

mgr inż. Jarosław Chrzanowski  
prof. dr inż. Maciej Szafarczyk  
dr inż. Andrzej Winiarski  
mgr inż. Maciej Winiarski  
Instytut Technologii Maszyn  
Politechnika Warszawska

## MONITOROWANIE I KOREKCJA ZUŻYCIA WYMIAROWEGO NOŻY TOKARSKICH.

*W artykule opisano metody pomiaru zużycia wymiarowego narzędzi tokarskich w czasie procesu skrawania i wpływ tego zużycia na dokładność przedmiotu obrabianego. Opisano własny projekt urządzenia do pomiaru zużycia wymiarowego narzędzi tokarskich, składającego się z unikalnego rozwiązania sondy pomiarowej i łapy mocującej. Zaproponowany sposób pomiaru zużycia pozwala również na wyeliminowanie błędów określania współrzędnych ostrza skrawającego przy wykorzystywaniu tradycyjnej sondy narzędziowej.*

## MONITORING AND CORRECTION OF DIMENSION WEAR OF TURNING TOOLS

*This paper describes the new approach to measurement of dimension wear of turning tools during cutting process and the influence of this wear on dimensional accuracy of workpiece. The new method was developed and applied for turning tools measurements. The device is consisted of unique solution of sensor and fixing handle. This way of measurement eliminates the errors of the touch trigger probes, which are currently used for orientation of the cutting edge in the co-ordinate systems of NC machine tools.*

### 1. AUTOMATYCZNY NADZÓR STANU NARZĘDZIA

Narzędzie skrawające jest najszybciej zużywającym się elementem składowym systemu obróbkowego. Okres trwałości współczesnych płytek skrawających wynosi od kilku do kilkunastu minut. Oznacza to, że bieżący stan zużycia narzędzia powinien być monitorowany, a do usunięcia zaistniałej niezdatności narzędzia należy stosować automatyczny nadzór. O ile urządzenia do wymiany narzędzi są już szeroko dostępne a nadzór nad katastroficznym stopniem ostrza, KSO, dojrzał do praktycznych zastosowań to monitorowanie i automatyczna diagnostyka naturalnego zużycia ostrza narzędzia wciąż jest problem nierozwiązanym, mimo pojawienia się w ostatnich latach różnorodnych układów nadzorujących. Tradycyjnie problem ten rozwiązuje się przez zliczanie czasu skrawania i porównanie go z założonym, teoretycznym okresem trwałości ostrza, po osiągnięciu którego narzędzie podlega wymianie na nowe, niezależnie od jego stanu. Podejście to ma trzy podstawowe wady.

1. Zużycie ostrza jest zjawiskiem w dużej mierze losowym. Chcąc osiągnąć określony stopień pewności, że narzędzie zostanie wymienione przed stopniem, należy przyjąć okres jego trwałości dla najbardziej niekorzystnego przypadku. Oznacza to niepełne

wykorzystanie większości narzędzi oraz powoduje straty czasu i podwyższenie kosztów obróbki.

2. Przy znacznych zmianach parametrów skrawania, zwłaszcza zmianach posuwu [1], przebieg zużycia ostrza zależy nie tylko od bieżących, ale i od poprzednich parametrów pracy, przewidywanie nie może być w związku z tym oparte na sumowaniu obliczanych teoretycznie przyrostów zużycia.
3. Katastroficzne stępienie ostrza, polegające na gwałtownym, znacznym przyroście zużycia, wykruszeniu lub wyłamaniu, może wystąpić nie tylko na końcu okresu trwałości, lecz nawet w początkowym okresie jego pracy. Niebezpieczeństwo to jest szczególnie duże przy trudnych warunkach skrawania (obróbka przerywana, powierzchnie surowe, materiały trudnoobrabialne).

Główna trudność monitorowania naturalnego zużycia polega na konieczności oceny stanu narzędzia podczas jego pracy. Ostrze znajdujące się wówczas w strefie skrawania i jest niedostępne do bezpośredniej obserwacji i kontroli. Poza tym, zużywanie się narzędzia może przybierać różne geometryczne postaci. Powoduje to, że diagnozowanie stanu narzędzia napotyka duże trudności nie tylko pomiarowo-techniczne, ale również interpretacyjne. Dlatego do tej pory nie doczekano się, pomimo licznych prac badawczych i naukowych, w pełni zadowalającego systemu diagnozowania i nadzorowania narzędzi skrawających.

Dla bezobsługowej pracy systemu obróbkowego niezbędne są następujące funkcje automatycznego monitorowania narzędzia:

1. wykrycie stępienia - stanu całkowitego zużycia (niezdatności do dalszego użytkowania), zwykle chodzi o katastroficzne stępienie [2],
2. określenie stanu zużycia umożliwiające ocenę reszty okresu trwałości czyli prognozy jak długo można jeszcze używać to ostrze,
3. zmierzenie zmian geometrii ostrza wpływających na wymiary powstające w wyniku obróbki, w celu korekcji tego wpływu.

W pierwszym przypadku układ automatycznego nadzoru musi podjąć działania zmierzające albo do natychmiastowej zmiany bezużytecznego narzędzia na nowe w pełni sprawne, albo spowodować działanie podprogramów awaryjnych (zastępczych).

W drugim przypadku układ nadzorujący musi zdecydować o dalszych losach narzędzia. Jeżeli pozostałość okresu trwałości narzędzia jest wystarczająca do zrealizowania następnego zabiegu z udziałem tego narzędzia, to żadne zasadnicze działania nie są potrzebne, w przeciwnym przypadku konieczna jest zmiana narzędzia na takie samo lecz ostre.

Funkcja trzecia wiąże się z drugą i umożliwia dalszą obróbkę, po korekcji wymiarowej, zapewniającej prawidłową obróbkę przedmiotów.

Rozróżnienie monitorowania katastroficznego stępienia ostrza i zużycia naturalnego jest niezwykle istotne dla działania układu nadzorującego. W przypadku wystąpienia KSO reakcja układu nadzorującego musi być niezwłoczna, co wiąże się między innymi z jak najszybszym wykryciem takiego stanu. Dla zużycia naturalnego natychmiastowa reakcja nie jest już tak istotna. Wpływa to, między innymi na to, że stosowane są różne metody monitorowania.

### 1.1. Metody identyfikacji stanu ostrza noża tokarskiego.

Wszystkie spotykane metody identyfikacji (diagnozowania) stanu ostrza można podzielić na:

1. metody pośrednie
2. metody bezpośrednie.

Metody pośrednie wykorzystują zjawiska powodowane zużywaniem się ostrza czyli są oparte na pomiarach skutków zużycia.

Metody bezpośrednie są oparte na wskaźnikach związanych wprost ze zmianą geometrii ostrza, czyli na pomiarze cech geometrycznych.

Metody bezpośrednie wierniej oddają stan rzeczywisty, ale są trudne do technicznej realizacji. Metody pośrednie cechuje prostsza realizacja techniczna, ale ich wyniki są obarczone niepewnością wynikającą z niedokładności modelu wiążącego zużycie z wielkością mierzoną.

#### 1.1.1. Metody pośrednie.

Metody pośrednie, chociaż niepewne, są praktycznie stosowane zarówno do oceny zużycia naturalnego jak i katastroficznego. Metody te w odróżnieniu od bezpośrednich wymagają dwustopniowych działań:

- pomiar określonej wielkości fizycznej,
- opracowanie odpowiedniego modelu pozwalającego na wnioskowanie o stanie narzędzia na podstawie dokonanego pomiaru.

Do oceny zużycia ostrza metodą pośrednią można mierzyć takie wielkości fizyczne jak:

1. temperaturę skrawania;
2. zmianę chropowatości powierzchni lub wymiarów geometrycznych obrabianego przedmiotu;
3. drgania lub hałas;
4. siły skrawania i wielkości pochodne (moment, prąd silnika napędowego, odkształcenia narzędzia);
5. fale naprężeń tzw. emisję akustyczną, AE.

#### 1.1.2. Metody bezpośrednie

Zautomatyzowane systemy wytwarzania ze stale rosnącymi wymaganiami co do jakości wyrobów i dokładności produkcji wymuszają stosowanie układów monitorujących stan narzędzi nie tylko nastawionych na ich katastroficzne zużycie, ale też diagnozujących zmiany wymiarów narzędzia spowodowane zużyciem naturalnym. Wymagania jakie stawia się przed takimi układami diagnozującymi to:

- dokładność oraz powtarzalność pomiaru, co najmniej rzędu  $1\mu\text{m}$ ,
- elastyczność zastosowania układu (pomiar różnych rodzajów narzędzi),
- brak ograniczeń obróbkowych obrabiarki (po zainstalowaniu układu),
- duża szybkość działania (pomiar narzędzia i obliczenie korekcji nie wydłużają w znaczącym stopniu cyklu obróbki przedmiotu),
- mały koszt wykonania i zainstalowania układu na obrabiarce,
- duża odporność na zakłócenia i uszkodzenia powstające podczas obróbki.

Metody bezpośredniej identyfikacji stanu ostrza można podzielić wg sposobów pomiaru na:

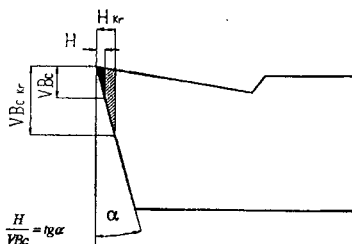
1. metody optyczne - oparte na analizie obrazu ostrza
2. metody dotykowe - najczęściej za pomocą sondy narzędziowej
3. metody indukcyjne - wykorzystujące bezdotykowe-indukcyjne metody pomiaru
4. metody elektrooporowe - oceniające pole starcia powierzchni przyłożenia poprzez pomiar oporności elektrycznej
5. metody radiometryczne - oparte na ocenie ubytku masy ostrza poprzez pomiar promieniowania.

## 2. POMIAR ZUŻYCIA OSTRZA NOŻA TOKARSKIEGO

### 2.1. Koncepcja pomiaru zużycia

Zasadnicze znaczenie dla dokładności wymiarowo-kształtowej prowadzonej obróbki oraz poprawności sterowania obrabiarki NC ma zużycie ostrza rozumiane jako przesunięcie

krawędzi skrawającej w rejonie naroża i jest ono bezpośrednio zależne od wysokości starcia na powierzchni przyłożenia,  $VB_C$ .



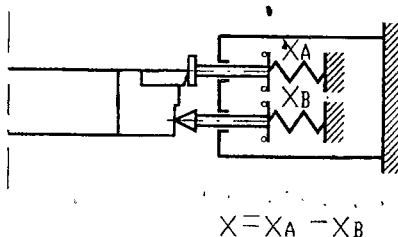
Rys.1. Zależność pomiędzy  $VB_C$  a przesunięciem krawędzi skrawającej

Dla typowych wartości krytycznych (określających stopień) współczynnika  $VB_{CKr}=1.5$  mm i kąta  $\alpha=6^\circ$  graniczne cofnięcie krawędzi skrawania  $H_{Kr}$  wyniesie 0.15 mm. Określa to wymaganą dokładność pomiarów cofnięcia się krawędzi skrawającej. Wpływ cofnięcia krawędzi skrawającej na dokładność toczzonej średnicy jest wprost proporcjonalny i np. przy cofnięciu  $H=0.1$  mm błąd wykonania średnicy  $\Delta\varnothing=0.2$  mm.

Określanie wartości zużycia ostrza poprzez pomiar wskaźnika zużycia  $VB_C$  na mikroskopie warsztatowym jest szeroko stosowaną metodą „ręcznej” diagnostyki stanu ostrza, pozwala on również na określenie wielkości cofnięcia krawędzi skrawającej, a tym samym określenie współczynników korekcyjnych w programie sterującym obrabiarki NC.

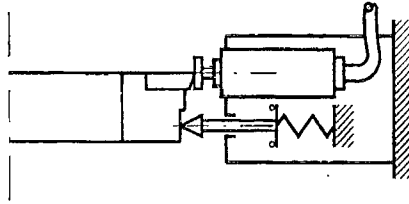
## 2.2. Czujnik pomiaru zużycia narzędzia.

Pomiar zużycia wymiarowego narzędzi odbywał się w oparciu o (zastrzeżony w urzędzie patentowym) pomysł M. Szafarczyka i A. Winiarskiego. Urządzenie według tego pomysłu składa się z dwóch czujników dotykowych o różnych końcówkach pomiarowych: ostrej i płaskiej (rys. 2.). Czujnik z ostrą końcówką służy do zorientowania narzędzia w przestrzeni roboczej obrabiarki, a czujnik z końcówką płaską pozwala na pomiar wartości zużycia wymiarowego ostrza (względem powierzchni bazowej narzędzia). Taki sposób pomiaru zużycia umożliwia wyeliminowanie błędów pomiaru pojawiających się w przypadku (zalecanego przez niektórych producentów obrabiarek) wykorzystaniu tradycyjnej sondy narzędziowej. Jednocześnie sposób ten umożliwia tym samym urządzeniem i w tym samym czasie orientowanie ostrza narzędzia w układzie współrzędnych NC.



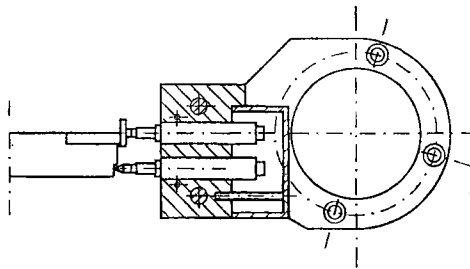
Rys. 2. Sonda narzędziowa z dwoma czujnikami dotknięcia

Inna koncepcja tej samej sondy narzędziowej zakłada zainstalowanie w niej czujnika dotknięcia i czujnika przemieszczenia liniowego o małym zakresie pomiarowym (rys.3.). Czujnik dotknięcia orientuje narzędzie w przestrzeni roboczej obrabiarki, a czujnik liniowy realizuje pomiar zużycia ostrza względem powierzchni bazowej narzędzia.



Rys. 3. Sonda narzędziowa z czujnikiem dotknięcia i czujnikiem przemieszczeń liniowych.

Urządzenie do pomiaru zużycia z rys.2 zostało zainstalowane na korpusie konika tokarki (rys. 4) i sprzężone z układem sterowania numerycznego obrabiarki. Dane pracującego narzędzia są wprowadzane do układu sterowania numerycznego i wykorzystywane podczas obróbki. Informacje o czasie pracy i zużyciu poszczególnych narzędzi mogą zostać wykorzystane przez system identyfikacji narzędzi i posłużyć do prowadzenia optymalnej gospodarki narzędziowej w trakcie procesu wytwarzania.



Rys. 4. Budowa i koncepcja pomiaru sondą dwu czujnikową

### 2.3. Program NC umożliwiający stosowanie sondy dwu czujnikowej

Poniżej przedstawiony jest program dla układu sterowania NC PRONUM umożliwiający pomiar sondą dwu czujnikową.

(SONDA NARZ. 2CZUJ.)

N10R0=1R1=0R2=0R3=0

N20G90G0X0

N30Z0

@909=L199

@900=L199

@904=WYNIKI POMIAROW

N40L115P10

@901

N70G0G90X0

N80Z0

N90M30

(NAJAZD NA SONDE W OSI X-2 CZUJ.)

N10G1G90G94X-10Z0F500

N20G1G91G94G48X-2F100

N30R1=RSM.1

N40G49X2

N50G90X-10F500

N55G4F4.

N60G1G91G48X-2F100

N70R2=RSM.1

N80G49X2

N90G1G90X-10F500

N100R3=R2-R1

@903=NR0XR1ZR2IR3

N110R0=R0+1

N115G4F4.

N120M17

Problemem było obsłużenie dwóch czujników dotknięcia w czasie jednego cyklu pomiarowego, w związku z tym wstawiono przełącznik pomiędzy sondami. Po najeździe powierzchnią bazową następowało oczekiwanie programu na przełączenie drugiego czujnika i wciśnięcie przycisku start tokarki. Po starcie następował najazd krawędzią skrawającą na czujnik z końcówką ostrą. Po każdym z najazdów na czujniki program zapisywał współrzędną „X” do pliku oraz, poprzez realizację funkcji odejmowania, podawał wartość różnicy pomiędzy powierzchnią bazową a krawędzią skrawającą. W ten sposób na pomiar nie przenosiły się błędy układu pomiarowego tokarki.

Tak więc w pliku do którego były zapisane wartości pomiaru były:

- współrzędna X czujnika z ostrą końcówką (w programie oznaczona jako sonda Z)
- współrzędna X czujnika z płaską końcówką (w programie oznaczona jako sonda X)
- różnica wskazań X-Z jako wartość cofnięcia krawędzi skrawającej (w programie oznaczone jako I)

Liczba pomiarów zależała od przyjętej liczby powtórzeń ustawionej w programie.

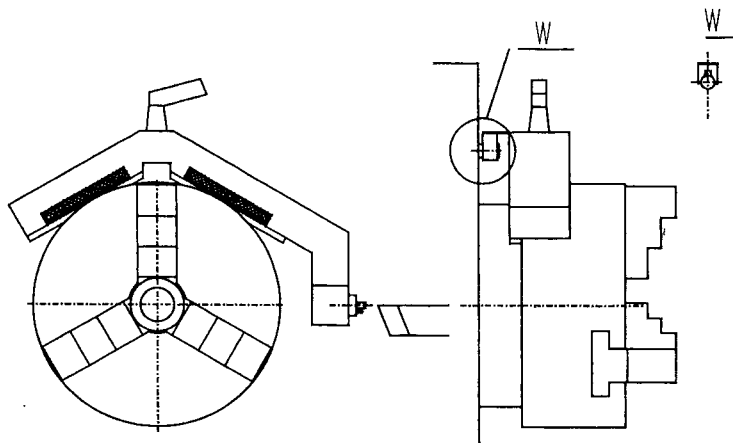
Aby można było analizować wyniki pomiaru, zużycia płytki układ sterowania połączono z komputerem za pomocą interfejsu szeregowego RS-232. Przesłanie danych z układu sterowania pozwoliło na obróbkę tych wyników dalej poprzez wczytywanie ich do arkusza kalkulacyjnego Excel.

## 2.4 Wnioski z przeprowadzonych badań.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że sonda dwu czujnikowa nadaje się do zorientowania narzędzia w przestrzeni obróbkowej obrabiarki oraz do pomiaru zużycia krawędzi skrawającej noża tokarskiego. To drugie zastosowanie jest bardzo istotne ze względu na utrzymywanie zadanej dokładności przedmiotu obrabianego. Badania przeprowadzone z sondą dwu czujnikową były bardzo obiecujące i skłoniły do dalszych prac zarówno nad samą sondą jak i sposobem mocowania jej na obrabiarkę. Zmodyfikowano ideę pomiaru sondą zamieniając czujnik dotykowy na palec trwale związany z korpusem czujnika liniowego. Pozwoliło to na znaczne zbliżenie tych dwóch elementów do siebie. Obecnie obydwa te elementy stykać się będą tylko z płytką skrawającą narzędzia, co pozwoli wykluczyć błędy np. nierównomiernego rozszerzania cieplnego oprawki i płytki. Aby podwyższyć dokładność wykonania przedmiotu obrabianego opracowano także łapę sondy mocowaną bezpośrednio na uchwycie przedmiotu obrabianego. Znane, sondy i łapy mocujące

angielskiej firmy Renishaw, są albo mocowane na stałe do korpusu wrzeciennika i obracane automatycznie w celu przemieszczania sond, albo są ręcznie zakładane i zdejmowane. Wadą sposobu mocowania łapy do wybranego miejsca na korpusie wrzeciennika jest niekontrolowane przemieszczanie się tego miejsca względem obrabianego przedmiotu, a więc również przemieszczanie łapy wraz z sondą, wskutek odkształceń cieplnych. Powoduje to błędy orientacji krawędzi skrawającej narzędzia w stosunku do układu współrzędnych a to ma podstawowe znaczenie dla dokładności obróbki sterowanej numerycznie.

Jak pokazano na rysunku 5, nowo zaprojektowaną (zgłoszoną do opatentowania) łapę ustala się na powierzchni walcowej, której oś jest, w czasie obróbki, osią obrotu wrzeciona wraz z przedmiotem. Mocowanie do uchwytu obrabianego przedmiotu jest realizowane za pomocą magnesów trwałych lub elektromagnesów. Łapę wzdłuż osi Z ustala się na powierzchni tylnej uchwytu obróbkowego. Zapewniono również jej jednakowe położenie kątowe względem wrzeciennika. Taki sposób ustalenia łapy sondy pomiarowej pozwala na eliminację niekorzystnego wpływu odkształceń cieplnych obrabiarki na dokładność.



Rys. 5 Łapa mocująca sondę pomiarową bazowana na uchwycie obróbkowym.

Obecnie rozpoczęto wykonanie sondy i łapy mocującej oraz przygotowania do przeprowadzenia badań.

## LITERATURA

- [1] CIRP 34/1/1985 K.Jemielniak, M. Szafarczyk, J. Zawistowski: *Difficulties in tool life predicting when turning with variable cutting parameters*; Annals of the CIRP 34/1/1985, p.113
- [2] Krzysztof Jemielniak: *Detection of Cutting Edge Breakage in Turning*, Annals of the CIRP, 41/1/1992 p.91
- [3] Jan Kosmol: *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*; WNT, Warszawa 2000
- [4] Krzysztof Jemielniak: *Diagnostyka stanu narzędzi w ASO*, Mechanik nr 4/1988
- [5] David Coleman, Fred Waters: *Fundamentals of touch trigger probing*; Touch Tigger Press 1997
- [6] Maciej Szafarczyk - materiały niepublikowane
- [7] Materiały firmy Renishaw: *Probing systems for CNC Machine tools*
- [8] Materiały firmy Mitutoyo