

*Paweł Czarniak, Jarosław Górski, Krzysztof Sz wajka, Jacek Wilkowski
Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

PRZEMYSŁOWE TORY POMIAROWE SYGNAŁÓW WIBROAKUSTYCZNYCH PRZY FREZOWANIU TWORZYW DRZEWNYCH

Streszczenie

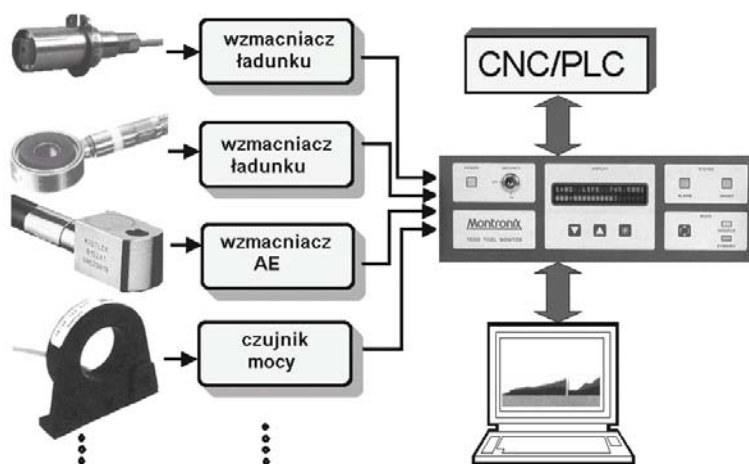
Jedną z najbardziej istotnych tendencji w rozwoju technik wytwarzania jest automatyzacja produkcji. Nieodżowne staje się stosowanie układów automatycznego nadzoru stanu narzędzia i procesu skrawania. W literaturze naukowej opisano wiele różnych czujników, mierzących różne wielkości fizyczne. Opracowano także liczne, wyszukane metody obróbki i analizy sygnałów. Spośród nich jednakże tylko nieliczne znalazły zastosowanie przemysłowe. Celem przeprowadzonych badań było opanowanie metodyki rejestracji sygnałów drgań, emisji akustycznej i hałasu towarzyszących obróbce tworzyw drzewnych. W ramach przeprowadzonych badań podjęto próbę ustalenia miejsca optymalnej lokalizacji czujników na obrabiarce oraz dokonano analizy wstępnych wyników pomiarów pod kątem ich przydatności do oceny stanu narzędzia.

Słowa kluczowe: MDF, nadzorowanie, emisja akustyczna, drgania

Wstęp i cel pracy

Zagadnienie diagnostyki i nadzoru narzędzia skrawającego w technologii obróbki wiórowej należy do ciągle aktualnych i niezwykle istotnych. Ponieważ zużywające się narzędzie oddziałuje (ujemnie) na jakość przedmiotu obrabianego, a także na przebieg procesu obróbki, konieczny jest ciągły nadzór nad jego stanem. Konieczność ta wynika także z dużej niepewności przewidywania zużycia narzędzia. Powszechnie stosowane zliczanie czasu pracy narzędzia, zwłaszcza w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej, czyli w warunkach szerokich zmian parametrów skrawania, obarczone jest dużą niepewnością. Z jednej strony zbyt wczesna wymiana nie w pełni zużytego narzędzia jest ekonomicznie nieuzasadniona,

natomiast zbyt późna wymiana skutkuje obniżeniem jakości wytworu [König, Klocke, Ketteler 1995; Tetti 1995]. Ocena stanu technicznego narzędzia skrawającego w trakcie trwania procesu skrawania jest niezwykle trudna [Byrne, Dornfeld, Inasaki, 1995; Dornfeld 1994].



Rys. 1. Budowa układów DNIPS

Fig. 1. Construction of the DNIPS [Tool and Machining Process Diagnostics] systems

O ile dla obróbki metalu tematyka ta szybko rozwija się na całym świecie, a literatura przedmiotu jest obszerna [Byrne i in. 1995; Dornfeld 1994; Inasaki, Yonetsu 1981; König i in. 1994], o tyle dla obróbki tworzyw drzewnych badania takie znajdują się w początkowym etapie.

Strukturę układów DNIPS przedstawiono na rys. 1. Każdy układ DNIPS składa się z czujników, przedwzmacniaczy i jednostki centralnej, czyli właściwego układu DNIPS, który, dla uproszczenia będziemy nazywać monitorem. Zadaniem monitora jest określenie stanu narzędzia i procesu na podstawie mierzonych sygnałów i przyjętej strategii.

Czujnik jest kluczowym elementem każdego układu DNIPS. W literaturze znaleźć można opis wielu różnych czujników, wykorzystujących różne wielkości fizyczne występujące w procesie skrawania, jednakże tylko nieliczne znalazły zastosowanie w układach handlowych [Jemielniak 1999; König, Ketteler 1994]. Zestawienie tych ostatnich przedstawiono w tabeli.

Tabela 1. Zalecane zastosowania czujników w układach DNiPS
 Table 1. Recommended applications for sensors in the DNiPS systems

Czujnik:		Mocy	Momentu skręcającego	Odkształcenia elementu obrabianego	Sił - jednoosiowy	Sił - trójosiowy	Drgań	Emisji akustycznej
Typ obrabiarki	Tokarka	○	○	●	●	●	⊙	⊙
	Tokarka z narzędziami obrotowymi	●	⊙	●	●	●	⊙	⊙
	Centrum obróbkowe	●	⊙	○	⊙	○	⊙	⊙
	Szlifierka	●	○	○	⊙	○	⊙	●
	Prasa	○	○	○	●	○	●	⊙
	Wiercenie/ frezowanie (duże średnice)	●	⊙	⊙	⊙	○	●	⊙
	Wiercenie/ frezowanie małe średnice)	●	●	○	○	○	⊙	●
	Gwintowanie	⊙	●	○	○	○	⊙	⊙
	Wiercenie /rozwiercanie (wielowrzecionowe.)	⊙	●	○	○	○	○	⊙
	Gwintowanie (wielowrzecionowe)	○	●	○	○	○	○	●
	Nacinanie uzębień	●	⊙	○	○	○	●	○
	● Zalecane zastosowanie	⊙ Możliwe zastosowanie, może być nie najlepsze		○ Niezwykłe, raczej nie zalecane zastosowanie. Może być do przyjęcia w szczególnych przypadkach				

W prowadzonych badaniach postanowiono (jako podstawowe) zastosować czujniki drgań i emisji akustycznej. Czujniki te są stosunkowo proste w instalacji na obrabiarce i nie wymagają żadnych zmian w jej konstrukcji.

Metodyka badań

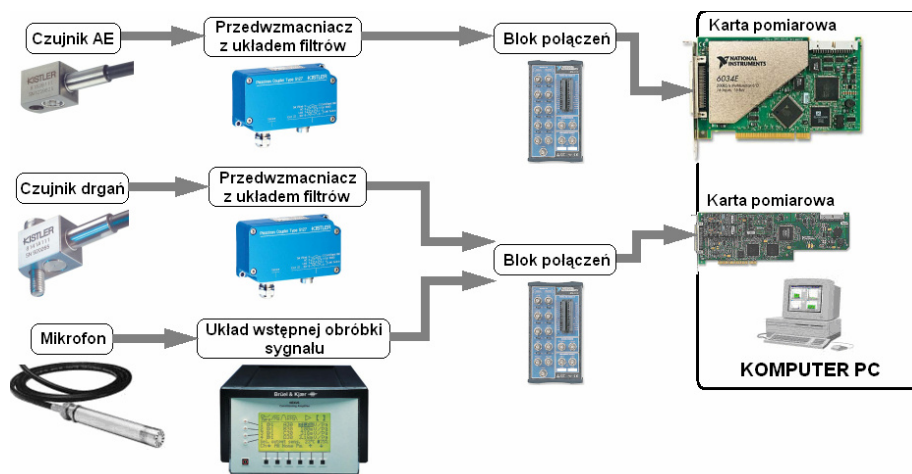
Badania zostały przeprowadzone z użyciem centrum obróbkowego CNC firmy Buselatto JET 100 (rys. 2). W badaniach postanowiono rejestrować trzy rodzaje sygnałów wibroakustycznych, tj. pomiar ciśnienia akustycznego czyli hałasu, emisji akustycznej na powierzchni obrabianego elementu, oraz drgań wrzeciona głowicy frezarskiej.



Rys. 2. Centrum obróbcze CNC firmy Buseclatto JET 100, przedmiot obrabiany oraz miejsce mocowania czujnika AE

Fig. 2. The CNC Working Centre at Buseclatto JET 100, worked object and the AE sensor mounting place

Jak pokazano na rys. 3 ostatecznie tor pomiarowy składał się z czujnika emisji akustycznej (typ 8152B121) oraz czujnika drgań (typ 8141A121) firmy Kistler i mikrofonu (NEXUS typ 2690). Każdy z czujników wymaga układu przedwzmacniacza z układem filtrów, także mikrofon posiada własny układ wstępnego przygotowania sygnału, tak aby dopasować się do zakresów kart pomiarowych. Sygnały pochodzące z czujników przekazywane są do kart pomiarowych poprzez bloki połączeń BNC-2110.



Rys. 3. Tor pomiarowy

Fig. 3. Measuring line

W badaniach zastosowano dwie karty pomiarowe: NI PCI-6111, która pozwala próbkować sygnał z maksymalną częstotliwością 5MHz, przy czym rozdzielczość karty wynosi 12 bitów oraz NI PCI-6034E, która pozwala próbkować sygnał z maksymalną częstotliwością 200kHz, przy czym rozdzielczość karty wynosi 16 bitów. W ramach prowadzonych badań przyjęto, że będzie realizowana obróbka jak najbardziej zbliżona pod względem technologicznym do warunków przemysłowych. Na rys. 2 przedstawiono przedmiot obrabiany. Jako materiał zastosowano płytę MDF, która to jest używana na szeroką skalę w przemyśle meblarskim. W trakcie badań poszczególne boki płyty frezowano na szerokości 6mm i głębokość 6mm z taką samą prędkością obrotową wrzeczona 18000obr/min, a zmieniano jedynie wartości posuwu: 5, 8, 11 i 14m/min – dla kolejnego boku. Jako narzędzie zastosowano frez palcowy dwuostrzowy DIMAR HW $\phi 12 \times 51$. W celu weryfikacji wyników badań prowadzono jednocześnie pomiary zużycia narzędzia na mikroskopie warsztatowym. Jako wskaźnik zużycia brano pod uwagę starcie na powierzchni przyłożenia VB_{Bmax} .

Po uruchomieniu i przetestowaniu toru pomiarowego przystąpiono do wykonania badań mających na celu zarejestrowanie pełnego okresu trwałości ostrza, czyli poczynając od narzędzia ostrego skrawać nim aż do uzyskania 0,4mm zużycia na powierzchni przyłożenia (wskaźnik VB_{Bmax}) lub do wyraźnych oznak kształtowania nieprawidłowej powierzchni przedmiotu obrabianego.

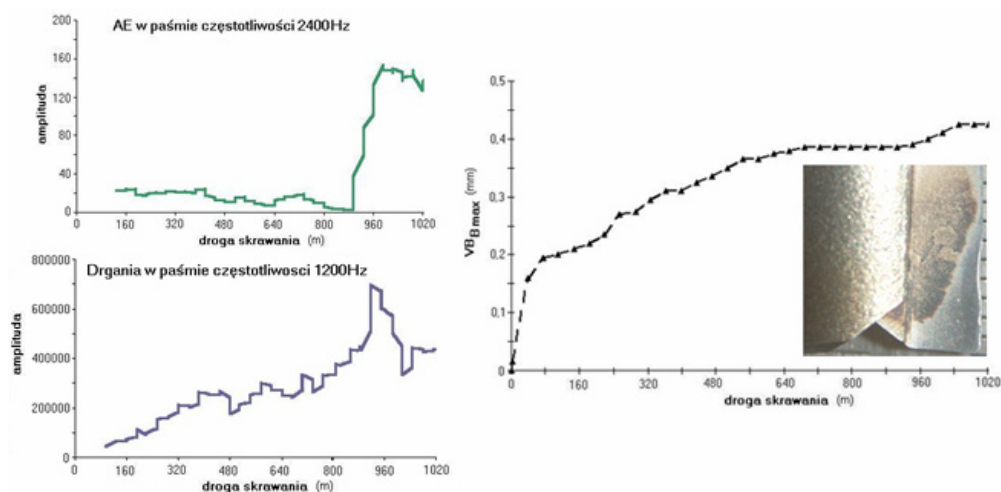
Istotny wpływ na jakość (przydatność) otrzymanych sygnałów ma odpowiednie ustawienie (dobranie) wzmocnień na przedwzmacniaczu sygnału. Może okazać się, że sygnał na wyjściu z przedwzmacniacza ulegnie przesterowaniu (w przypadku zbyt dużego wzmocnienia) lub jego poziom będzie tak niski, że trudno będzie odróżnić go od zarejestrowanego szumu. Poniżej przedstawiono przykładowe przebiegi oryginalnego sygnału emisji akustycznej i drgań. Dla sygnału AE wzmocnienie na przedwzmacniaczu ustawiono na wartość 10. Natomiast w przypadku sygnału drgań wynosiło 1.

Z doniesień literaturowych dotyczących wykorzystania analizy widmowej dla oceny stanu technicznego maszyn i urządzeń wynika, że analiza sygnału wibroakustycznego w dziedzinie częstotliwości jest częściej stosowana niż analiza w dziedzinie czasu. Współczesna technika pomiarowa i metody przetwarzania wyników pomiarów istotnie ułatwiają przeprowadzenie analizy w dziedzinie częstotliwości. Zastosowanie szybkiej transformacji Fouriera FFT do zarejestrowanego, czasowego przebiegu sygnału wibroakustycznego pozwala na uzyskanie charakterystyki widmowej. Technika mikroprocesorowa spowodowała, że praktycznie, transformacja taka może być prowadzona równoległe z pomiarem sygnału wibroakustycznego.

Klasyczna analiza widmowa polega na obserwacji wybranych częstotliwości w całym widmie drgań. Wybór tych częstotliwości jest jednym z trudniejszych zagadnień.

Ocena stanu narzędzia w przeprowadzonych badaniach opierała się na śledzeniu poziomu drgań lub AE w określonym paśmie częstotliwości. Częstotliwość ta zależy jednakże w znacznym stopniu od konstrukcji narzędzia i warunków jego zamocowania. Po wymianie narzędzia zmienić się może zarówno częstotliwość jego drgań własnych (dominująca w widmie) jak i poziom sygnału. Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych pomiaru drgań narzędzia w kierunku posuwowym zaobserwowano, iż wraz ze wzrostem zużycia ostrza rośnie udział energii drgań o wysokich częstotliwościach.

Na rysunku 5 pokazano wybrane przebiegi widma sygnałów AE i drgań (dla posuwu 11m/min) w dziedzinie częstotliwości. W przypadku AE, po przekroczeniu pewnej wartości zużycia ($VB_{Bmax} = 0,38mm$), amplituda w paśmie częstotliwości 2,4 (kHz) gwałtownie wzrasta.



Rys. 5. Analiza widma sygnału AE i drgań w dziedzinie częstotliwości oraz przebieg zużycia ostrza w funkcji drogi skrawania (posuwu 11m/min)
Fig. 5. The analysis of AE signal spectrum and vibrations (regarding frequency), and the graph showing blade wear pattern in relation to machining course (feed - 11m/min)

Jednak do chwili osiągnięcia tego zużycia wartość amplitudy zachowuje porównywalny poziom. Ten wzrost może być interpretowany jako koniec okresu trwałości ostrza. Jeżeli chodzi o sygnał drgań, to widoczny jest wyraźny wzrost wartości amplitudy w miarę wzrostu wartości wskaźnika stępienia ostrza. Podobnie jak w przypadku sygnału AE, po przekroczeniu pewnej wartości zużycia ($VB_{Bmax} = 0.38\text{mm}$), amplituda w paśmie częstotliwości 1,2 kHz gwałtownie wzrasta. Dla sygnału drgań można dodatkowo zaobserwować wyraźne zmiany amplitudy, które dla danej częstotliwości w danym kierunku były monotoniczne i największe w stosunku do określonych zmian zużycia powierzchni przyłożenia.

Reasumując, widmo sygnału drgań w dziedzinie częstotliwości może posłużyć do bieżącej oceny stanu narzędzia, a widmo sygnału AE jedynie do określenia końca okresu trwałości.

Wnioski

1. Podsumowując stan wiedzy o zastosowaniu sygnałów wibroakustycznych do diagnozowania stanu ostrza skrawającego można stwierdzić, że sygnały drganiowe i dźwiękowe zawierają dużą ilość informacji o zużywającym się narzędziu. Są one silnie uzależnione od aktualnych warunków skrawania a także od cech układu OUPN. Byłoby wskazane oszacowanie tych wpływów i wskazanie tych przypadków, kiedy zastosowanie sygnałów wibroakustycznych jest uzasadnione i jaki jest margines niepewności.
2. Amplitudy wybranych częstotliwości sygnałów AE i drgań wyraźnie dominują nad pozostałymi. Takie też było kryterium ich wyboru. Arbitralnie wybrano dwie charakterystyczne częstotliwości. Uznano, że te częstotliwości stanowią będą podstawę do wnioskowania o stopniu zużycia ostrza skrawającego. W przeprowadzonych badaniach były to częstotliwości: 1200 i 2400 Hz.
3. Strategie opisywane w literaturze, które bazują na analizie częstotliwościowej sygnałów wibroakustycznych wykazują wiele wad i w większości przypadków stanowią dopiero bazę do dalszych badań. W dalszym ciągu pojawiają się opracowania o charakterze badań podstawowych, co potwierdza, że problem analizy sygnałów drganiowych w kontekście nadzorowania stanu ostrza jest stosunkowo słabo rozpoznany.
4. Obecnie uważa się, że podczas prowadzenia nadzoru stanu ostrza najlepsze efekty daje stosowanie układów wieloczuJNIKOWYCH. Wyniki uzyskane w ramach realizacji opisanego projektu badawczego potwierdzają słuszność tego poglądu.

Bibliografia

Byrne G., Dornfeld D., Inasaki I., Ketteler G., König W., Teti R. 1995. Tool Condition Monitoring (TCM)- The status of Research and Industrial Application, CIRP Annals vol. 44, No 2, 541-567.

Dornfeld D. 1994. Future Directions for Intelligent Sensors, Proc. Third Meeting of the CIRP Working Group on TCM, Paris, 52-57.

Inasaki I., Yonetsu S. 1981. In-Process Detection of Cutting Tool Damage by Acoustic Emission Measurement, Proc. of 22-nd Int. MTDR Conf., 261-269.

Jemielniak K. 1999. Commercial Tool Condition Monitoring Systems, Int. J. Adv. Manuf. Technol, 15, 711-721.

König W., Ketteler G. 1994. Research on Tool Condition Monitoring in Europe - State of the Art and Future Prospects, Proc. Third Meeting of the CIRP Working Group on TCM, Paris, 8-29.

König W., Ketteler G., Klumpen T. 1994. Monitoring Turning, Milling, Drilling and Grinding Processes using Acoustic Emission Signals, Progress in Acoustic Emission VII, The Japanese Society for NDI, 619-624.

König W., Klocke F. 1994. Ketteler G., Sensors for Tool Condition Monitoring, Meeting of the CIRP Working Group on TCM, Paris.

Teti R. 1995. A Review of Tool Condition Monitoring Literature Data Base, Annals of the CIRP, vol. 44, No 2, 659-666.

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2003-2005 (nr grantu 3 P06L 025 24).

INDUSTRIAL MEASURING LINES FOR VIBROACOUSTIC SIGNALS WHEN MILLING WOOD MATERIALS

Summary

Production automation is one of the most essential directions in the development of manufacturing techniques. It becomes prerequisite to use systems for automatic control of tool condition and machining process. Scientific literature contains descriptions of many different sensors, which measure various physical quantities. Moreover, many sophisticated methods for signal processing and analysis were developed. However, only few of them were applied in industrial scale. The purpose of completed tests was to study recording methods for vibration signal, acoustic emission and noise accompanying wood material working. In the scope of these tests, there were efforts made to determine optimal location for sensors fitted on the woodworking machine. Moreover, initial measurement results were analysed in order to find out whether they would be useful to assess tool condition. This scientific work was financed by KBN [State Committee for Scientific Research] in years 2003-2005 (Grant No. 3 P06L 025 24).

Key words: MDF, control, acoustic emission, vibrations