

mgr inż. Radosław Gościński  
Instytut Technologii Maszyn, Politechnika Warszawska

## DIAGNOSTYKA STANU OSTRZA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH NA PRZYKŁADZIE TOKAREK NC

*W artykule przedstawiono rolę sposobów i urządzeń służących do oceny stanu zużycia ostrza narzędzi skrawających stosowanych na tokarkach NC. Ukazano obecne sposoby oceny stanu narzędzi. Przedstawiono koncepcję nowej sondy bazującej na mostkach tensometrycznych, która umożliwia podczas jednego cyklu pomiarowego określenie współrzędnych i bezpośredni pomiar zużycia ostrza noża tokarskiego na tokarkach NC przy czterech kierunkach ruchu narzędzia.*

### TOOL WEAR MONITORING ON NC LATHES

*The main role of tool monitoring in NC machine tools. The systems used now in industry and their drawbacks. The original concept of a tool probe using one full strain gauge bridge for orientation of tool edges in four directions: +X, -X, +Z, -Z and for direct tool wear measurement. The calculation and design of patented tool probe for lathes.*

### 1. WSTĘP

Spośród wszystkich elementów systemu biorących udział w obróbce skrawaniem ostrza narzędzi zużywają się najszybciej. W związku z tym istnieje konieczność wymiany zużytych ostrzy na ostrza nowe. Proces zużywania się ostrza przebiega już od chwili jego zetknięcia się z materiałem obrabianym. Okres trwałości ostrzy współczesnych płytek skrawających wynosi od kilku do kilkunastu minut. Zużyte ostrze narzędzia ujemnie oddziałuje na przebieg procesu obróbki i na jakość przedmiotu obrabianego. Informacja o bieżącym stanie zużycia ostrza skrawającego stanowi więc istotne zagadnienie w technologii obróbki mechanicznej. Można wyróżnić dwa typy utraty właściwości skrawnych ostrza: zużycie naturalne oraz zużycie katastroficzne czyli KSO.

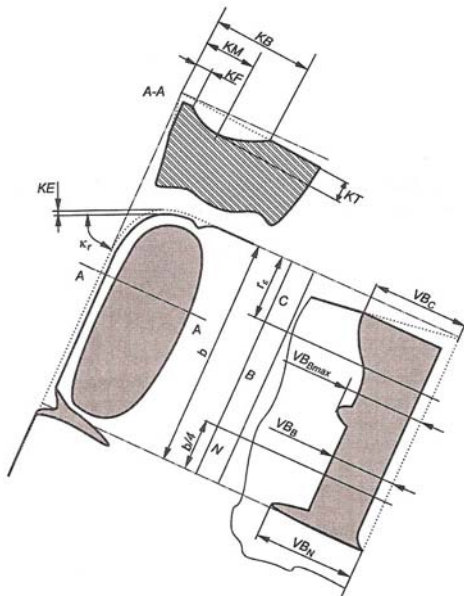
Zużycie naturalne to proces, który przebiega stopniowo na skutek mechanicznego, chemicznego i termicznego oddziaływania procesu skrawania. W przypadku tego typu zużycia wymiana ostrza na nowe powinna nastąpić w chwili, gdy zostanie osiągnięty założony poziom wskaźnika zużycia przyjęty jako kryterium stopienia. 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. Oznacza to, że stosowanie automatyzacji obróbki wymaga automatycznego wykrywania i odpowiedniego reagowania na KSO. Przebieg i zakres takiego automatycznego nadzoru zależy między innymi od rodzaju obróbki. Na rynku istnieje szereg układów automatycznego nadzoru nad KSO.

Zużycie naturalne jest trudniejsze do pomiaru ze względu na ciągły charakter przebiegu i tolerancji wielkości wskaźnika wybranej jako kryterium stopienia, 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 [1], lecz nie ma dotychczas rozwiązań zaakceptowanych i stosowanych przez przemysł.

## 2. WSKAŹNIKI ZUŻYCIA OSTRZA

Do oceny zużycia ostrza służą wskaźniki zużycia, przy czym mogą być one bezpośrednie lub pośrednie. Pierwsze z nich to geometryczne miary zużycia ostrza przedstawione na rys. 1.



Typowe wielkości geometryczne zużycia:

a) na powierzchni natarcia:

KE - skrócenie ostrza,

KB - szerokość żłobka,

KT - głębokość żłobka,

KF - położenie żłobka,

KM - położenie środka żłobka

b) na pow. przyłożenia:

$VB_C$  - szerokość starcia (naroże)

$VB_B$  - szerokość starcia (strefa środkowa)

$VB_N$  - szerokość wrębu

Rys. 1. Wybrane bezpośrednie wskaźniki zużycia ostrza [2]

Przy toczeniu bardzo istotnym jest wskaźnik KE - skrócenie ostrza. Wskaźnik ten jest miarą zużycia promieniowego i ma w związku z tym duże znaczenie w toczeniu dokładnym.

Bezpośrednie wskaźniki zużycia ostrza definiuje Polska Norma – PN-ISO 3685.

## 3. METODY OCENY STANU OSTRZA

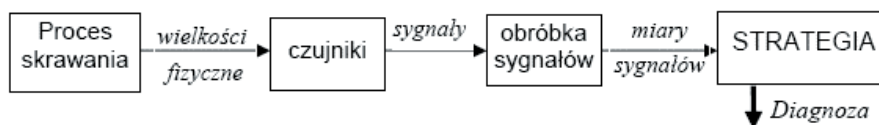
Wszystkie spotykane metody identyfikacji (diagnozowania) stanu ostrza, w zależności od pomiaru rodzaju wskaźników zużycia ostrza, można podzielić na :

a) metody pośrednie

b) metody bezpośrednie.

### 3.1. Metody pośrednie

Wykorzystują one wtórne zjawiska spowodowane zużyciem ostrza czyli są oparte na pomiarach skutków zużycia. Cechuje je prostsza technicznie realizacja, niż w przypadku metod bezpośrednich, ale wyniki są obarczone niepewnością wynikającą z nie do końca rozpoznanych zjawisk zachodzących w strefie skrawania.

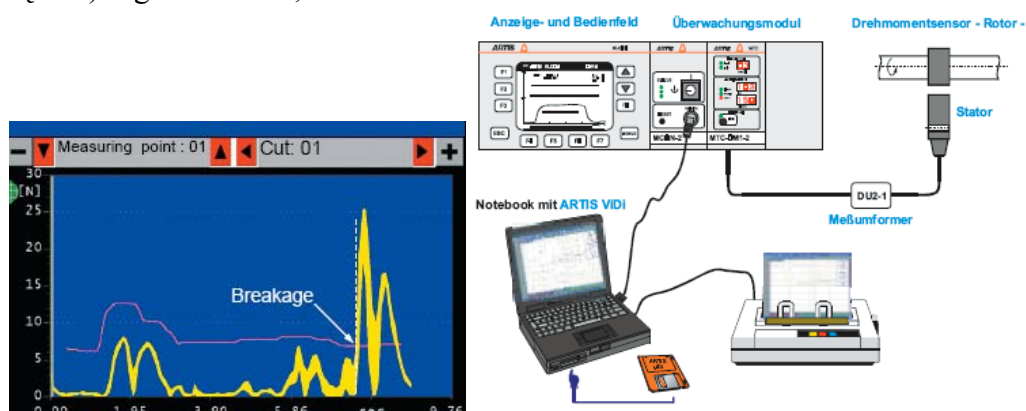


Rys. 2. Przebieg operacji podczas pośredniego monitorowania stanu ostrza

Metody pośrednie są najczęściej stosowane do wykrywania KSO i w tym przypadku głównie opierają się na pomiarze i ocenie przebiegu sił skrawania. Nagła zmiana kształtu ostrza powoduje nagłą zmianę sił skrawania, mierzoną bądź bezpośrednio, bądź poprzez moment na wrzecionie lub poprzez prąd silnika napędowego. W przypadku toczenia zmierzony przebieg sił wiąże się w określony sposób z obrotami obrabianego przedmiotu [3]. Przypadku wykrycia KSO obróbka powinna być natychmiast zatrzymana. Kontynuacja obróbki, po zamianie narzędzia, wymaga sprawdzenia czy fragmenty zniszczonego ostrza nie pozostały wbite w materiał przedmiotu.

Do oceny zużycia ostrza metodą pośrednią najczęściej wykorzystywany jest pomiar takich wielkości fizycznych jak:

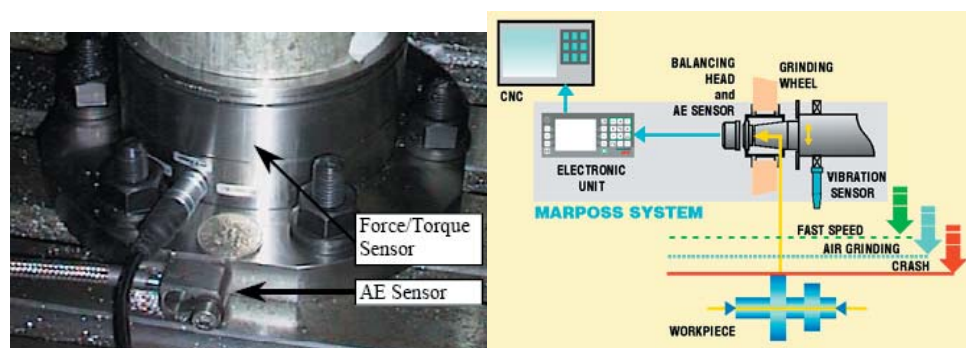
3.1.1. Siły skrawania i wielkości pochodne (moment, prąd silnika napędowego, odkształcenia narzędzia) drgania i hałas,



Rys. 3. Przykładowy przebieg sił skrawania z detekcją KSO [4] oraz monitorowanie stanu ostrza z wykorzystaniem czujnika momentu obrotowego [5]

3.1.2. Emisja akustyczna (AE)

System bazuje na pomiarach emisji akustycznej powstającej w strefie kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym i pomiarach sił skrawania, na podstawie danych określone są miary sygnałów odpowiadające zużyciu się narzędzia. W Polsce w zakresie pomiarów AE aktywnie działa zespół prowadzony pod kierunkiem prof. K. Jemielniaka w Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Warszawskiej.



Rys. 4. Czujnik siły i czujnik emisji akustycznej (AE) zamontowane na obrabiarce [6], oraz system monitorowania firmy Marposs [7]

### 3.1.3. Moc na wrzecionie i monitorowanie przepływu cieczy chłodzącej

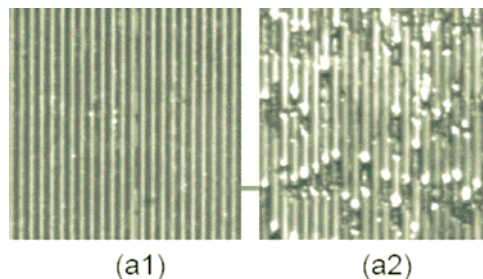
Układ monitorowania nadzorując moc „uczy się” i ustala limity po przekroczeniu których narzędzie uznane jest za zużyte lub uszkodzone. Akcja jaka jest podejmowana przez system może być różnorodna, począwszy od zatrzymania obróbki do sterowania adaptacyjnego posuwem.



Rys. 5. Monitorowanie mocy na wrzecionie [8]

### 3.1.4. Zmiana chropowatości powierzchni lub wymiarów geometrycznych obrabianego przedmiotu

Może to być przeprowadzane np. z wykorzystaniem kamery, choć systemy takie są dopiero w fazie testów laboratoryjnych, na rys. 6 przedstawiono obrazy powierzchni przy obróbce przeprowadzanej ostrym i zużytym narzędziem. Jak widać powierzchnia obrabiana ostrzem zużytym jest znacznie gorsza.



Rys. 6. Obraz powierzchni obrabianej nożem ostrym (a1) i nożem zużytym (a2)[9]

## 3.2. Metody bezpośrednie

Rzeczony rozwój bezpośrednich metod identyfikacji ostrza przypada na lata 70. i początek 80. Przerzucenie zainteresowania badaczy w latach 90. na metody pośrednie, związany był głównie z rozwojem elektroniki ale również z tym, że metody bezpośrednie miały na ogół małą praktyczną użyteczność dla automatycznego monitorowania. Część z nich nigdy nie wyszła poza badania laboratoryjne (metody elektrooporowe czy radiometryczne). Metody bezdotykowe (optyczne, indukcyjne) są w bardzo szczególnych przypadkach stosowane ale raczej do wykrycia skutków katastroficznego stępienia ostrza.

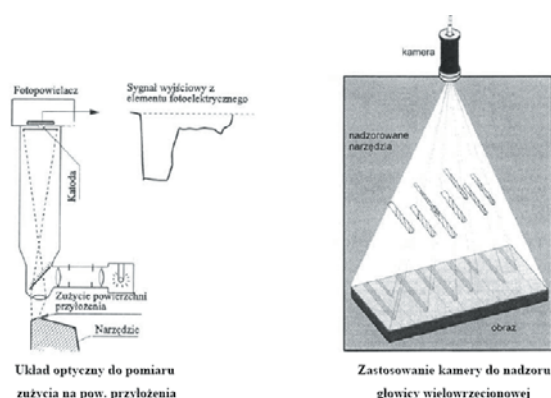
Metody bezpośrednie oparte są na wskaźnikach związanych ze zmianą geometrii ostrza, czyli na pomiarze cech geometrycznych. W wyniku pomiaru otrzymujemy informację o rzeczywistym stanie ostrza (zużyciu) nie obciążoną błędami związanymi z powiązaniem wielkości fizycznych w matematycznym modelu jak ma to miejsce przy pomiarach pośrednich. Metody bezpośrednie są jednak trudniejsze do technicznej realizacji.

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

- a) metody optyczne – na przykład oparte na analizie obrazu powierzchni ostrza.
- b) metody indukcyjne - wykorzystują bezdotykowe (indukcyjne) metody pomiaru
- c) pomiar KE jako zmiana odległości między punktem odniesienia na narzędziu a powierzchnią obrobioną
- d) metody elektrooporowe - ocena pola starcia powierzchni przyłożenia
- e) metody radiometryczne - oparte na pomiarze promieniowania (ocena ubytku masy ostrza)
- f) metody ultradźwiękowe – „wiązka” ultradźwiękowa wykrywa KSO
- g) metody dotykowe - najczęściej sondy dotykowe
  - pomiar położenia ostrza czujnikiem dotknięcia
  - pomiar zużycia ostrza czujnikiem liniowym o małym zakresie
  - pomiar zużycia ostrza sondą tensometryczną

### 3.2.1. Metody optyczne

Do metod optycznych można zaliczyć metody oparte na analizie obrazu ostrza skrawającego oraz metody wykorzystujące wiązkę lasera. Wprowadzenie automatycznego monitorowania polega na zastosowaniu kamer analogowych, z których obraz podlega późniejszej obróbce cyfrowej lub zastosowaniu nowocześniejszych kamer cyfrowych przesyłających obraz bezpośrednio do komputera systemu monitorującego. Analizując uzyskany obraz system jest w stanie ocenić zużycie, stwierdzić wykruszenie czy też wyłamanie ostrza. Metoda ta jest jednak trudna do realizacji w przemyśle ze względu na warunki panujące w przestrzeni obróbkowej, które w znaczny sposób ograniczają zastosowanie kamer. Obraz narzędzia jest wprawdzie rejestrowany w czasie przerwy w obróbce, ale na ostrzu mogą pozostać cząstki materiału obrabianego, krople chłodziwa lub innego rodzaju zanieczyszczenia, które zniekształcają rejestrowany obraz i przez to są przyczyną błędnej decyzji systemu monitorującego.

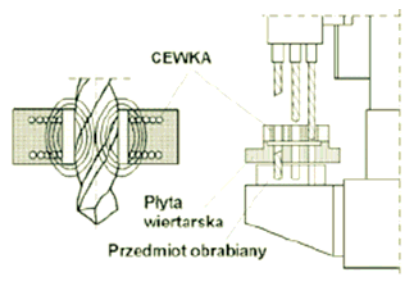


Rys. 7. Optyczne metody monitorowania stanu narzędzi

Wśród metod zaliczanych do optycznych zastosowanie przemysłowe znalazły tylko układy budowane w oparciu o laser. W tym przypadku nie stosuje się analizy obrazu ostrza, a monitorowane jest przerwanie strumienia świetlnego. Czujniki laserowe wykorzystywane są głównie do wykrywania KSO oraz do ustawiania narzędzi ( np. pomiaru długości i średnicy) [10].

### 3.2.2. Metody indukcyjne

Metody te praktyczne zastosowanie znajdują tylko w specjalnych przypadkach, jak np. wykrywanie złamania narzędzi trzpieniowych.



Rys. 8. Układ do wykrywania złamania wiertel [4]

### 3.2.3. Metody elektrooporowe

Bazują na zmianie oporności. Może to być związane ze zmianą powierzchni styku między ostrzem a PO wraz z wzrostem zużycia na powierzchni przyłożenia. Stosowano również oporniki nałożone na powierzchnie przyłożenia. Wymiary opornika zmniejszają się wraz ze wzrostem zużycia ostrza. Niestety zmiana oporności zależy także od innych, zmieniających się czynników co utrudnia interpretację wyników.

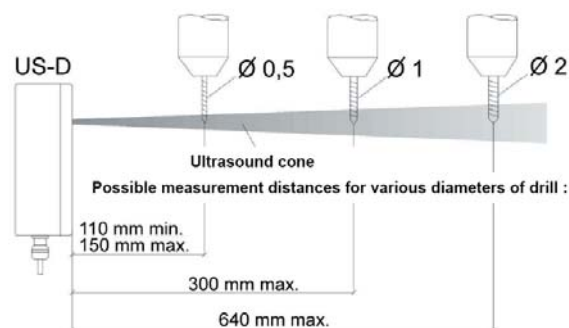
### 3.2.4. Metody radiometryczne

Bazują na pomiarze promieniowania. W literaturze opisane są dwa rozwiązania. W pierwszym ostrze narzędzia aktywowane jest neutronami lub naładowanymi cząsteczkami. W trakcie skrawania wióry unoszą materiał ostrza. Pomiar ich radioaktywności wskazuje wielkość ubytku tego materiału.

W drugim rozwiązaniu pokrywa się cząsteczkami radioaktywnymi strefy zużywania się ostrza. Mierzony jest spadek radioaktywności ostrza wyznaczający jego zużycie. Istotnym ograniczeniem stosowania tych metod jest jej szkodliwość dla człowieka i środowiska.

### 3.2.5. Metody ultradźwiękowe

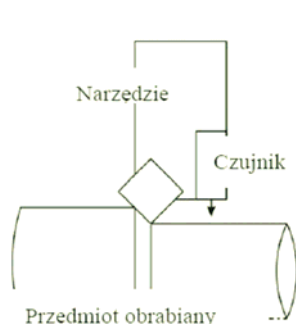
Zasada działania systemu zbliżona jest do działania systemu optycznego wykorzystującego wiązkę lasera, tylko w tym przypadku korzystamy z wiązki ultradźwięków do wykrywania KSO.



Rys. 9. Ultradźwiękowe monitorowanie stanu ostrza [4]

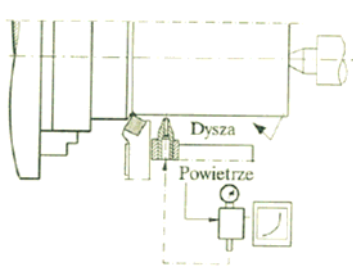
### 3.2.6. Pomiar szczeliny między narzędziem a powierzchnią obrabianą

W tej metodzie pomiar zużycia ostrza bazuje na zmianie odległości między obrabianą powierzchnią a wybranym punktem na oprawce narzędzia skrawającego lub głowicy narzędziowej.



Rys. 10. Pomiar szczeliny między narzędziem a powierzchnią obrabianą

Jako czujnik mierzący odległość, w badaniach laboratoryjnych, wykorzystywane były urządzenia mechaniczne, indukcyjne, pneumatyczne, ultradźwiękowe, optyczne. W latach 80 i na początku 90 ubiegłego wieku kilku niemieckich producentów obrabiarek oferowało swoje maszyny z pneumatycznymi czujnikami pomiaru zużycia ostrza, obiecując potencjalne korzyści z ich stosowania. Niestety na wynik pomiaru wpływały zmiany temperatury, wilgotności i ciśnienia podawanego powietrza, jak również jakość obrabianej powierzchni. Obecnie nie natrafiono w literaturze na artykuły pozwalające na wnioskowanie o przemysłowym zastosowaniu tego typu urządzeń.

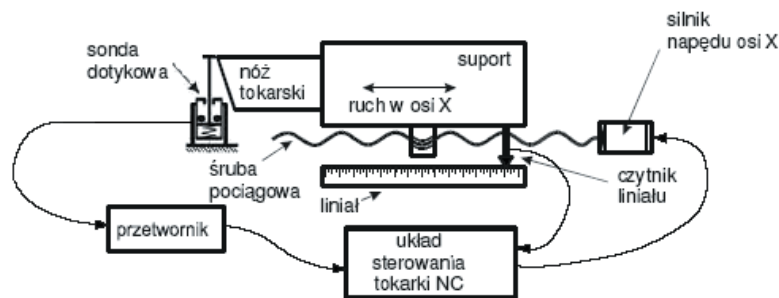


Rys. 11. Pneumatyczny pomiar zużycia ostrza

### 3.2.7. Metody dotykowe

Producenci obrabiarek proponują, aby zmianę wartości współrzędnej w stosunku do wartości współrzędnej uzyskanej przy dotykaniu ostrzem narzędzia ostrego traktować jako miarę naturalnego zużycia, wyrażoną przez KE. Propozycja ta spowodowała to, że korekty wpisane do układów sterowania NC po ponownym określaniu współrzędnych ostrza nazywane są na ogół „zużyciem ostrza” [11]. Nie uwzględnia się jednak przy takim podejściu, że na zmianę wartości współrzędnej wpływają również inne czynniki, poza skróceniem ostrza. Nie uwzględnia się na przykład, że znacznie większe zmiany wartości współrzędnych mogą powodować odkształcenia termiczne. Oczywiście ponowne określanie współrzędnych wierzchołka ostrza jest potrzebne i uwzględni ono również wpływ skrócenia ostrza na wartości współrzędnych jego wierzchołka, a więc skoryguje również bezpośredni wpływ naturalnego zużycia na wymiary przedmiotu obrabianego. Nie można jednak zmiany współrzędnych traktować jako KE, gdyż skrócenie ostrza jest tylko jednym ze składników tej zmiany.

Czujnik typowej sondy narzędziowej jest czujnikiem dotykowym elektrostatycznym. Przez przetwornik połączony jest on do wejścia cyfrowego układu sterowania obrabiarki. Gdy narzędzie dotknie do płytki pomiarowej czujnika, następuje rozwarcie jego zestyków i układ sterowania otrzymuje sygnał, aby zapamiętać aktualną współrzędną w kierunku w którym odbywa się ruch, odczytaną z układu pomiarowego obrabiarki. Duży wpływ na wynik takiego pomiaru mają: dokładność układu pomiarowego obrabiarki, dokładność układu geometryczno-ruchowego obrabiarki, odkształcenia elementów mechanicznych pochodzące od naprężeń cieplnych. Jak wykazały badania wykonane w ramach pracy doktorskiej dr. J. Chrzanowskiego [13], standardowa sonda narzędziowa nadaje się do określenia współrzędnych wierzchołka ostrza w układzie obrabiarki, natomiast nie nadaje się do określenia wartości naturalnego zużycia ostrza. Różnice pomiarów tego samego ostrego narzędzia dokonywane standardową sondą narzędziową, w miarę nagrzewania się obrabiarki są tak duże, że wykluczają pomiar naturalnego zużycia ostrza. Jedynie w przypadku wyraźnego skrócenia ostrza (złamanie, spalenie) – wykrywane jest KSO, ale KSO powinno być wykrywane w czasie skrawania natychmiast gdy się pojawia.



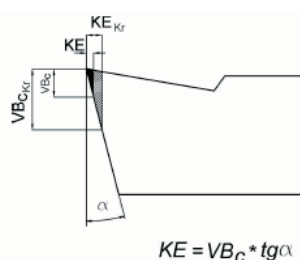
Rys. 12. Zasada działania sondy narzędziowej dla tokarek NC [12]

### A. Koncepcja pomiaru zużycia ostrza sondą narzędziową

Prawidłowe określenie wymiaru KE skrócenia ostrza w wyniku naturalnego zużycia, szczególnie przy toczeniu wykańczającym, staje się istotnym czynnikiem dokładności wykonania PO. Cofnięcie krawędzi skrawającej, a tym samym określenie, wynikających z niego wartości korekcyjnych, które trzeba wprowadzić do programu NC obrabiarki, jest w przybliżeniu związane z wielkością szerokości starcia na powierzchni przyłożenia w okolicach wierzchołka  $VB_C$ . Jest to o tyle istotne, że określanie wartości zużycia ostrza poprzez pomiar wskaźnika zużycia  $VB_C$ , np. na mikroskopie warsztatowym, jest szeroko stosowaną metodą diagnostyki stanu ostrza. Dużo korzystniejszy byłby pomiar na mikroskopie wartości skrócenia wierzchołka KE ale jest on trudny do realizacji w warunkach produkcyjnych. Wymaga bardzo dokładnego przestrzennego ustawienia w płytce skrawającej na mikroskopie. Jej pozycja powinna dokładnie odpowiadać tej na obrabiarce. Użytkownicy są więc przyzwyczajeni do operowania  $VB_C$  jako wskaźnikiem zużycia ostrza. Jednakże wykonanie pomiaru na mikroskopie wymaga wyjęcia narzędzia (płytki skrawającej) z obrabiarki, a sam pomiar jest procedurą zbyt długotrwałą jak na warunki produkcyjne.

W celu wyeliminowania 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 [14]). Zasadę pomiaru ukazują rys. 13.

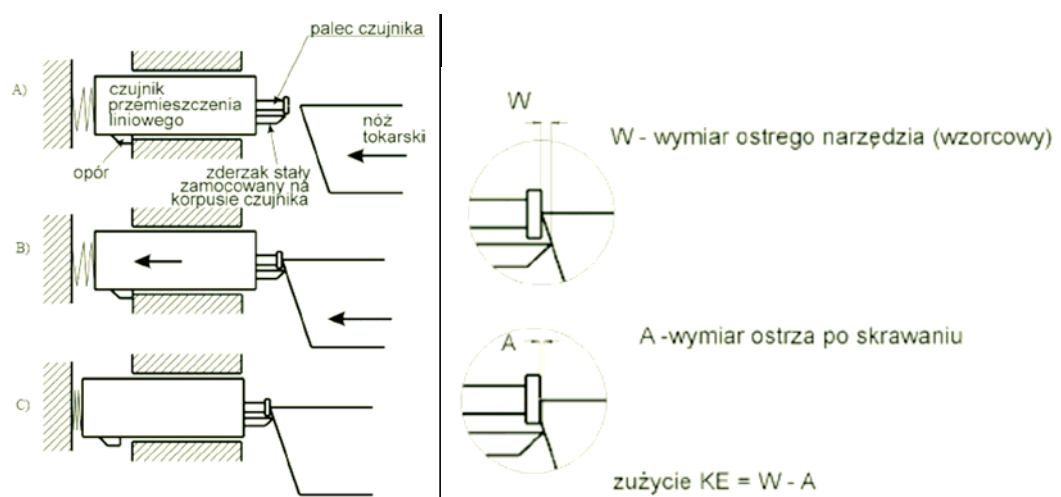
Najlepiej było by, aby pomiar KE był wykonywany w odniesieniu do bazy umieszczonej na tej samej co wierzchołek płytkę skrawającej. Do pomiaru można wykorzystać istniejące czujniki obrabiarki stosowane do pomiaru współrzędnych, lub dodatkowe czujniki wbudowane w sondę narzędziową. Oceniono, że zakres 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 [15].



Rys. 13. Zasada pomiaru KE

### B. Sonda do bezpośredniego pomiaru zużycia z czujnikiem przemieszczenia liniowego

Idea bezpośredniego pomiaru zużycia ostrza sondą z czujnikiem przemieszczenia liniowego (LVDT) przedstawiona jest na rys. 14. Sonda została opracowana na Politechnice Warszawskiej w ramach doktoratu dr. J. Chrzanowskiego. Czujnik przemieszczenia liniowego jest osadzony suwliwie w prowadnicach. Do korpusu czujnika przytwierdzony jest zderzak stały zamocowany na korpusie czujnika. Ruchoma końcówka czujnika jest końcówką pomiarową.



Rys. 14. Zasada działania sondy do pomiaru zużycia z czujnikiem LVDT i zasada obliczania zużycia wierzchołka ostrza [13]

Na kolejnych pozycjach rys. 14 (A, B, C) przedstawiono położenie wierzchołka noża tokarskiego w trakcie pomiaru. Na Rys. 14A przedstawiono najazd noża tokarskiego na sondę po uruchomieniu procedury pomiaru. Nóż przemieszczając się z określoną prędkością styka się z końcówką pomiarową a następnie przesuwają ją do momentu zetknięcia noża z ostro

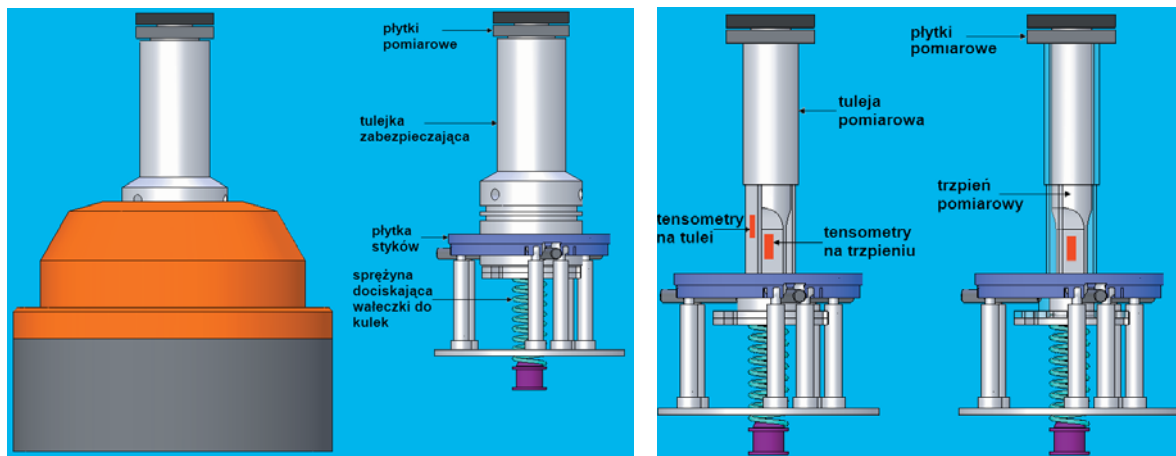
zakończonym zderzakiem. Czujnik można tak wyskalować, że w pewnym momencie, najlepiej tuż przed zrównaniem powierzchni górnej talerzyka pomiarowego końcówki czujnika ze zderzakiem stałym, czujnik wskazuje na przykład wartość „100” (ogólnie - położenie to można wybrać dowolnie). Osiągnięcie tej wartości jest sygnałem dla układu sterowania tokarki i powoduje zapisanie wartości  $X$  położenia narzędzia do rejestru korekcji dla danego numeru narzędzia – określa więc wartości współrzędnych wierzchołka ostrza w układzie współrzędnych obrabiarki. W przypadku ustawiania narzędzi sondą standardową narzędzie w tym momencie zostaje wycofane. W przypadku sondy wielozadaniowej, układ sterowania obrabiarki przemieszcza narzędzie dodatkowo o zadaną wartość (np. 2 mm). Na tej drodze nóż tokarski styka się ze zderzakiem stałym. Końcówka pomiarowa czujnika przestaje się przesuwac, natomiast przemieszcza się cały czujnik w prowadnicach – Rys. 14B. Droga przemieszczenia 2 mm została tak dobrana, aby mieć pewność, że dla wszystkich rodzajów ostrza nastąpi na pewno zetknięcie noża ze zderzakiem stałym i czujnik zostanie przesunięty. Ograniczeniem tej sondy jest pomiar zużycia tylko w jednym kierunku dojazdu ostrza.

### C. Tensometryczna sonda narzędziowa do 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 posiadający płaskie powierzchnie z naklejonym pełnym mostkiem tensometrycznym. Powierzchnie te ustawione są pod kątem  $45^\circ$  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 posiada wybrania, w wyniku których powstały 2 płaskie elementy leżące naprzeciw siebie na obwodzie (ustawione pod kątem  $45^\circ$  w stosunku 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. Takie ustawienie głównych elementów sondy pozwala na pomiar zużycia w czterech kierunkach dojazdu noża (+X, -X, +Z, -Z). Rurka jest dodatkowo osłonięta tulejką zabezpieczającą, która na swym obwodzie, w dolnej części, posiada układ 3 wałeczków tworzących styki elektryczne tak jak w standardowej sondzie. Całość jest od dołu dociskana sprężyną, która oprócz tego, że 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. 15.

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 płytki skrawającej z krawędzią płytki rurki. Pomiar odległości między wierzchołkiem ostrza a bazą jest wówczas zakończony i ruch ostrza powinien zostać przerwany. Wartość sygnału z mostka tensometrycznego umieszczonego na trzpieniu powinna zostać zapamiętana w chwili dotknięcia krawędzi płytki rurki. Różnica między wartością sygnału przy pomiarze ostrego narzędzia i wówczas gdy narzędzie było już

używane jest wartością zużycia ostrza – pKE. Jednobitowy sygnał powodujący zakończenie dosuwania narzędzia do sondy i zapamiętanie pKE, pochodzi z tensometrów naklejonych na rurkę i jest wysyłany do układu pomiarowego przez komparator. Zasada obliczenia wartości zużycia jest identyczna jak w sondzie z czujnikiem LVDT.



Rys. 15. Budowa tensometrycznej sondy narzędziowej do bezpośredniego pomiaru zużycia [16]

## PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono przekrój przez systemy służące do monitorowania stanu ostrza jak i do bezpośredniego pomiaru naturalnego zużycia. Szereg z przedstawionych metod pośrednich jest w fazie testów laboratoryjnych i jak dotąd nie są one stosowane w przemyśle. Systemy te 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] 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.
- [2] K. Jemielniak, *Obróbka skrawaniem*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 2004
- [3] K. Jemielniak, *Automatyczna diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
- [4] [www.nordmann.info](http://www.nordmann.info)
- [5] [www.artis.de](http://www.artis.de)
- [6] Ch. XiaoQi, Z. Hao, D. Wildermuth *In-Process Tool Monitoring through Acoustic Emission Sensing*, SIMTech Technical Report (AT/01/014/AMP)
- [7] Marposs – Sensors for machine tool monitoring – [www.marposs.com](http://www.marposs.com)
- [8] CNC Engineering Inc. *Tool monitoring systems* – [www.cnc1.com](http://www.cnc1.com)

- [9] A. Kassim, *Computer Vision based Tool Wear Monitoring techniques*. National University of Singapore.
- [10] Renishaw NC4 - Non-contact Tool setter – [www.renishaw.com](http://www.renishaw.com)
- [11] Siemens Sinumerik 840D manual 01/2006.
- [12] R. Gościński, *Strain gauge tool probe for NC lathes*, IV International Conference on Machining and Measurement of Sculptured Surfaces, 2006 No A/1/MMSS06.
- [13] J. Chrzanowski, *Pomiar zużycia ostrza noża sondą narzędziową*, Rozprawa doktorska, Warszawa 2004.
- [14] M. Szafarczyk, A. Winiarski, *Sonda narzędziowa*, Zgłoszenie patentowe P.378785 Warszawa, 02.2006 r.
- [15] M. Szafarczyk, J. Chrzanowski, R. Gościński, *Nowoczesne metody monitorowania zużycia ostrzy narzędzi*, Konferencja „Innowacje w budowie i eksploatacji maszyn”, Mach-Tool 2006.
- [16] R. Gościński, *Tensometryczna sonda narzędziowa dla tokarek NC* – Konferencja Automation 2007.