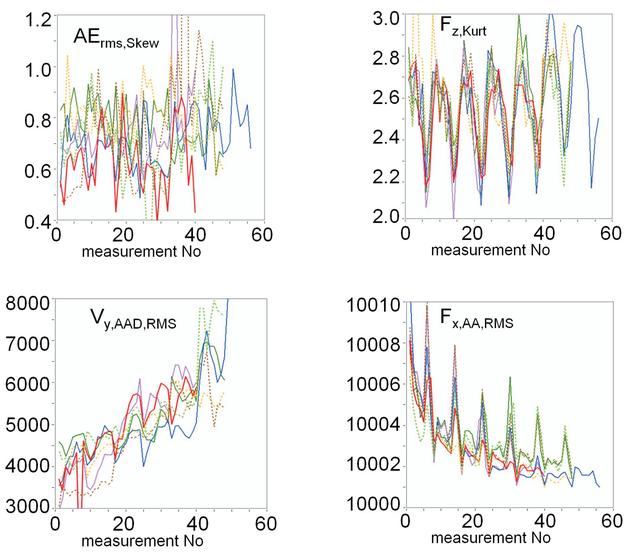
Rys. 3. Przedmiot obrabiany (a), narzędzie i czujniki (b), zużycie wrębowe (c), zadziory (d), chropowata powierzchnia (e).

Rejestrowano surowy sygnał emisji akustycznej (AE_{raw}) z częstotliwością próbkowania 2MHz oraz sygnał y zdemodulowanej emisji akustycznej (AE_{RMS}), drgań (V_y i V_z) i sił skrawania (F_x i F_z) z częstotliwością 30kHz.

Z każdego z sześciu zarejestrowanych sygnałów, wyznaczano:

- 5 miar w dziedzinie czasu (wartość skuteczna, odchylenie standardowe, skośność, kurtoza i współczynnik szczytu)
- 8 miar w dziedzinie częstotliwości opartych o transformatę Fouriera (dominująca częstotliwość, moc w dominującym paśmie, moc w sześciu wybranych pasmach)
- 6 miar dla każdego z czternastu współczynników falkowych uzyskanych z trzypoziomowej pakietowej transformaty Falkowej (logarytmiczna energia, skośność, kurtoza, wartość skuteczna, tempo i wypełnienie impulsów)

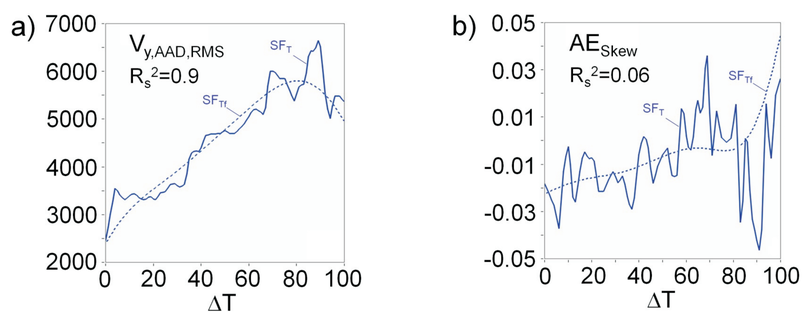
Łącznie wyznaczano 582 miary (97 z każdego sygnału, 194 z każdego czujnika). Pomimo iż liczba miar sygnałów jest znaczna, większość z nich jest bardzo zniekształcona i mało wrażliwa na stan narzędzia – patrz rysunek 4.



Rys. 4. Przykładowe przebiegi miar wyznaczone z zarejestrowanych sygnałów dla siedmiu okresów trwałości ostrza.

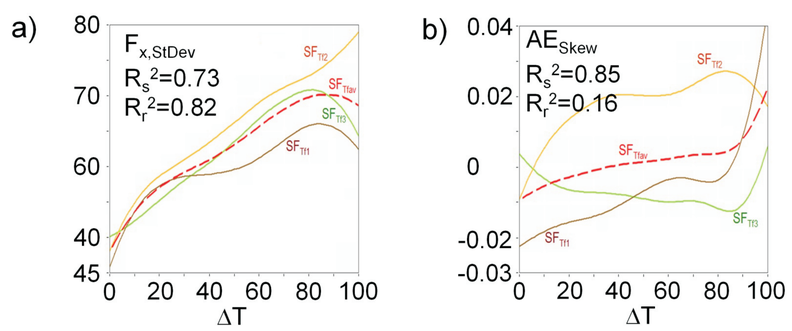
Konieczne jest wybranie jedynie miar powiązanych i wrażliwych na stan ostrza. Pozostałe miary należy odrzucić, jako nieprzydatne do monitorowania stanu narzędzia skrawającego. W celu automatycznej selekcji miar przydanych, stworzono algorytm sprawdzający przebieg każdej miary pod względem zgodności z trzema kryteriami:

- **Powiązanie z wykorzystaną częścią okresu trwałości ostrza (ΔT)** – określa powiązanie i wrażliwość miary na stan narzędzia



Rys. 5. Przykładowe przebiegi miary powiązanej (a); niepowiązanej ze stanem narzędzia (b), SF_T – przebieg rzeczywisty; SF_{Tf} – przebieg filtrowany dolnoprzepustowo znormalizowany w dziedzinie okresu trwałości ostrza.

- **Powtarzalność** – powtarzalność przebiegu miar dla kolejnych okresów trwałości ostrza



Rys. 6. Przykładowe przebiegi miary powtarzalnej (a); niepowtarzalnej (b), dla trzech pierwszych narzędzi, filtrowane, znormalizowane w dziedzinie względem wykorzystanej części okresu trwałości ostrza ΔT.

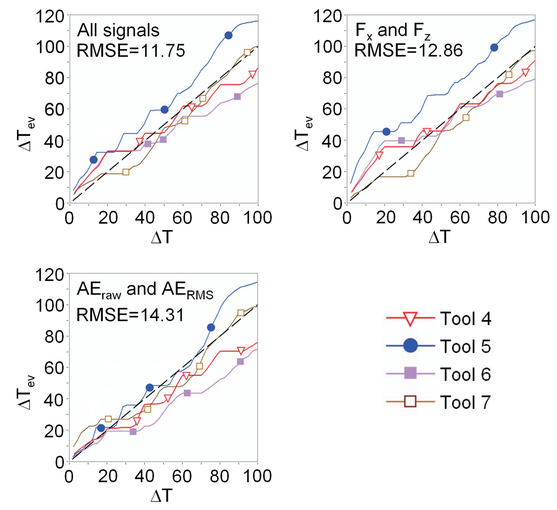
- **Brak podobieństwa** – występowanie w jednym okresie trwałości miar podobnych nie niesie żadnej nowej informacji jaką mógłby wykorzystać układ monitorowania, występowanie zakłócenia w przebiegu takich miar, spowoduje wzmocnienie jego wpływu na końcowy wynik działania układu.

Jedynie miary spełniające wszystkie trzy kryteria są uznawane za przydatne do monitorowania stanu narzędzia skrawającego. Po przeprowadzonej selekcji miar, z kilkuset podanych na wejście układu, pozostaje zaledwie kilkanaście przydatnych do monitorowania stanu narzędzia skrawającego. Miary te, są następnie integrowane w celu oszacowania stanu narzędzia. Algorytm zakłada uczenie układu na trzech pierwszych okresach trwałości. Monitorowane jest czwarte i każde kolejne narzędzie.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Potrzebę stosowania układów diagnostyki procesu skrawania zgłosiły firmy WSK Rzeszów, PZL Mielec, Ultratech, które wykonują obróbkę elementów silników lotniczych wykonanych z materiałów trudnoskrawalnych. Badania prowadzone są na stanowiskach wskazanych przez te firmy, a w wyniku projektu powstaną układy nadzoru, które będą mogły być tam zastosowane.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji
Instytut Technik Wytwarzania
Zakład Automatyzacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem



Rys. 7. Wykorzystana część okresu trwałości ostrza oszacowana przez układ (ΔT_{ev}) w rzeczywistej (ΔT), przy uczeniu na trzech pierwszych okresach trwałości i testowaniu na pozostałych czterech.

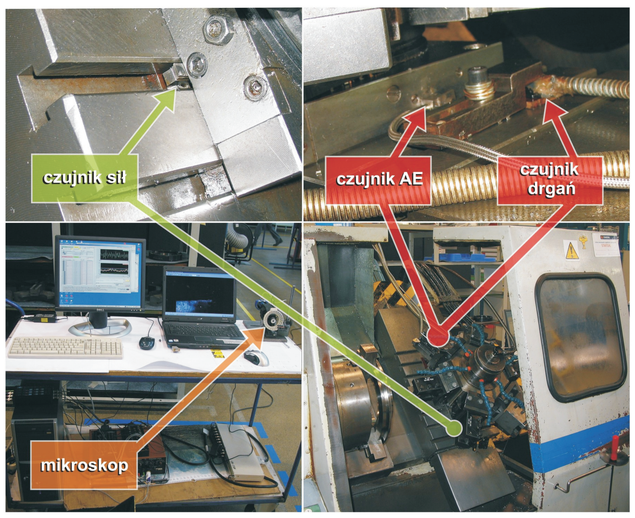
Pierwiastek błędu średniokwadratowego (RMSE) jest błędem oszacowania stanu narzędzia przez układ. Ja widać na rysunku 7, błąd ten jest mniejszy w przypadku monitorowania z użyciem wszystkich sygnałów, niż przy wykorzystaniu jedynie sił skrawania lub emisji akustycznej.

Wnioski

- Z dostępnych sygnałów należy wyznaczać bardzo dużą liczbę miar, ponieważ znikoma ich część jest przydatna do monitorowania stanu narzędzia.
- Niemożliwe jest zarówno prowadzenie monitorowania w oparciu o jedną miarę sygnału, jak i przewidzenie które miary mogą być przydatne.
- Konieczne jest automatyczne prowadzenie selekcji miar.
- Zwiększanie liczby zakwalifikowanych miar poprzez obniżanie kryteriów selekcji powoduje pogorszenie oszacowania stanu narzędzia przez układ.

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Badania przedstawione wyżej zostały przeprowadzone na stanowiskach w przedsiębiorstwach z Doliny Lotniczej (rysunek 8) i przedmiotach produkowanym w przemyśle (rysunek 1 i 3). Układy monitorowania stanu narzędzia mogą znaleźć zastosowanie właśnie w takich przypadkach, a stanowisko przestawione na rysunku 8 jest przygotowane do zastosowania układu diagnostycznego.



Rys. 8. Tokarka produkcyjna TZC-32N1 wyposażona w czujniki do diagnostyki procesu skrawania i stanu narzędzia

Wskaźniki realizacji celów projektu

Referaty

- K. Jemielniak, J. Kossakowska: ***Tool Wear Monitoring Based on Wavelet Transform of Raw Acoustic Emission Signal***, 5th Int. Conf. on Advances in Production Engineering APE'2010, Warsaw, June 17-19, 2010
- J. Chrzanowski, R. Wypisiński: ***Independent Tool Probe with LVDT for Measuring Dimensional Wear of Turning Edge***, 5th Int. Conf. on Advances in Production Engineering APE'2010, Warsaw, June 17-19, 2010
- P. Oborski: ***Shop Floor Control Based on Multiagent Idea***, 5th Int. Conf. on Advances in Production Engineering APE'2010, Warsaw, June 17-19, 2010
- K. Jemielniak, T. Urbański, J. Kossakowska, S. Bombiński: ***Multi-feature Fusion Based Tool Condition Monitoring in Rough Turning of Inconel 625***, 4th CIRP International Conference on High Performance Cutting, Gifu, Japan, 24-26 Oct. 2010
- J. Kossakowska, K. Jemielniak, M. Nejman: ***Optymalizacja toczenia zgrubnego INCONEL 625***, IV Konferencja Naukowa Szkoła Obróbki Skrawaniem, Łódź 6-8 września 2010 r.
- K. Jemielniak, J. Kossakowska, T. Urbański: ***Zastosowanie transformaty falkowej sygnałów sił skrawania i emisji akustycznej do monitorowania stanu narzędzia skrawającego podczas toczenia zgrubnego Inconelu 625***, IV Konferencja Naukowa Szkoła Obróbki Skrawaniem, Łódź 6-8 września 2010 r.

Publikacje (zgłoszone)

- R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld: ***Advanced Monitoring of Machining Operations, keynote paper, CIRP Annals Manufacturing Technology***
- K. Jemielniak, J. Kossakowska, T. Urbański: ***Application of wavelet transform of AE and cutting force signals for tool condition monitoring in rough turning of Inconel 625***, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture

Prace mgr, dr, hab.

Prace doktorskie:

- T. Urbański.: ***Automatyczna analiza przydatności oraz selekcja miar sygnałów wykorzystywanych do monitorowania stanu narzędzia skrawającego***
  Opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. K. Jemielniak Status: *W trakcie przygotowań do otwarcia przewodu doktorskiego*

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO