

# Sonda narzędziowa z funkcją pomiaru zużycia ostrza

## Tool probe with the measuring function of the tool edge dimensional wear

JAROSŁAW CHRZANOWSKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.591

W artykule opisano koncepcję pomiaru oraz rozwiązania konstrukcyjne sondy narzędziowej, która oprócz standardowej funkcji określenia współrzędnych wierzchołka ostrza noża tokarskiego może również mierzyć jego zużycie metodą dotykową.

W proponowanych rozwiązaniach konstrukcyjnych, urządzenie wykorzystuje jeden lub kilka czujników przemieszczenia liniowego o małym zakresie pomiarowym. Zasada pomiaru zużycia ostrza pozwala wyeliminować błędy związane z niedokładnością pozycjonowania obrabiarki, jej niedokładnościami geometrycznymi, rozszerzalnością cieplną elementów obrabiarki itp. W opatentowanym rozwiązaniu punkty pomiarowe i bazowe usytuowane są na płytce skrawającej narzędzia.

**SŁOWA KLUCZOWE:** sonda narzędziowa, bezpośredni pomiar zużycia narzędzia

*This paper describes a measurement concept and the design solutions and a special tool probe, which in addition to the standard function for determine the coordinates of the tool tip, can also measure its wear at the tip of the cutting edge. The modified probe is equipped with one or more precision displacement sensors, depending on the proposed construction options. This method of measurement eliminates the errors associated with uncertainties of positioning the machine tool, its geometric inaccuracies, thermal distortions, etc. Both, the measure and base points are located on the same cutting insert.*

**KEYWORDS:** tool probe, tool wear measurement

### Wprowadzenie

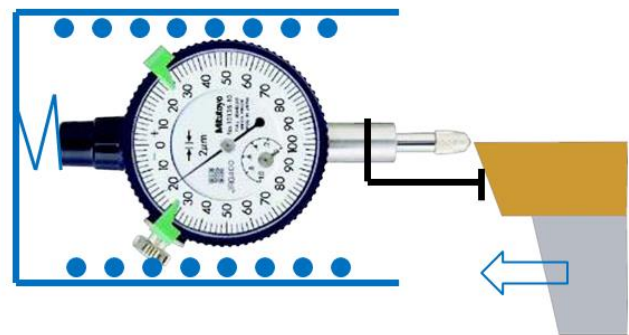
W przemyśle lotniczym, szczególnie w przypadku nowoczesnych materiałów trudno-obrabialnych istnieje potrzeba monitorowania zużycia narzędzia. Pomiar zużycia ostrza metodami bezpośrednimi może być realizowany tylko w trakcie przerw w obróbce. Pomiar zużycia metodą dotykową łatwiejszy do realizacji jest w przypadku narzędzi jednoostrzowych – tokarskich. W zadaniu wykonywanym w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", opracowano szereg wariantów konstrukcyjnych, zbudowano prototyp i przeprowadzono badania sondy narzędziowej, która oprócz standardowej funkcji ustawiania zestawu narzędzi na tokarce, umożliwia pomiar zużycia ostrza.

### ■ Koncepcja bezpośredniego pomiaru zużycia ostrza

Obecnie standardem jest, że obrabiarki sterowane numerycznie wyposażane są w sondy narzędziowe służące do szybkiego ustawienia zestawu zamocowanych narzędzi. Prawidłowe określenie wymiaru KE skrócenia ostrza w wyniku naturalnego zużycia, szczególnie przy toczeniu wykańczającym, staje się istotnym czynnikiem dokładności wykonania przedmiotu obrabianego. Zasada działania standardowej sondy elektrostrykowej, której dokładność wykonywanego pomiaru zależy od stanu obrabiarki, uniemożliwia

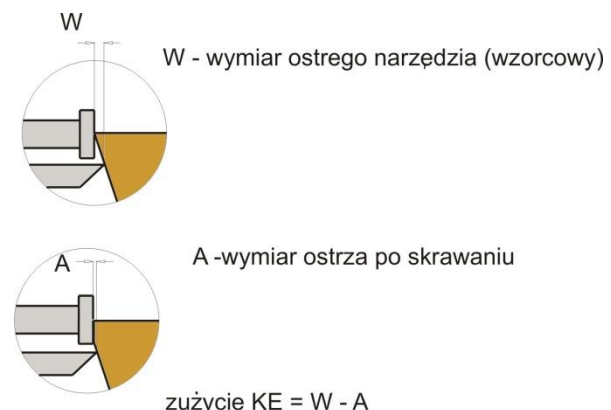
miar zużycia naturalnego narzędzi [1, 2].

Koncepcja bezpośredniego pomiaru zużycia ostrza, niezależnym czujnikiem przemieszczenia liniowego, wbudowanym w sondę narzędziową, polega na tym, że zarówno końcówka pomiarowa (czynna) czujnika jak i jego baza (bierna) stykają się z narzędziem (rys.1).



Rys. 1. Zasada pomiaru skrócenia wierzchołka ostrza (KE) czujnikiem przemieszczenia liniowego [5]

W sposób przedstawiony na rys.1 można określić zużycie ostrza jako wartość skrócenia jego wierzchołka. Zgodnie z tą koncepcją końcówka pomiarowa czujnika styka się z wierzchołkiem ostrza a korpus z częścią narzędzia nie zużywającą się podczas skrawania. Wartość zużycia jest obliczana jako różnica pomiaru nowego narzędzia i po obróbce (rys.2).



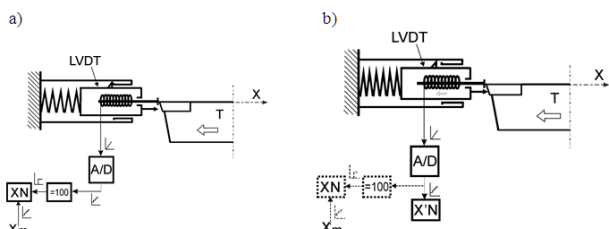
Rys. 2. Zasada obliczenia wartości zużycia ostrza

Idea pomiaru polega na tym, że czujnik może się przesuwać wzdłuż swojej osi wewnątrz sondy. Sprężyna jest dociskana do obudowy sondy, a mierzone narzędzie podczas pomiaru, aby mieć pewność, że obie końcówki czujnika zetknęły się z płytką skrawającą, przemieszcza czujnik wewnątrz sondy. Na wartość w ten sposób wykonanego pomiaru nie wpływają błędy obrabiarki. Pomiar jest niezależny od dokładności i powtarzalności pozycjonowania zespołów obrabiarki, dokładności układu pomiarowego maszyny, niewrażliwy na zmiany położenia sondy i odkształcenia elementów maszyny oraz narzędzia wynikające ze zmiany temperatury.

\* dr inż. Jarosław Chrzanowski (j.chrzanowski@zaoi.os.pw.edu.pl)  
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji

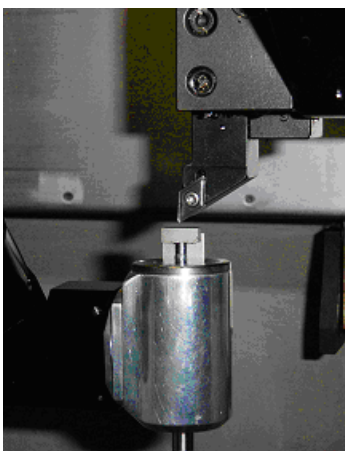
### Pomiar KE w kierunku -X - prototyp sondy

Pierwsze zmodyfikowane sondy zbudowane i zbadane w Politechnice Warszawskiej działały tylko przy ruchu dosuwanego ostrza w kierunku ujemnych wartości osi X (-X). Chodziło wówczas o sprawdzenie, czy pomiar KE względem bazy umieszczonej na narzędziu umożliwia dostatecznie dokładne określenie naturalnego zużycia ostrzy noży tokarskich. Najbardziej zaawansowaną konstrukcją była sonda działająca w oparciu o precyzyjny czujnik przemieszczenia liniowego LVDT. Oprócz funkcji pomiaru zużycia umożliwiała, podobnie jak standardowa sonda narzędziowa, pomiar i zapis długości narzędzia do tablicy narzędziowej układu sterowania obrabiarki.



Rys. 3. Sonda z czujnikiem LVDT a) pomiar długości narzędzia, b) pomiar zużycia [5]

W trakcie procedury pomiaru narzędzie przemieszcza się w kierunku sondy stykając się najpierw z płaską końcówką pomiarową czujnika. Gdy sygnał z czujnika osiągnie zaprogramowaną wielkość, wartość współrzędnej X odczytana z układu pomiarowego maszyny zostaje zapisana do tablicy narzędziowej jako długość narzędzia. W przypadku pomiaru narzędzi sondą standardową narzędzie po zorientowaniu zostaje wycofane. W przypadku niniejszej sondy, układ sterowania obrabiarki przemieszcza jeszcze narzędzie o zadaną wartość np. 2 mm. Nóż tokarski styka się z końcówką bierną czujnika (zderzakiem). Końcówka pomiarowa czujnika przestaje się przesuwac, natomiast przemieszcza się korpus czujnika w prowadnicach. Droga przemieszczenia 2 mm została tak dobrana, aby mieć pewność, że dla wszystkich rodzajów ostrza nastąpi na pewno zetknięcie noża ze zderzakiem i przesunięcie czujnika w korpusie sondy. Po zatrzymaniu posuwu następuje odczyt wskazań czujnika. Oprogramowanie sondy pamięta jako wymiar wzorcowy pomiar nowej płytki i każdorazowo przy następnym mierzeniu ostrza odejmuje wymiar aktualny od wzorcowego wyliczając bieżące zużycie ostrza. Sonda ta została bardzo starannie i wszechstronnie przebadana [1, 2, 3] potwierdzając słuszność koncepcji pomiaru.



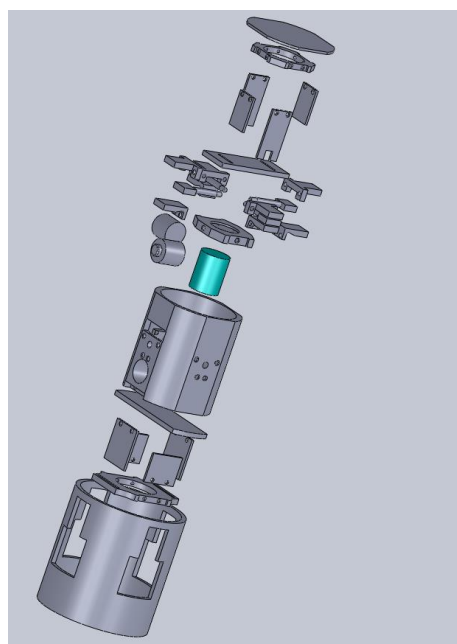
Rys. 4. Widok prototypu sondy podczas pomiaru zużycia w osi X

Wartości pomiarów zużycia weryfikowane były przez porównawczy pomiar na mikroskopie warsztatowym. Zbudowany prototyp sondy okazał się bardzo dobry do pomiaru

zużycia KE, lecz posiadał ograniczenia wykluczające możliwość jego praktycznego zastosowania. Był zbyt złożony i drogi a umożliwiał pomiar tylko przy jednym kierunku dosuwania ostrza.

### Uniwersalna sonda z funkcją pomiaru KE

Dobre wyniki badań sondy jednokierunkowej, potwierdzające słuszność koncepcji zużycia ostrza przez określenie skrócenia jego wierzchołka zachęciły zespół badawczy do podjęcia prac nad sondą działającą w czterech kierunkach. Z założenia sonda nie mogła ograniczać przestrzeni obróbkowej obrabiarki - rozmiary sondy musiały być podobne do standardowo stosowanych sond. Ze względu na środowisko w którym sonda miała pracować, i zadania jakie miała wykonywać musiała być niezawodna, nie wymagająca konserwacji i o prostej konstrukcji. Rozpatrywano kilka wariantów konstrukcyjnych. Szczegółowy opis rozważanych opcji można znaleźć w pozycji [5]. Po analizie przygotowanych rozwiązań wyeliminowano sondy wieloczujnikowe. Zastosowanie kilku czujników znacząco podnosi koszt wykonania sondy, zwiększa jej wymiary, komplikuje przetwarzanie sygnału. Wyeliminowano konstrukcje wykorzystujące jeden czujnik dotykowy przemieszczenia mocowany bezpośrednio do kierunku pomiaru. Takie rozwiązanie musiało posiadać mechanizm zmieniający kierunek ruchu, wprowadzający błędy pomiaru (luzy, tarcie, elementy pośredniczące). Ogólnie niekorzystne jest gdy podczas pomiaru, siły działające na trzpień czujnika nie są równoległe do jego przemieszczenia. Jedną z koncepcji zakładała wykorzystanie do budowy sondy czujnika bezdotykowego mierzącego przemieszczenie elementu pośredniego w formie walca lub stożka. Konstrukcję takiej sondy przedstawiono na rys. 5.

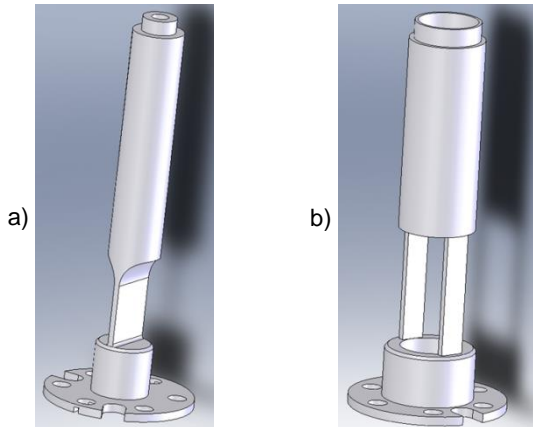


Rys. 5. Konstrukcja sondy z czujnikiem bezdotykowym

Konstrukcja takiej sondy zawierała dwa rozwiązania mechanizmów zastrzeżone wnioskami patentowymi. Przygotowana została kompletna dokumentacja wykonawcza sondy. Jednak ze względu na złożoność konstrukcji i konieczność zachowania wąskiego pola tolerancji elementów sondy nie przystąpiono do jej budowy.

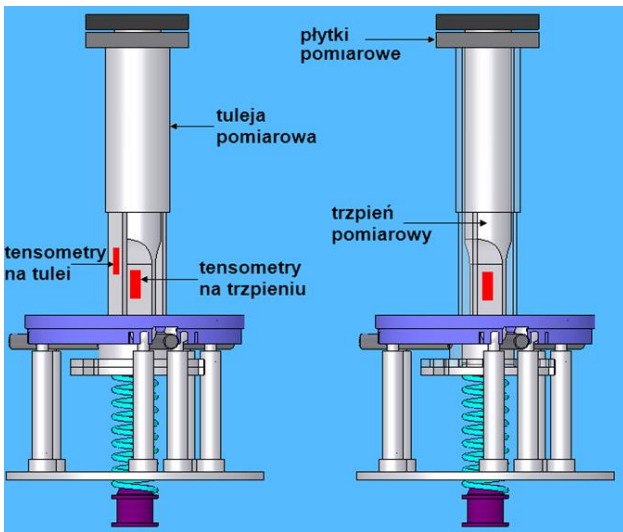
Finalną konstrukcją według której zbudowano i zbadano prototyp była sonda tensometryczna. Tensometry z powodzeniem są stosowane w budowie sond, podnosząc ich powtarzalność pomiarów jednak, jak dotąd, nie ma w przemyśle sond narzędziowych wykorzystujących tylko tenso-

metry. W zaprojektowanej sondzie główny element stanowi okrągły trzpień pomiarowy (rys. 6a.) posiadający płaskie powierzchnie z naklejonym pełnym mostkiem tensometrycznym. Powierzchnie te ustawione są prostopadle w stosunku do osi w których dokonywany jest pomiar. W górnej części trzpień pomiarowy zakończony jest prostopadłościenną płytką. W celu pomiaru KE w odniesieniu do bazy znajdującej się na płytce skrawającej, trzpień z tensometrami umieszczono w tulei (rys. 6b.) zakończonej płytką prostopadłościenną z otworem, usytuowaną pod płytką trzpienia.



Rys. 6. a) Wewnętrzny trzpień pomiarowy, b) tuleja na sprężynach płaskich

Zarówno trzpień jak i tuleja są czujnikami pomiarowymi. Rozmieszczenie tensometrów na trzpieniu i tulei pokazano na rys. 7.

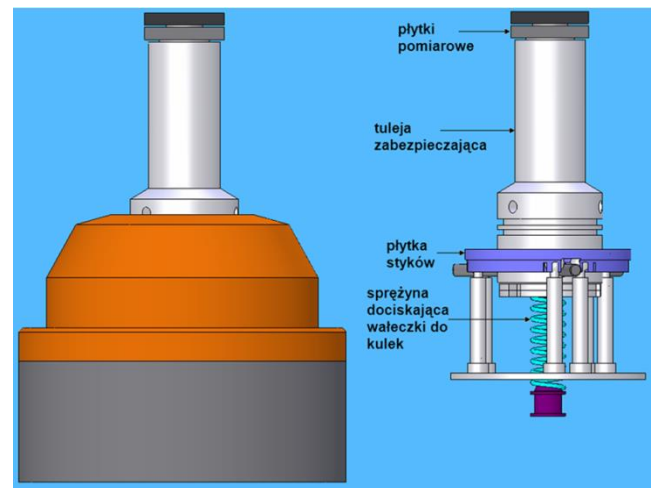


Rys. 7. Rozmieszczenie tensometrów na trzpieniu i tulei

Tuleja pomiarowa jest dodatkowo osłonięta korpusem zabezpieczającym, który na swym obwodzie, w dolnej części, posiada układ 3 wałeczków tworzących styki elektryczne tak jak w standardowej sondzie pomiarowej (rys. 8.). Takie rozwiązanie jest zabezpieczeniem przed uszkodzeniem elementów pomiarowych sondy. Rozwarciem obwodu elektrycznego w trakcie normalnego pomiaru nie następuje. Jedynie w sytuacji kolizji narzędzia z sondą nastąpi rozwarcie obwodu i zatrzymanie ruchu narzędzia.

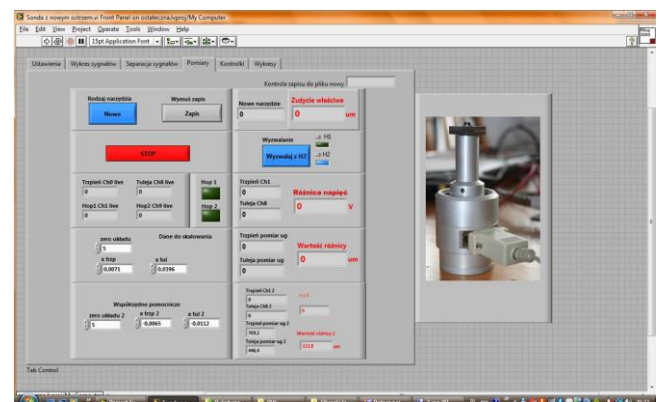
Zasada pomiaru sondą tensometryczną jest zgodna z opisem pomiaru KE. Podczas procedury pomiarowej następuje zetknięcie się pomiarowych elementów sondy z częścią ostrza, która podlega zużyciu oraz z częścią ostrza nieulegającą zużyciu na tej samej płytce skrawającej. Przy

dosuwaniu wierzchołka ostrza do płytek sondy najpierw wierzchołek ostrza opiera się o płytkę trzpienia i przesuwają ją wyginając trzpień. Mostek tensometryczny wysyła narastający sygnał pomiarowy. Przy ustalonym wygięciu trzpienia wysyłany jest jednobitowy sygnał dla określenia współrzędnej wierzchołka. Po dalszym ruchu ostrza i wyginaniu płaskiej części trzpienia następuje zetknięcie bazowej (nieulegającej zużyciu) części płytki skrawającej z krawędzią płytki tulei pomiarowej. Pomiar odległości między wierzchołkiem ostrza a bazą jest wówczas zakończony i ruch ostrza zostaje przerwany. Wartość sygnału z mostka tensometrycznego umieszczonego na trzpieniu zostaje zapamiętana w chwili dotknięcia krawędzi płytki tulei. Różnica między wartością pomiaru (będącego różnicą wartości ugięć między tuleją a trzpieniem) przy pomiarze ostrego narzędzia i wartością tego pomiaru wówczas gdy narzędzie było już używane jest wartością zużycia ostrza – KE. Jednobitowy sygnał powodujący zakończenie dosuwania narzędzia do sondy i zapamiętanie KE, pochodzi z tensometrów naklejonych na tuleję i jest wysyłany do układu pomiarowego przez komparator.



Rys. 8. Budowa tensometrycznej sondy narzędziowej do bezpośredniego pomiaru zużycia

Prototyp sondy został wykonany i zbadany w ramach pracy doktorskiej dr inż. Radosława Gościńca [6]. Opracowano tor pomiarowy i oprogramowanie obsługujące sondę. Widok głównego okna programu przedstawiono na rys. 9.



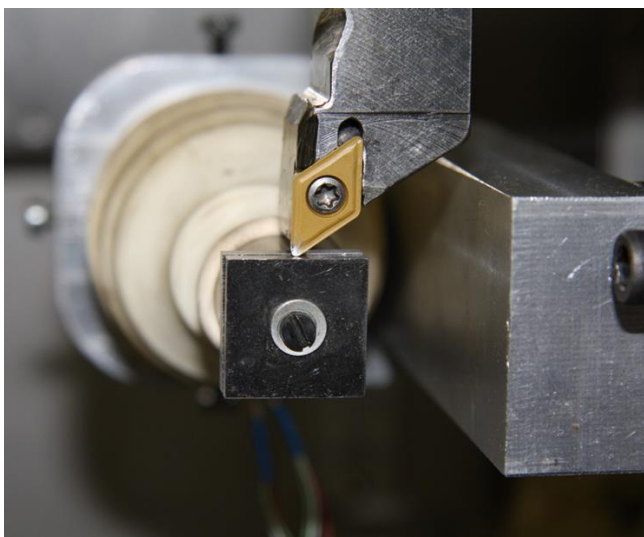
Rys. 9. Widok głównego okna programu sondy tensometrycznej

Badania przeprowadzono dla różnych konfiguracji toru pomiarowego, zarówno wykorzystując dostępne moduły obsługi tensometrów firmy Siemens, jak i przy wykorzystaniu specjalizowanego układu elektronicznego. Badano wskazania sondy podczas pomiaru zużycia zarówno na

obrabiarce jak i stanowiskach laboratoryjnych. Prototyp sondy podczas badań zamocowany na stanowisku laboratoryjnym pokazano na rys. 10. a na tokarce na rys. 11.



Rys. 10. Badania powtarzalności wskazań sondy



Rys. 11. Sonda podczas badań zużycia na tokarce

Dane techniczne sondy zamieszczono w tablicy poniżej [6].

Dane techniczne sondy tensometrycznej do pomiaru zużycia		
Zakres pomiarowy KE		600µm
Rozdzielczość		0,1µm
Dokładność	prawdop. 95%	±0,88µm
	prawdop. 99,7%	±1,32µm
Powtarzalność		3µm

## Podsumowanie

W ramach prowadzonych prac opracowano prototyp nowatorskiej sondy narzędziowej, w której do standardowych funkcji dodana jest możliwość pomiaru zużycia niezależnym czujnikiem. Metoda pomiaru zużycia ostrza nie zależy od stanu technicznego obrabiarki. Sonda może być mocowana w standardowych ramionach sond pomiarowych mocowanych do korpusu wrzecionnika tokarki CNC i wykorzystana do pomiaru wszystkich rodzajów noży tokarskich (pomiar w czterech kierunkach). Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że opracowana sonda tensometryczna z powodzeniem może być stosowana do pomiarów zużycia ostrza noża tokarskiego. Analizy zdolności całego systemu pomiarowego sondy jednoznacznie wskazują, że sonda ta jest urządzeniem zdolnym pomiarowo w warunkach przemysłowych.

Sondę tensometryczną najkorzystniej jest stosować w miejsce standardowej sondy narzędziowej, gdy obrabiarka jest wyposażona w oprzyrządowanie (ramię mocujące, interfejs) i oprogramowanie (cykle pomiarowe). Obecnie do funkcji pomiaru zużycia wykorzystywany jest zewnętrzny panel dotykowy.

## Podziękowanie

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

## LITERATURA

1. Chrzanowski J., "An Application of a LVDT sensor for both Tool Co-ordinate and Tool Wear Evaluation in Turning", conference papers Metrology In Production Engineering, vol.I (2003):s. 79-86.
2. Chrzanowski J., Szafarczyk M., 2004, "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): s. 272-278.
3. Chrzanowski J., Szafarczyk M., "Concurrent Measurement of the Tool Co-ordinate and Tool Wear in Turning" -materiały konferencyjne, Monitoring and Automatic Supervision in Manufacturing AC'04, (Zakopane 2004).
4. Chrzanowski J., Szafarczyk M., Gościński R., "Strain Gauge Tool Probe for NC Lathes", Problemy Eksploatacji Nr 4 (2006): s. 161-170.
5. Chrzanowski J., Wypysiński R., "Independent tool probe with LVDT for measuring dimensional wear of turning edge", Advances in Manufacturing Science and Technology, Nr 34 vol. 3 (2010): s. 49-60.
6. Gościński R., „Metoda określania współrzędnych i zużycia ostrza noża na tokarkach CNC”, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska 2012.