

prof. dr inż. Maciej Szafarczyk
mgr inż. Jarosław Chrzanowski
mgr inż. Maciej Winiarski
Instytut Technologii Mechanicznej
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 na wyeliminowanie błędów pomiaru pojawiających się przy wykorzystaniu tradycyjnej sondy (dotykowej) 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 working piece. The new method was designed and applied in constructed device (touch probe) 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 probes which are currently used for such applications.

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 diagnozowany, a do usunięcia zaistniałej niezdatności narzędzia należy stosować automatyczny nadzór. O ile urządzenia do wymiany narzędzi są już szeroko dostępne to automatyczna diagnostyka stanu narzędzia wciąż stanowi problem, 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 stepieniem, 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 przebieg zużycia ostrza zależy nie tylko od bieżących, ale i od poprzednich parametrów, przewidywanie nie może być w związku z tym oparte na teoretycznym sumowaniu przyrostów zużycia.

3. Katastroficzne stępienie ostrza (KSO), polegające na gwałtownym przyroście zużycia, wykruszeniu lub wyłamaniu znacznych jego fragmentów, może wystąpić nie tylko na końcu okresu trwałości, lecz także niespodziewanie (nawet w początkowym okresie jego pracy). Niebezpieczeństwo to jest szczególnie duże przy trudnych warunkach skrawania (obróbka przerywana, powierzchnie surowe, materiały trudnoobrabialne).

Cała trudność polega na konieczności oceny stanu narzędzia podczas jego pracy.

Po pierwsze ostrze znajdujące się w strefie skrawania jest niedostępne do bezpośredniej obserwacji i kontroli. Po drugie zużywanie się narzędzia może przybierać różne postacie. Wszystko to powoduje, 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 zadawalającego systemu diagnozowania i nadzorowania narzędzi skrawających.

Dla celów bezobsługowej pracy systemu obróbkowego niezbędne są następujące etapy automatycznego nadzoru narzędzia .

1. diagnoza stanu całkowitego zużycia (niezdatości do dalszego użytkowania), czyli diagnoza stanu tzw. katastroficznego zużycia ostrza,
2. diagnoza stanu zużycia umożliwiająca ocenę reszty okresu trwałości czyli diagnoza stanu tzw. naturalnego zużycia ostrza .

W pierwszym przypadku układ nadzorujący 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 na nowe.

Rozróżnienie stanu katastroficznego zużycia 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 zdiagnozowaniem takiego stanu. Dla zużycia naturalnego natychmiastowa reakcja nie jest już tak istotna. W związku z tym metody diagnozowania obu stanów zużycia będą się różniły.

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 spowodowane zużyciem ostrza czyli są oparte na pomiarach skutków zużycia.

Metody bezpośrednie są oparte na wskaźnikach związanych 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 technicznie realizacja, ale wyniki są obarczone niepewnością wynikającą z nie do końca rozpoznanych zakłóceń

1.1.1. Metody pośrednie.

Metody pośrednie , chociaż bardzo niepewne i zawodne, 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 odpowiedniej strategii pozwalającej na wnioskowanie o stanie narzędzia na podstawie dokonanego pomiaru.

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

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

1.1.2. Metody bezpośrednie

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

- dokładność oraz powtarzalność pomiaru rzędu $1\mu\text{m}$,
- możliwość orientacji narzędzia w przestrzeni roboczej obrabiarki,
- elastyczność zastosowania układu (pomiar różnych rodzajów narzędzi),
- brak ograniczeń obróbkowych obrabiarki (po zainstalowaniu układu),
- duża szybkość działania (pomiar narzędzia i obliczenie korekcji nie wydłuża w znaczący sposób cyklu obróbki przedmiotu),
- mały koszt wykonania i zainstalowania układu na obrabiarence,
- duża odporność na zakłócenia i uszkodzenia mechaniczne powstałe podczas obróbki.

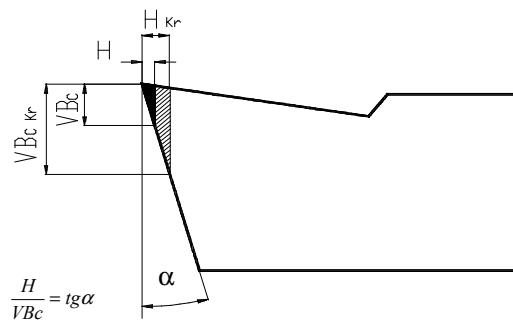
Metody bezpośredniej identyfikacji stanu ostrza można podzielić wg sposobów pomiaru na:

1. metody optyczne - oparte na analizie obrazu powierzchni ostrza
2. metody dotykowe - najczęściej sondy dotykowe
 - pomiar położenia ostrza czujnikiem dotknięcia
 - pomiar zużycia narzędzia czujnikiem liniowym o małym zakresie
3. metody indukcyjne - wykorzystują bezdotykowe (indukcyjne) metody pomiaru
4. metody elektrooporowe - ocena pola starcia powierzchni przyłożenia
5. metody radiometryczne - oparte na pomiarze promieniowania (ocena ubytku masy ostrza)

2. POMIAR ZUŻYCIA OSTRZA NOŻA TOKARSKIEGO

2.1. Idea pomiaru zużycia

Zasadnicze znaczenie dla dokładności wymiarowo-kształtowej prowadzonej obróbki oraz poprawności sterowania obrabiarki CNC ma zużycie ostrza rozumiane jako cofnięcie krawędzi skrawającej w rejonie naroża i jest ono bezpośrednio zależne od szerokości starcia VB_c .



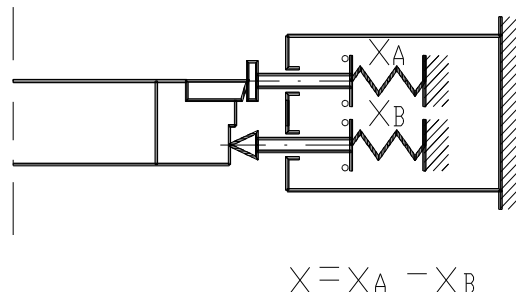
Rys.1. Zależność pomiędzy VB_c a cofnięciem krawędzi skrawającej

Dla typowych wartości krytycznego współczynnika $VB_{CKr}=1.5$ mm i kąta $\alpha=6^\circ$ graniczne cofnięcie krawędzi skrawania H_{Kr} wyniesie 0.15 mm. Warunkuje to dokładność pomiarów cofnięcia krawędzi skrawającej (Wpływ cofnięcia krawędzi skrawającej na dokładność toczonej 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 było szeroko stosowaną metodą diagnostyki stanu ostrza, pozwalało również na określenie wielkości cofnięcia krawędzi skrawającej, a tym samym określenie współczynników korekcyjnych w programie sterującym obrabiarki NC.

2.2. Czujnik pomiaru zużycia narzędzia.

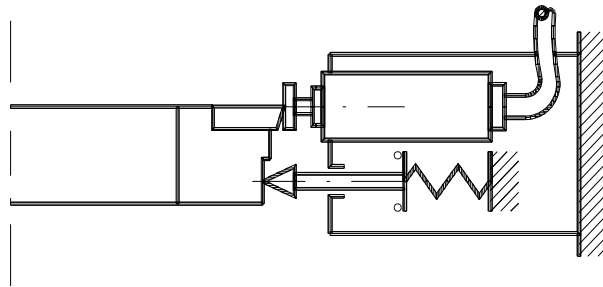
Pomiar zużycia wymiarowego narzędzi odbywał się w oparciu o wzór użytkowy prof. M. Szafarczyka i dr A. Winiarskiego. Urządzenie według wzoru użytkowego składa się z dwóch czujników dotykowych o różnych końcówkach pomiarowych: ostrej i płaskiej (rys. 2.). Czujnik z ostrą końcówką służy do zorientowania narzędzia w przestrzeni roboczej obrabiarki, a czujnik z końcówką płaską pozwala na pomiar wartości zużycia wymiarowego ostrza (względem powierzchni bazowej narzędzia). Taki sposób pomiaru umożliwia wyeliminowanie błędów pomiaru zużycia pojawiających się przy wykorzystaniu tradycyjnej sondy (dotykowej) narzędziowej.



Rys. 2. Sonda narzędziowa z dwoma czujnikami dotknięcia

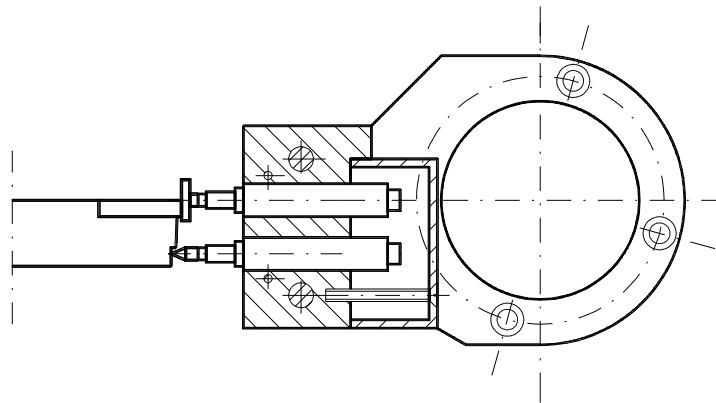
Inna koncepcja tej samej sondy narzędziowej zakłada zainstalowanie w niej czujnika dotknięcia i czujnika liniowego o małym zakresie pomiarowym (rys.3.). Czujnik dotknięcia

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 liniowym.

Urządzenie do pomiaru zużycia (rys. 4) zostało zainstalowane na korpusie konika tokarki 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 dwuczujnikową

2.3. Program umożliwiający pomiar

Poniżej przedstawiony jest program dla układu sterowania PRONUM umożliwiający pomiar sondą dwuczujnikową.

(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

Po zapozycjonowaniu wstępnym narzędzia nad sondą należało wybrać program pomiaru. Problemem było obsłużenie dwóch sond jednocześnie, w związku z tym wstawiono przełącznik pomiędzy sondami. Po najeździe powierzchnią bazową następowało oczekiwanie programu na przełączenie drugiej sondy i wciśnięcie przycisku start tokarki. Po starcie następował najazd krawędzią skrawającą na sondę z końcówką ostrą. Po każdym z najazdów na czujniki program zapisywał współrzędną „X” do pliku oraz po przez realizację funkcji odejmowania podawał wartość różnicy pomiędzy powierzchnią bazową a krawędzią skrawającą. W ten sposób na pomiar nie przenosiły się błędy układu pomiarowego.

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

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

Ilość pomiarów zależała od przyjętej powtarzalności ustawionej w programie.

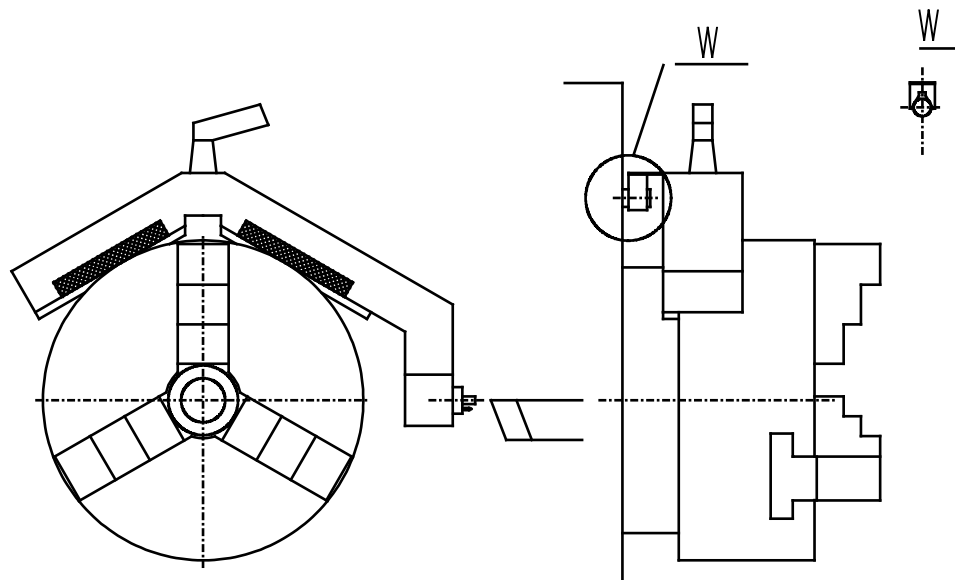
Aby można było analizować wyniki pomiaru, zużycia płytki układ sterowania połączono z komputerem za pomocą interfejsu szeregowego RS-232. Przesłanie danych z układu sterowania pozwoliło na obróbkę tych wyników dalej poprzez wczytywanie ich do arkusza kalkulacyjnego Excel.

2.4 Wnioski z przeprowadzonych badań.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że sonda dwuczujnikowa nadaje się do zorientowania narzędzia w przestrzeni obróbkowej obrabiarki oraz pomiaru zużycia krawędzi skrawającej noża tokarskiego. To drugie zastosowanie jest bardzo istotne ze względu na utrzymywanie zadanej dokładności przedmiotu obrabianego. Badania przeprowadzone z sondą dwuczujnikową były bardzo obiecujące i skłoniły do dalszych prac zarówno nad samą sondą jak i sposobem mocowania jej na obrabiarce. 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, w skutek odkształceń cieplnych. Powoduje to błędy ustawiania krawędzi skrawającej narzędzia w stosunku do przedmiotu (jego baz) a to ma podstawowe znaczenie dla dokładności obróbki sterowanej numerycznie.

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



Rys. 5 Łapa mocująca sondę pomiarową na uchwycie obróbkowym.

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

LITERATURA

- [1] Jan Kosmol: *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*
- [2] Krzysztof Jemielniak: *Diagnostyka stanu narzędzi w ASO*, Mechanik nr 4/1988
- [4] David Coleman, Fred Waters: *Fundamentals of touch trigger probing*; Touch Tigger Press 1997
- [5] Maciej Szafarczyk - materiały niepublikowane
- [6] Krzysztof Jemielniak: *Obróbka skrawaniem* - materiały niepublikowane
- [7] Maciej Winiarski - materiały niepublikowane
- [8] Materiały firmy Renishaw: *Probing systems for CNC Machine tools*
- [9] Materiały firmy Mitutoyo