

mgr inż. Radosław Gościński  
 Instytut Technik Wytwarzania, Politechnika Warszawska  
 e-mail: r-gosciniak@o2.pl

## **METODA OKREŚLANIA WSPÓŁRZĘDNYCH KOŃCA OSTRZA I BEZPOŚREDNIEGO POMIARU ZUŻYCIA OSTRZA NOŻA TOKARSKIEGO**

*W artykule ukazano nową metodę pomiaru zużycia ostrza. Przedstawiono koncepcję nowej sondy bazującej na mostkach tensometrycznych, która umożliwiła podczas jednego cyklu pomiarowego określenie współrzędnych i bezpośredni pomiar zużycia ostrza noża tokarskiego na tokarkach NC. Przedstawiono także wstępne wyniki badań.*

## **METHOD FOR ORIENTATION OF TOOL EDGES AND FOR DIRECT TOOL WEAR MEASUREMENT**

*The new method of tool wear measurement. The original concept of a tool probe using one full strain gauge bridge for orientation of tool edges and for direct tool wear measurement. The calculation and design of patented tool probe for lathes.*

### **1. WSTĘP**

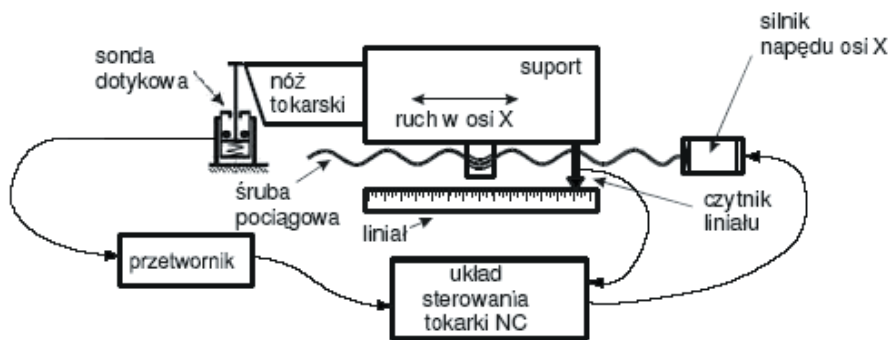
Ostrze noża tokarskiego jest najszybciej zużywającym się elementem, który bierze udział w skrawaniu. W celu zachowania odpowiednio wysokiej jakości przedmiotu obrabianego, celowe jest dokładne określenie położenia wierzchołka ostrza w układzie współrzędnych obrabiarki oraz dostarczanie układowi sterowania obrabiarki informacji o stanie zużycia narzędzia tak, aby można było wprowadzić niezbędne korekty w celu zachowania odpowiednich dokładności wymiarowych. Podczas toczenia zużycie ostrza przekłada się podwójnie na wymiar średnicy przedmiotu obrabianego. Obecnie sondy służące do określania położenia wierzchołka ostrza są już stosowane praktycznie we wszystkich tokarkach sterowanych numerycznie – NC (Numerical Control). Na świecie jest kilka firm, które dostarczają takie urządzenia, między innymi sondy firmy Renishaw. Gorzej jest niestety jeśli chodzi o zużycie ostrza. Tutaj mamy do czynienia z dwoma typami utraty właściwości skrawnych ostrza: zużyciem naturalnym oraz zużyciem katastroficznym, czyli KSO. Ze zużyciem katastroficznym mamy do czynienia wówczas, gdy następuje nagłe przekroczenie granic wytrzymałości i wykruszenie lub stopienie ostrza. KSO powinno być wykrywane jak najszybciej a sam proces obróbki powinien być natychmiast przerwany. Taki przypadek zużycia jest już dość dobrze wykrywany przez automatyczne systemy diagnostyczne np. firmy Nordmann [1] czy też system opracowany w Zakładzie Automatykacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem PW pod kierownictwem prof. dr hab. inż. K. Jemielniaka [2]. Systemy te bazują na pomiarach pośrednich wielkości fizycznych towarzyszących skrawaniu takich jak siły skrawania czy emisja akustyczna (AE). Systemy takie mogą być oparte na jednym rodzaju sygnałów np. AE, chociaż częściej stosuje się systemy oparte o wiele sygnałów jako bardziej niezawodne i pozwalające z większą pewnością wykrywać KSO. Zużycie naturalne to proces, który przebiega stopniowo na skutek mechanicznego, chemicznego i termicznego oddziaływania procesu skrawania. W przypadku tego typu zużycia naturalnego wymiana ostrza na nowe powinna nastąpić w chwili, gdy zostanie osiągnięty założony poziom wskaźnika zużycia przyjęty jako kryterium stępienia. Ten typ zużycia jest trudniejszy do pomiaru ze względu na ciągły charakter przebiegu

i tolerancji wielkości wskaźnika wybranej jako kryterium stępienia, nie stawia jednak tak wysokich wymagań w stosunku do czasu reakcji układu nadzoru. Przeprowadzono szereg badań automatycznego monitorowania i nadzorowania naturalnego zużycia ostrzy oraz opublikowano wiele ich wyników [3], lecz nie ma dotychczas rozwiązań zaakceptowanych i stosowanych przez przemysł. Najczęściej dokonuje się sumowania czasu skrawania i porównuje go z dopuszczalnym czasem skrawania określonym przez producenta płytki skrawającej lub też dokonuje się oceny „organoleptycznej” polegającej na obserwacji przez doświadczonego operatora obrabiarki powierzchni przedmiotu obrabianego i ocenie jej stanu czy też na podstawie hałasu podczas skrawania.

Pod kierownictwem prof. dr inż. Macieja Szafarczyka opracowaliśmy sondę bazującą na mostkach tensometrycznych, która umożliwiła podczas jednego cyklu pomiarowego na określenie współrzędnych końca i bezpośredni pomiar zużycia ostrza noża tokarskiego na tokarkach NC.

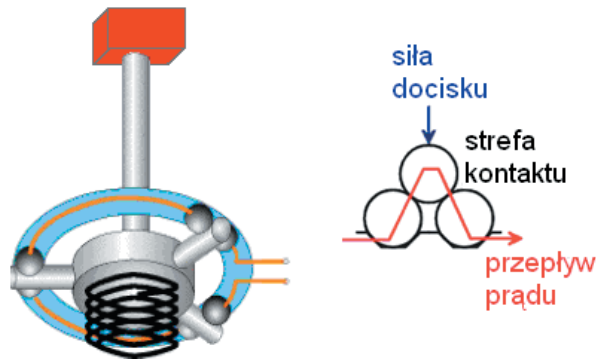
## 2. METODA OKREŚLANIA WSPÓLRZĘDNYCH KOŃCA OSTRZA NOŻA TOKARSKIEGO

Zdecydowana większość nowoczesnych tokarek NC używa kilku narzędzi zamocowanych w obrotowym uchwycie, które następnie w razie potrzeby mogą być w czasie obróbki między sobą wymieniane. Aby proces obróbki przebiegał prawidłowo układ sterowania musi mieć informacje dotyczące położenia ostrza narzędzia w układzie współrzędnych obrabiarki. Tradycyjne (nieautomatyczne) sposoby określania pozycji końca ostrza i następnie wprowadzania danych do układu sterowania obrabiarki są czasochłonne i niekorzystnie wpływają na ekonomiczne aspekty produkcji. Podczas takich operacji najczęściej pracownik i maszyna wyłączeni zostają z procesu produkcyjnego. Nowoczesne obrabiarki mają układy półautomatycznego lub całkowicie automatycznego określania współrzędnych końca ostrza. Zasada działania takiego systemu zaprezentowana została na rys. 1.



Rys. 1. Zasada działania sondy narzędziowej dla tokarek NC [4]

Dosuwanie ostrza narzędzia do sondy odbywa się kolejno wzdłuż osi współrzędnych X i Z aż do zetknięcia z prostopadłą do danej osi płaszczyzną płytki sondy. W chwili, gdy wierzchołek ostrza dotknie do płytki sonda wysyła jednobitowy sygnał do układu sterowania NC, który powoduje odczytanie z liniału wartości współrzędnej i następnie zapamiętanie jej w tablicy dotyczącej danego narzędzia oraz oczywiście zatrzymanie ruchu i wycofanie narzędzia z obszaru działania sondy. Wykrywanie kontaktu ostrza z płytką sondy odbywa się przez najczęściej rozłączenie elektrycznych styków wewnątrz sondy w chwili dotknięcia płytki sondy i odchylenia połączonego z nią trzpienia, który ma 3 wałeczki rozmieszczone prostopadle do niego co  $120^\circ$  na jego obwodzie. Poprzez układ 3 styków z których każdy jest zbudowany z wałeczka i dwóch kulek zamykany jest obwód elektryczny wg schematu przedstawionego na rys. 2 na przykładzie sondy RP3 firmy Renishaw.



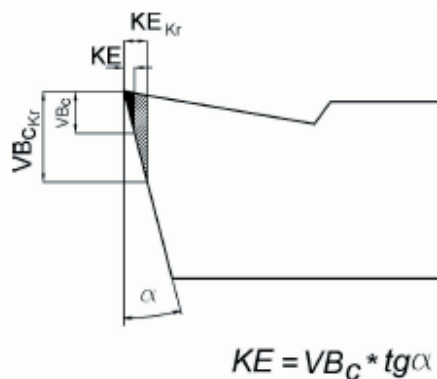
Rys. 2. Zasada działania sondy RP3 [5]

Samo określenie współrzędnych końca ostrza pozwala na osiągnięcie odpowiednich dokładności geometrycznych wykonywanych przedmiotów jedynie w początkowym etapie obróbki, ponieważ ostrze narzędzia ulega zużyciu, co nie jest bez znaczenia, gdy wymagania dotyczące wykonania przedmiotu są rzędu ułamków mikrometra.

### 3. KONCEPCJA BEZPOŚREDNIEGO POMIARU ZUŻYCIA

Typowe zastosowanie sondy narzędziowej nie może być wykorzystane do monitorowania naturalnego zużycia ostrzy noży tokarskich przez pomiar skrócenia ostrza, KE. Jednak takie monitorowanie byłoby bardzo korzystne, gdyż używanie do tego celu sond daje szansę na praktyczne zastosowanie pomiarów w celu monitorowania zużycia ostrzy noży tokarskich w przemyśle. Sondy są już przystosowane do warunków warsztatowych i instalowane w większości tokarek sterowanych numerycznie. Pracownicy wydziałów obróbkowych są już przyzwyczajeni do stosowania sond. Nasunęło to pomysł na taką modyfikację sondy, aby mogła ona w czasie tego samego dosunięcia ostrza narzędzia wykonywać dwie funkcje: określać współrzędne wierzchołka ostrza w układzie NC obrabiarki oraz prawidłowo zmierzyć skrócenie ostrza, KE [6].

W celu wyeliminowania innych czynników zakłócających pomiar KE należało tak zaprojektować sondę, aby pomiar skrócenia ostrza był wykonywany w odniesieniu do stałej bazy położonej jak najbliżej w stosunku do wierzchołka ostrza (rozwiązania takie opatentowano [7]). Zasadę pomiaru ukazuje rys. 3.



Rys. 3. Zasada pomiaru KE

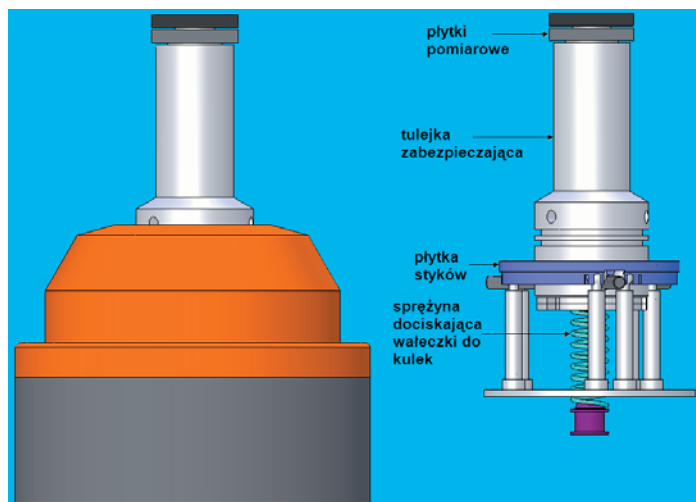
Najlepiej byłoby, aby pomiar KE był wykonywany w odniesieniu do bazy umieszczonej na tej samej co wierzchołek płycie skrawającej. Do pomiaru można wykorzystać istniejące czujniki obrabiarki stosowane do pomiaru współrzędnych, lub dodatkowe czujniki wbudowane w sondę narzędziową. Oceniono, że zakres pomiarów KE powinien wynosić

około 0,5 mm a dokładność ułamek mikrometra. Wymagana dokładność wskazywała raczej na zastosowanie specjalnego czujnika w sondzie narzędziowej. Ponieważ zastosowanie sondy dotykowej powoduje, że KE jest mierzone w specyficzny sposób, postanowiono to zaznaczyć stosując dla tak zmierzonego skrócenia ostrza symbol pKE [8].

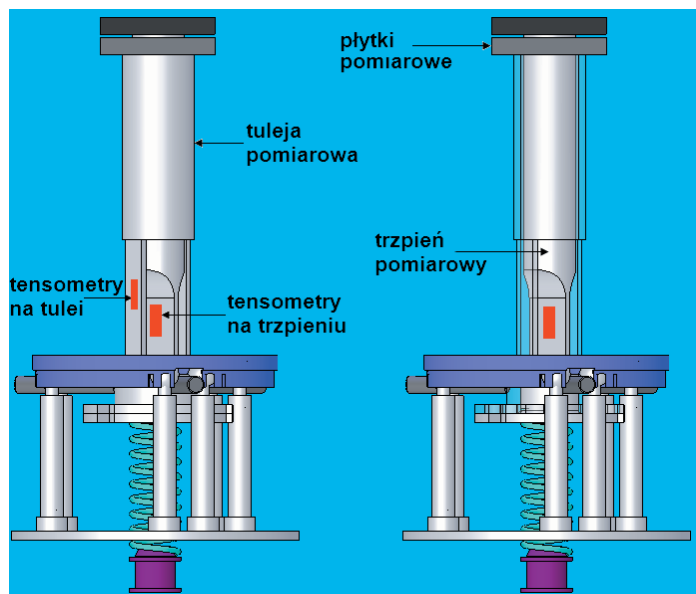
W celu jednoczesnego określania współrzędnych wierzchołka ostrza w układzie NC zmodyfikowana sonda powinna również, po dotknięciu wierzchołkiem ostrza do płytki prostopadłościennej, tak jak typowa sonda narzędziowa, wysyłać do układu sterowania obrabiarki możliwie powtarzalny sygnał jednobitowy.

#### 4. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA SONDY TENSOMETRYCZNEJ DO OKREŚLANIA WSPÓLRZĘDNYCH KOŃCA OSTRZA I BEZPOŚREDNIEGO POMIARU ZUŻYCIA OSTRZA NOŻA TOKARSKIEGO

Do budowy wielozadaniowej sondy, która nadaje się do praktycznego zastosowania, wykorzystano oryginalne rozwiązanie tensometrycznego czujnika pomiarowego. W sondzie tej główny element stanowi okrągły trzpień pomiarowy mający płaskie powierzchnie z naklejonym pełnym mostkiem tensometrycznym. Powierzchnie te ustawione są prostopadle w stosunku do osi w których dokonujemy pomiaru. W górnej części trzpień pomiarowy zakończony jest prostopadłościenną płytką. W celu pomiaru pKE w odniesieniu do bazy znajdującej się na płycie skrawającej trzpień z tensometrami umieszczono w rurce zakończonej płytką prostopadłościenną z otworem usytuowaną pod płytką trzpienia. Krawędzie tej płytki są równoległe do bocznych płaszczyzn płytki trzpienia. Rurka ta ma wybrania, w wyniku których powstały 2 płaskie elementy leżące naprzeciw siebie na obwodzie (ustawione również prostopadle do osi w pomiaru), na każdym z nich naklejone są tensometry połączone podobnie jak w przypadku trzpienia w układ pełnego mostka. Płaskie elementy ustawione są równoległe do płaskich powierzchni trzpienia. Rurka jest dodatkowo osłonięta tulejką zabezpieczającą, która na swym obwodzie, w dolnej części, ma układ 3 wałeczków tworzących styki elektryczne tak jak w standardowej sondzie. Całość jest od dołu dociskana sprężyną, która nie tylko dociska wałeczki do kulek pełni także rolę zabezpieczenia i w przypadku przekroczenia dopuszczalnych warunków powoduje wychylenie całego zespołu czujnika zabezpieczając go przed nadmiernym ugięciem. Budowę sondy przedstawia rys. 4 i 5.



Rys. 4. Budowa sondy tensometrycznej



Rys. 5. Budowa sondy tensometrycznej

W skład toru pomiarowego wchodzi dedykowane prototypowe urządzenie pomiarowe PW02 (rys. 6) wykonane przez Zakład Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nielektrycznych w Markach. Urządzenie to pozwala na ciągły pomiar ugięcia trzpienia i tulei (2 osobne mostki tensometryczne) zerowanie i kalibrację sondy tensometrycznej, dokonuje standaryzacji sygnału z tensometrów do zakresu 0-10 V, przy czym wartość 5 V odpowiada nieobciążonym tensometrom. PW02 ma również 2 układy komparacyjne pozwalające na wysyłanie jednobitowych sygnałów w chwili osiągnięcia założonej wartości ugięcia zarówno dla trzpienia jak i tulei.



Rys. 6. Płytki PW02

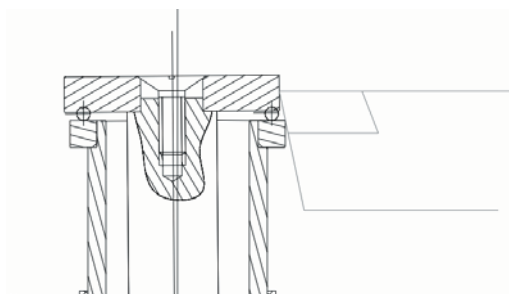
Sygnały z PW02 są przesyłane do karty akwizycji danych Personal DAQ3000 (rys. 7) firmy IOtech, która następnie jest połączona z komputerem przez złącze USB. Jednobitowe sygnały z PW02 są również wysyłane do układu sterowania obrabiarki na standardowe wejście przeznaczone dla sond. Na komputerze PC pracuje oprogramowanie napisane

w LabVIEW specjalnie do sondy tensometrycznej umożliwiające dokonywanie pomiarów zużycia ostrza.



Rys. 7. Karta akwizycji danych Personal DAQ3000

Podczas cyklu pomiarowego ostrze noża tokarskiego najpierw styka się z górną płytką sondy połączoną z trzpieniem pomiarowym powodując jego uginanie. Komparator w obwodzie mostka tensometrycznego trzpienia porównuje narastający sygnał z tensometrów z założonym poziomem sygnału (dla znanego ugięcia) i w chwili wyrównania wartości tych sygnałów wysyła sygnał jednobitowy na standardowe wejście układu sterowania obrabiarki przeznaczone dla sond. Sygnał ten powoduje odczytanie z liniału wartości współrzędnej i następnie zapamiętanie jej w tablicy dotyczącej danego narzędzia tak jak to ma miejsce w przypadku standardowej sondy, nie następuje jednak wycofanie ostrza z obszaru działania sondy i dalsza część cyklu odpowiada za pomiar zużycia ostrza. Ostrze noża porusza się dalej powodując dalsze uginanie trzpienia pomiarowego. Następnie styka się ono z dolną płytką pomiarową powodując uginanie połączonej z nią tulei pomiarowej (zasadę pomiaru ilustruje rys. 8).



Rys. 8. Zasada pomiaru zużycia sondą tensometryczną

W obwodzie mostka tensometrycznego tulei działa analogicznie drugi komparator, który w chwili wyrównania wartości sygnału z tulei z wartością wzorcową wysyła sygnał jednobitowy do karty akwizycji danych Personal DAQ3000. Oprogramowanie działające na komputerze PC otrzymuje ciągły sygnał analogowy z mostków tensometrycznych i w chwili otrzymania jednobitowego sygnału z komparatora tulei dokonuje zapamiętania aktualnej wartości sygnałów z obu mostków tensometrycznych (trzcienia i tulei). Wartości te po przeprowadzonej uprzednio kalibracji sondy odpowiadają przesunięciom płytek trzpienia i tulei w  $\mu\text{m}$ . Zużywająca się część ostrza styka się z płytką trzpienia, natomiast bazowa część ostrza, która nie ulega zużyciu styka się z płytką tulei. Oprogramowanie oblicza różnicę przesunięcia płytki tulei i płytki trzpienia. Aby dokonać pomiarów zużycia należy najpierw przeprowadzić taki cykl pomiarowy dla nowego ostrza. Otrzymujemy wówczas następujący pomiar:

$$pKE_0 = U_{tul} - U_{trzp0}$$

gdzie:  $pKE_0$  –  $pKE$  dla ostrza nowego ( $pKE = 0$ , brak zużycia)

$U_{tul}$  – aktualne ugięcie tulei dla sygnału z komparatora

$U_{trzp0}$  – aktualne ugięcie trzpienia dla sygnału z komparatora.

Wartość  $pKE_0$  jest zapamiętywana w programie. Gdy dokonujemy pomiaru ostrza które już było używane otrzymujemy następujący pomiar:

$$pKE_1 = U_{tul} - U_{trzp1}$$

gdzie:

$pKE_1$  –  $pKE$  dla ostrza używanego

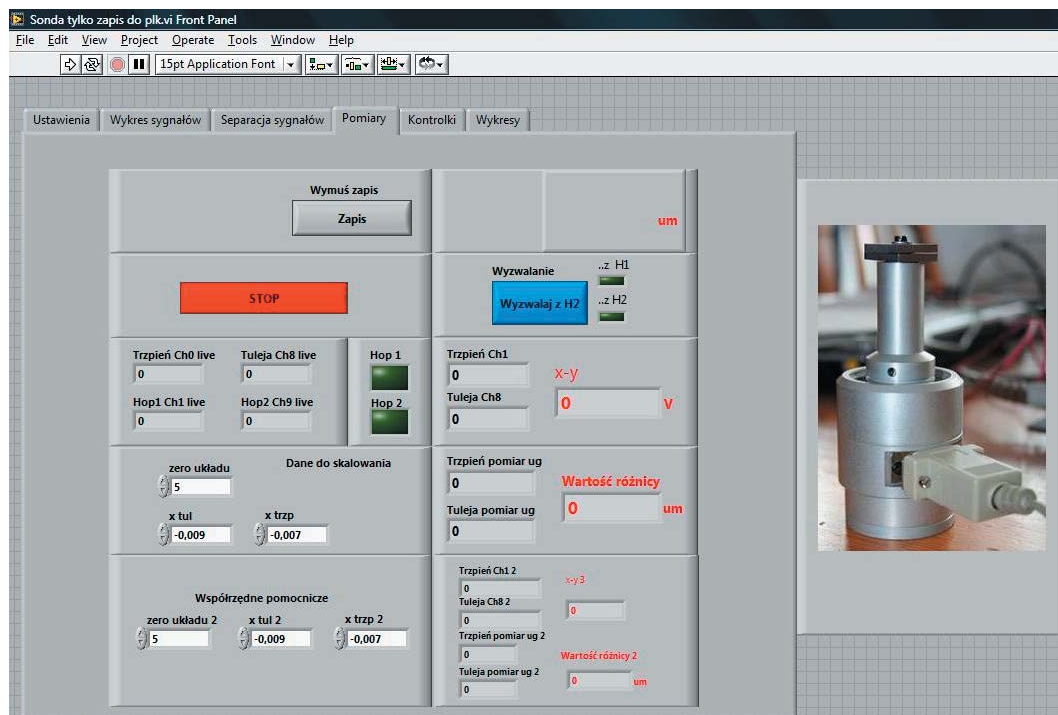
$U_{tul}$  – aktualne ugięcie tulei dla sygnału z komparatora (jego wartość jest taka sama dla nowego i używanego ostrza gdyż z tuleją styka się bazowa część ostrza nie podlegająca zużyciu)

$U_{trzp1}$  – aktualne ugięcie trzpienia dla sygnału z komparatora

Wartość  $pKE_1$  jest również zapamiętywana w programie. Wartość różnicy tych pomiarów dla ostrza nowego i używanego jest wartością zużycia ostrza wg wzoru:

$$pKE = pKE_1 - pKE_0$$

W sposób opisany powyżej dokonujemy jednoczesnego określania współrzędnych i pomiaru zużycia ostrza noża tokarskiego. W oprogramowaniu wybieramy czy mierzymy nóż nowy czy używany, pozostałe obliczenia wykonywane są automatycznie a wyniki pomiarów zapisywane są do pliku. Główny panel programu przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Oprogramowanie do pomiarów zużycia

## 5. PODSUMOWANIE

Systemy do pośredniej identyfikacji (diagnozowania) stanu ostrza z dużą dokładnością pozwalają na wykrywanie KSO, gorzej natomiast jest, gdy chodzi o stan ostrza. Nie ma jak dotąd w przemyśle w pełni niezawodnego urządzenia, które pozwalałoby na dokładne określenie wartości zużycia ostrza. Sondy do bezpośredniego pomiaru zużycia mogą być przyszłością monitorowania naturalnego zużycia i mają szansę wejść do przemysłowego zastosowania.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] [www.nordmann.info](http://www.nordmann.info)
- [2] K. Jemielniak, „Automatyczna diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawania”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
- [3] G. Byrne, D. Dornfeld, I. Inasaki, G. Ketteler, W. Konig, R. Teti, „Tool Condition Monitoring – The Status of Research and Industrial Application” CIRP Keynote Papers, STC C , 44/2/1995, p. 541.
- [4] R Gościński, „Strain gauge tool probe for NC lathes” IV International Conference on Machining and Measurement of Sculptured Surfaces” 2006 No A/1/MMSS06.
- [5] A. Weckenmann, T. Estler, G. Peggs, D. McMurtry, Probing Systems in Dimensional Metrology CIRP Annals STC P, 53/2/2004, p. 657.
- [6] M. Szafarczyk, J. Chrzanowski, „Tool Probe for Measuring Dimensional Wear and X Co-ordinate of Turning Edge”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 23 no 3-4, 2004.
- [7] M. Szafarczyk, A. Winiarski, Sonda narzędziowa, Zgłoszenie patentowe P.378785 Warszawa, 02.2006.
- [8] M. Szafarczyk, J. Chrzanowski, R. Gościński, „Nowoczesne metody monitorowania zużycia ostrzy narzędzi, Konferencja „Innowacje w budowie i eksploatacji maszyn”, Mach-Tool 2006.