Projekt kluczowy
Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO

II KONFERENCJA
14-15 Grudnia 2009

ZB 2

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

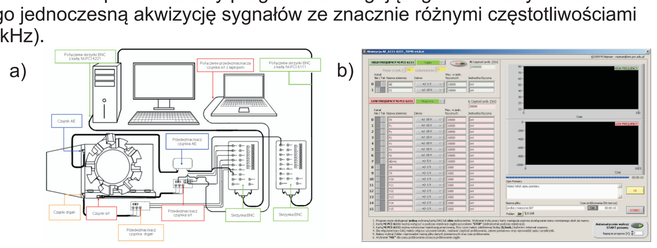
Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań cz. 1

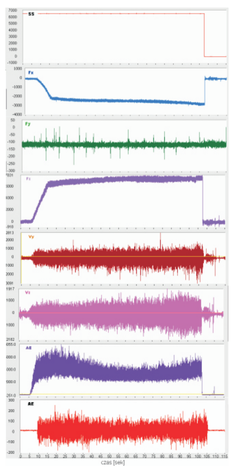
- **Identyfikacja stanowisk produkcyjnych do diagnozowanie stanu narzędzia i procesu obróbki**
- **Dobór metody diagnostycznej i odpowiednich czujników, mierzących wybrane wielkości fizyczne oraz opracowanie, instalacja i testowanie torów pomiarowych działających w warunkach produkcyjnych, możliwie bezobsługowo**
- **Badania doświadczalne zależności wybranych sygnałów diagnostycznych od stanu procesu skrawania – Etap I**

Celem jest budowa układów diagnostyki stanu narzędzia i procesu skrawania dla przemysłu lotniczego. Istniejące układy komercyjne oparte są na stosunkowo prostych strategiach, nie spełniają oczekiwań przemysłu. Układy laboratoryjne, znacznie bardziej wyrafinowane, opisywane w literaturze, a także zbudowane w Politechnice Warszawskiej, nie są dostatecznie przystosowane do warunków przemysłowych. Aby to zmienić, należy badania zależności sygnałów, które mogą być wykorzystane w diagnostyce stanu narzędzia, prowadzić bezpośrednio na stanowiskach produkcyjnych, na których budowane układy mają być stosowane.

Zbudowano uniwersalny tor pomiarowy umożliwiający rejestrację sygnałów emisji akustycznej (surowego AE_{raw} i zdemodulowanego) AE_{RMS}, trzech sił skrawania, drgań w trzech kierunkach oraz sygnału Start-Stop posuwu roboczego. W skład zestawu wchodzą odpowiednie czujniki z przedwzmacniaczami, dwie karty DAQ (szybka NI PCI-6111 i standardowa NI PCI-6331) oraz oprogramowanie w środowisku LabVIEW 8.5. Na rys. 1 przedstawiono schemat tego zestawu oraz panel czołowy programu obsługującego dwie karty DAQ i umożliwiającego jednoczesną akwizycję sygnałów ze znacznie różnymi częstotliwościami (f_s=2MHz i f_s=30kHz).



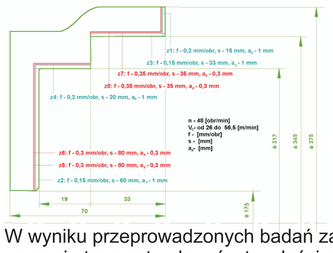
Rys. 1. Schemat toru pomiarowego do badania emisji akustycznej, sił skrawania i drgań (a) oraz panel czołowy programu do rejestrowania sygnałów z czujników (b).



Pierwsza seria badań - to toczenie zgrubne czołowe dysku z Inconel 625 - wykonana została na tokarce TKX50N w laboratorium ZAOiOS ITW PW. Wykonywana operacja jest możliwie wierną kopią operacji wykonywanej w WSK Rzeszów. Wykorzystano narzędzie CRSNL 3225P12 MN7 z płytkami RNGN 120700T01020 CC 670 z ceramiki typu Whiskers z następującymi parametrami skrawania v_c=220m/min, f=0.2mm/obr, ap=2.5mm, z chłodzeniem. W trakcie badań wykorzystano siedem okresów trwałości ostrza (stępiono 7 narzędzi), w trakcie których wykonano 44 zabiegi. Zarejestrowane sygnały przedstawiono przykładowo na rys. 2. Będą one przedmiotem analizy w następnych etapach pracy.

Rys. 2. Przykładowe sygnały zarejestrowane w czasie toczenia poprzecznego Inconel 625; od góry: ss- start stop posuwu, Fx, Fy, Fz – składowe siły skrawania, Vx, Vy, Vz – składowe drgań, AE_{RMS} oraz AE_{raw}.

Drugą serię badań przeprowadzono bezpośrednio w WSK Rzeszów, dla wskazanych przez zakład operacji toczenia na tokarce TZC-32N1. W tych badaniach wykorzystano czujniki AE i drgań (rys. 5b). Na rys. 3 przedstawiono uproszczony schemat wykonywanej operacji oraz wykorzystane narzędzia.

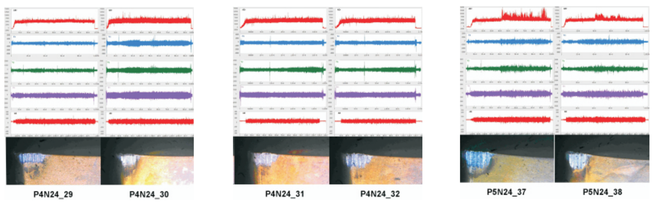


Narzędzie do obróbka zgrubnej: SCLCL-2020K-12 z płytką CCMT-12-04-08-MM 2025

Narzędzie do obróbki wykończeniowej: SVHBL-2020K-16 z płytką VBGT-16-04-04-UM 1025

Rys. 3. Uproszczony plan operacji i wykorzystane narzędzia.

W wyniku przeprowadzonych badań zarejestrowano przebiegi sygnałów diagnostycznych w czasie trzynastu okresów trwałości ostrza przy toczenia zgrubnym i ośmiu przy toczeniu wykończeniowym. Na rys. 4 przedstawiono przykładowo przebiegi tych sygnałów oraz końcowe stany ostrza w czasie czwartego okresu trwałości ostrza przy obróbce wykończeniowej.

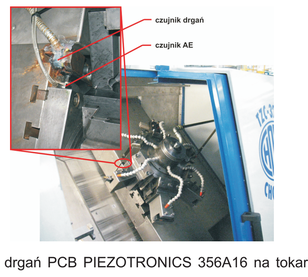


Rys. 4. Zestawienie sygnałów (od góry) AE_{RMS}, drgań (składowa x, y, z), AE_{raw} oraz zdjęć ostrza skrawającego dla czwartego okresu trwałości ostrza płytki VGBT.

Wyniki te, w raz z następnymi, uzyskanymi w najbliższych miesiącach posłużą do opracowania strategii działania układu nadzoru stanu narzędzia mogącego pracować w warunkach produkcyjnych, szczególnie w zakładach przemysłu lotniczego.

Przyszłe zastosowanie

W produkcji lotniczej, gdzie materiały obrabialne są często bardzo trudnoskrawalne, występują krótkie, niepowtarzalne okresy trwałości ostrza, a ocena stanu narzędzia przez każdego z operatorów jest różna. Stąd w celu uniknięcia dużej liczby braków stosowany okres trwałości jest bardzo krótki, a średni stopień wykorzystania narzędzia niski. Mimo to występują braki spowodowane obróbka stępionym narzędziem. Wprowadzenie skutecznego nadzoru stanu narzędzia umożliwi wydłużenie średniego stopnia wykorzystania narzędzia, uniknięcie groźnych skutków katastroficznych stępień ostrza oraz zmniejszenie liczby braków. Schemat ideowy układu nadzoru stanu narzędzia przedstawiono na rys. 5a, zaś obok wykonaną w ramach projektu instalację czujników diagnostycznych w zakładzie przemysłu lotniczego.



Rys. 5. Instalacja czujników emisji akustycznej KISTLER 8152B121 oraz drgań PCB PIEZOTRONICS 356A16 na tokarce WZC-32N1 w WSK Rzeszów.

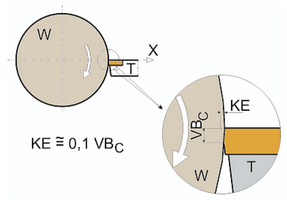
Wnioski

- Diagnostyka zużycia ostrza dla przy obróbce materiałów trudnoskrawalnych jest szczególnie istotna z powodu występowaniu w nich krótkich i niepowtarzalnych okresów trwałości ostrza.
- Ocena stanu ostrza przez każdego z operatorów jest inna. Brak jest jednoznacznych kryteriów wymiany ostrza. Często stosuje się niezawodny okres trwałości ostrza jednak jego długość określana jest na wyczucie przez operatora. Przed wprowadzeniem do produkcji automatycznego nadzoru zużycia ostrza konieczne jest opracowanie jednoznacznych kryteriów wymiany ostrzy
- Na wielu obrabiarkach instalacja standardowych przewodowych czujników drgań, emisji akustycznej i sił jest utrudniona, a na części stanowisk niemożliwa. W celu szerokiego wprowadzenia diagnostyki procesu skrawania w przemyśle konieczne jest wykorzystanie czujników bezprzewodowych.
- Procedury zakupy sprzętu w tym projekcie sprawiają, że w przypadku niemożliwych do uniknięcia w warunkach produkcyjnych awarii badania muszą być wstrzymywane na kilka miesięcy w celu przeprowadzenia procedur przetargowych umożliwiających zakup lub naprawę uszkodzonego sprzętu. Zagraża to terminowemu wykonaniu projektu.

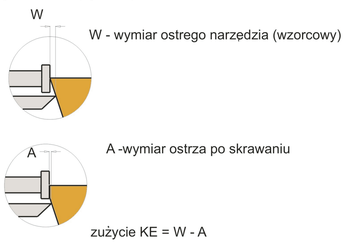
Wyniki badań cz. 2

Budowa sondy narzędziowej z funkcją pomiaru zużycia ostrza

W przemyśle lotniczym, szczególnie w przypadku nowoczesnych materiałów trudno-obrabialnych istnieje potrzeba monitorowania zużycia narzędzia. Pomiar zużycia ostrza metodami bezpośrednimi może być ważnym uzupełnieniem lub alternatywą dla diagnostyki opartej na pomiarach pośrednich (siły skrawania, emisja akustyczna, drgania itp.) Pomiar zużycia metodą, dotykową realizowany czasie przerw w obróbce, jest łatwiejszy do realizacji w przypadku narzędzi jednoostrzowych – tokarskich. Współczesne obrabiarki NC są z reguły wyposażone w sondy narzędziowe, służące do ustawiania położenia narzędzia.
W ramach projektu zostanie skonstruowana, wykonana i przebadana sonda narzędziowa, która oprócz tej standardowej funkcji ustawiania, umożliwia pomiar zużycia ostrza.
Mierzone będzie skrócenie wierzchołka ostrza określane jako KE (rys. 6).



Rys. 6 Zależność między KE a standardowo określaną watrością VB_C.



Rys.7. Zadasa pomiaru zużycia ostrza w budowanej sondzie pomiarowej

Zasadę działania proponowanej sondy przestawiono na rys. 7. Elementy pomiarowe 2 i 3 czujnika sondy stykają się bezpośrednio z płytką skrawającą narzędzia 1. Na pomiar zużycia ostrza nie wpływa dokładność pozycjonowania obrabiarki, odkształcenia cieple i wiele innych czynników. Element 2 jest odpowiednikiem końcówki pomiarowej tradycyjnej sondy, która umożliwia określenie położenia wierzchołka narzędzia w przestrzeni roboczej obrabiarki w oparciu o odczyty układów pomiarowych przemieszczeń osi.

W ramach pracy przeanalizowano różne koncepcje konstrukcji sondy w zależności od zastosowanego czujnika mierzącego przemieszczenie.
Ze względów praktycznych i użytkowych założono, że :

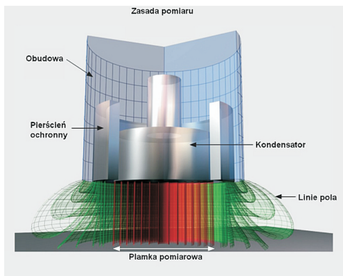
- sonda może być stosowana w miejsce sondy standardowej, wykorzystując istniejąca na obrabiarce strukturę (ramiona mocujące, oprogramowanie)
- sonda powinna umożliwiać pomiar wszystkich rodzajów noży tokarskich, a więc najazdy z kierunków +X, -X, +Z, -Z,
- cztery czujniki znacząco podnoszą koszt sondy i zwiększają jej wymiary, komplikują obróbkę i przetwarzanie sygnału
- konstrukcja sondy wykorzystującej jeden czujnik przemieszczenia mocowany prostopadle do kierunku przemieszczenia narzędzia jest korzystna cenowo ale nie spełni wymagań dokładności pomiaru:
  - każdy mechanizm zmieniający kierunek ruchu wprowadza błędy pomiaru (luzy, elementy pośredniczące, tarcie, itp.),
  - zastosowanie czujnika dotykowego (typu LVDT) np. w otworze stożkowym nie gwarantuje wymaganej dokładności pomiaru (tarcie, siły działające na trzpień czujnika nie są równoległe do jego przemieszczenia),
  - trzpieniowy czujnik tensometryczny (belka z pocienieniem na którym są tensometry) – odchylenie trzpienia nie gwarantuje pomiaru KE, wymagane przemieszczenie końca trzpienia zbyt duże jak na zakres pomiaru tensometrami,
  - a czujnik bezdotykowy :
    - laserowy - wysoka cena, w otworze stożkowym odbicie nie jest prostopadłe, w otworze walcowym potrzebne co najmniej dwa,
    - inna zasada pomiaru (indukcyjny, prądów wirowych) – możliwe, nietypowe zastosowanie i nikt nie potrafi zagwarantować dokładności pomiaru,
  - warto rozważyć koncepcję z dwoma czujnikami (każdy dla dwóch kierunków).

Z pośród wielu rozwiązań koncepcyjnych wybrano dwa rozwiązania dla których opracowano dokumentację technologiczną.

Sonda wykorzystująca czujniki pojemnościowe
W tym rozwiązaniu postanowiono wykorzystać dwa czujniki pojemnościowe o niewielkich wymiarach, z dodatkowym modułem poprawiającym liniowość wskazań.
Parametry zastosowanego czujnika pojemnościowego:

- zakres pomiaru: 2mm,
- rozdzielczość statyczna 0.02μm,
- aktywny obszar pomiaru fi=7,9mm
- poprawiony parametr liniowości <= +/- 0,1% zakresu pomiarowego
- wymiary: L=24mm , Ø20mm

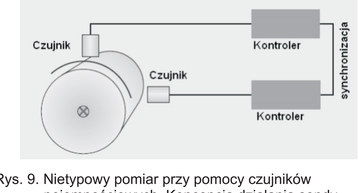
W omawianym przypadku inna jest też sama metoda pomiaru.



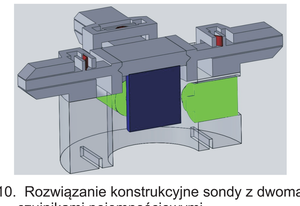
Rys. 8 Zasada pomiaru czujnikiem pojemnościowym

W standardowych zastosowaniach tego typu czujników mierzone są zmiany odległości celu, przemieszczającego się prostopadle do strumienia pomiarowego (rys. 8)

W rozpatrywanym wariancie zakłada się wykorzystanie dwóch czujników do pomiaru przemieszczeń w 2 kierunkach i jednym elemencie referencyjnym:



Rys. 9. Nietypowy pomiar przy pomocy czujników pojemnościowych. Koncepcja działania sondy.

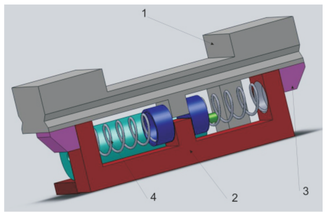


Rys. 10. Rozwiązanie konstrukcyjne sondy z dwoma czujnikami pojemnościowymi.

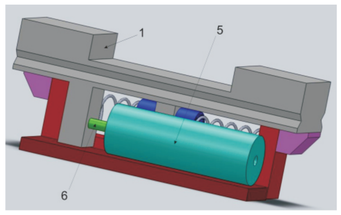
Przesunięcie elementu referencyjnego (wałka) w którymkolwiek kierunku jest rejestrowane przez 2 czujniki.
Rozważane rozwiązanie konstrukcyjne przedstawiono na rysunku 10. Kolorem zielonym zaznaczono czujniki a niebieskim element referencyjny w kształcie walca. Element referencyjny przymocowany jest do stolika krzyżowego przesuwanego przez ostrze narzędzia.

Sonda z dwoma czujnikami przemieszczenia.
Najtańsza z prezentowanych koncepcji ze względu na koszt czujników. W budowie postanowiono zastosować miniaturowy czujnik przemieszczenia, bez sprężyny powrotnej. Ze względu na wymiary wybrano czujniki firmy MikroEpsilon o symbolu DTA-1D-0,15. Długość korpusu 40 mm, średnica 10 mm.
Budowę tak zaplanowano aby zminimalizować, różnorodność części składowych. Dzięki identycznym komponentom obu osi mierzonych, można obniżyć koszty produkcji. Ideę konstrukcji przedstawiono na rysunku 11.

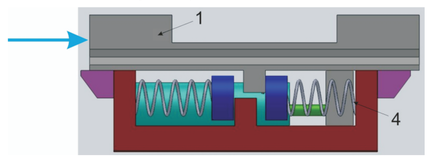
Suwak 1 przemieszcza się w prowadnicach niepokazanego na rysunku korpusu. Do kasetki 2 przymocowany jest korpus czujnika 5 oraz ząb oporowy 3. Trzpień pomiarowy 6 czujnika przymocowany jest do suwaka 1. Sprężyny 4 zapewniają powrót suwaka do pozycji neutralnej.
Na rysunku 12 pokazano widok z drugiej strony sondy – widoczne jest bezpośrednie, trwałe zamocowania trzpienia pomiarowego 6 czujnika 5 do suwaka 1 – z którym styka się ostrze narzędzia.



Rys. 11. Sonda jednokierunkowa (dwustronna) z czujnikiem przemieszczenia.



Rys. 12. Widok z drugiej strony mechanizmu sondy

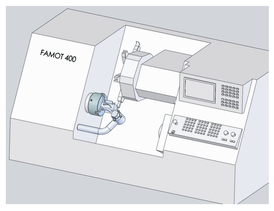


Rys.13. Sonda podczas pracy , nacisk na suwak z lewej strony

Na rys. 13 pokazano ciekawe rozwiązanie konstrukcyjne zapewniające powrót do zawsze tej samej pozycji startowej niezależnie od kierunku nacisku -/+. Strzałka imituje nacisk ostrza narzędzia. Widać przesunięcie suwaka 1 i ugięcie sprężyny 4. Po wycofaniu narzędzia sprężyna wycofuje suwak do momentu oparcia o element kasetki.

Pomiar w drugiej osi zrealizowany przez analogiczne rozwiązanie (kasetka, suwak, sprężyny, czujnik). Zestaw obrócony o 180 stopni i zamocowany prostopadle do poprzedniego pokazano na rys. 13

Przykłady zastosowania



Przyjęto założenia, że projektowaną sondą pomiaru zużycia, można będzie zastąpić standardową sondę narzędziową. Sonda pomiaru zużycia projektowana jest tak aby pasowała do uchwytów standardowych sond narzędziowych. Obrabiarkę z projektowaną sondą pokazano na rys. 14.

Rys. 14. Widok tokarki CNC z projektowaną sondą pomiaru zużycia ostrza

Wnioski

- Zastosowany czujnik determinuje konstrukcję sondy.
- Prawidłowe dobranie czujnika jest najważniejszym etapem całości niniejszego zadania.
- Producenci i handlowcy nie mają pełnych danych o interesujących zespół czujnikach.
- Nikt również nie potrafił udzielić odpowiedzi na temat dokładności pomiaru w nietypowym zastosowaniu czujników wiroprądowych lub indukcyjnych , gdy zamiast oddalać przedmiot – przesuwamy go.
- Żadne z przedstawionych rozwiązań nie jest zadowalające.
- Precyzyjne czujniki mają wysoką cenę która wyklucza je z zastosowań przemysłowych.
- Najbardziej optymalnym byłoby zastosowanie jednego czujnika bezdotykowego, jednakże jest to mało prawdopodobne, ze względu na wymaganą dokładność pomiaru.

Pomiar zużycia ostrza sondą narzędziową z wbudowanym czujnikiem przemieszczenia, jest rozwiązaniem bardzo praktycznym i pożądanym, jednakże nie ma do tej pory gotowych rozwiązań. Występują ogromne trudności i problemy związane z budową niewielkiej sondy o wymaganej dokładności pomiaru. Nie znaleziono czujnika, który przy narzuconych wymiarach gwarantowałby dokładność pomiaru. Zespół badawczy wytypował dwa rodzaje czujników, których dokładność pomiaru będzie sprawdzona w nietypowym dla nich warunkach

Przykłady współpracy

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.

W trakcie wizyty w zakładach przemysłu lotniczego określono stanowiska robocze na których będzie można przeprowadzić testy sondy z funkcją pomiaru zużycia. Wstępnie wytypowano tokarki ze standardową sondą narzędziową :

Sędziszów – OKUMA MACTURN-350N
WSK Rzeszów – SOMAB Deltamab 600
– RNC 700

Wskaźniki realizacji celów projektu

Konferencje

- Bombiński S., Jemielniak K., ***Wykorzystanie algorytmów hierarchicznych do diagnostyki zużycia ostrza***, III Konferencja Szkoły Obróbki Skrawaniem, Bachorze 2009
- Kossakowska J., Jemielniak K,. ***Zastosowanie transformaty falkowej do diagnostyki stanu narzędzia na podstawie sygnału emisji akustycznej***, III Konferencja Szkoły Obróbki Skrawaniem, Bachorze 2009

Publikacje

- Bombiński S., Jemielniak K., ***Wykorzystanie algorytmów hierarchicznych do diagnostyki zużycia ostrza***, rozdział w książce „Obróbka Skrawaniem 3 – Zaawansowana Technika", Wydawnictwa UUTP, Bydgoszcz, 2009, 325-332.
- Kossakowska J., Jemielniak K,. ***Zastosowanie transformaty falkowej do diagnostyki stanu narzędzia na podstawie sygnału emisji akustyczne***j, rozdział w książce „Obróbka Skrawaniem 3 – Zaawansowana Technika", Wydawnictwa UUTP, Bydgoszcz, 2009, 233-242
- Zgłoszono referat na 5th International Conference on Advances in Production Engineering, 17 – 19.06. 2010 r, "**Independent Tool Probe with LVDT for Measuring Dimensional Wear of Turning Edge"**

Prace mgr, dr, hab.

- mrg inż. Radosław Gościniak – praca doktorska „***Metoda określania współrzędnych i zużycia ostrza i zużycia ostrza noża na tokarkach NC***",
  Promotor: prof. Maciej Szafarczyk przewód otwarty

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

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO