

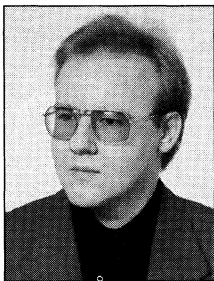
Artur JARKIEWICZ, Bogdan NOWICKI

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
INSTYTUT TECHNOLOGII MASZYN

## Wieloparametrowe monitorowanie procesu szlifowania

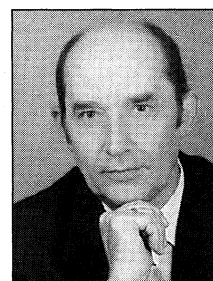
Mgr inż. Artur JARKIEWICZ

– jest asystentem w Zakładzie Obróbek Wykańczających i Erozyjnych Politechniki Warszawskiej. Ukończył Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej w 1993 r. Jego zainteresowania naukowe to obróbka ścierna i erozyjna oraz komputerowe monitorowanie oraz sterowanie procesów obróbkowych. Zajmuje się również tworzeniem oprogramowania do celów naukowo-dydaktycznych.



Prof. dr hab. inż. Bogdan NOWICKI

– ukończył Wydział Lotniczy Politechniki Warszawskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1970 r., doktora habilitowanego nauk technicznych w 1980r. a tytuł profesora w 1995 r. Jest kierownikiem Zakładu Obróbek Wykańczających i Erozyjnych Politechniki Warszawskiej. Jego zainteresowania naukowe obejmują metrologię warstwy wierzchniej oraz obróbki wykańczające. Jest autorem ponad 100 prac z tej tematyki.



### Streszczenie

Szlifowanie jest procesem obróbki, na efekty którego ma wpływ znaczna liczba czynników. Do najważniejszych należą: prędkości obrotowe tarczy ścierniej i przedmiotu, posuw, stan tarczy ścierniej, płyn obróbkowy itp. W przypadku zakładanych wysokich dokładności i chropowatości konieczne są aktywne pomiary średnicy i chropowatości oraz monitorowanie jak największej liczby czynników determinujących proces obróbki. Zbudowane stanowisko i opracowane oprogramowanie umożliwiają aktywne pomiary średnicy, chropowatości, pomiaru sił skrawania i drgań oraz pomiar i sterowanie prędkości obrotowej tarczy ścierniej, przedmiotu obrabianego oraz położenia tarczy ścierniej względem przedmiotu obrabianego.

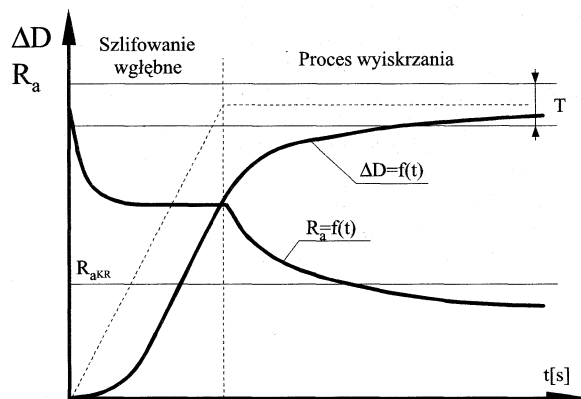
### Abstract

Grinding process is influenced by of many factors. The following ones are the greatest importance: rotational speed of the grinding wheel and of the work-piece feed-rate, grinding wheel design and its actual condition, cutting fluid etc. If this process is aimed at achieving high accuracy and low surface roughness, in-process work-piece diameter and surface roughness measurement are necessary. It is also advisable to monitor as many influencing factors as possible. The developed stand and the elaborated software enable the in-process measurements of work-piece diameter, surface roughness, cutting forces, vibrations. It is also possible to control rotational speed of driving wheel, of the work-piece and of grinding wheel position in relation to the work-piece.

Szlifowanie jest najczęściej stosowaną obróbką wykańczającą funkcjonalnie ważnych elementów, zwłaszcza ze stali hartowanej gdy wymagane są dokładności rzędu od kilku do kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$  i chropowatości  $R_a = 0,2 \div 1,5 \mu\text{m}$ . Przy dokładnościach poniżej  $10 \mu\text{m}$  i chropowatości  $R_a < 0,5 \mu\text{m}$  proces ten powinien być prowadzony szczególnie starannie ze względu na duże prawdopodobieństwo przekroczenia wartości granicznych tych parametrów, szczególnie w przypadku wystąpienia zakłóceń procesu obróbki np. drgań związanych z niewyważeniem tarczy ścierniej, jej stopienia itp. Podczas szlifowania na obrabiarkach, które nie są wyposażone w układy aktywnej kontroli, stosowane jest zwykle przy tych wymaganiach cykliczne przerywanie procesu obróbki, wykonanie pomiarów, kontynuacja obróbki itd. aż do osiągnięcia zadanych dokładności.

Chropowatość elementów maszyn kształtowana jest zwykle w końcowej fazie procesu szlifowania przy wyłączonym posuwie wgłębnym – czyli w tzw. procesie wyskrzania. Proces wyskrzania w wielu przypadkach stanowi znaczną część całkowitego czasu szlifowania i dobór właściwego czasu wyskrzania bez aktywnych pomiarów średnicy i chropowatości powierzchni lub badań w warunkach odpowiadających temu procesowi jest bardzo trudny [4,9].

Przy braku aktywnej kontroli chropowatości, gładkość powierzchni po obróbce jest zwykle wyższa od zakładanej, wynika to



Rys. 1. Zmiana średnicy i chropowatości powierzchni podczas szlifowania

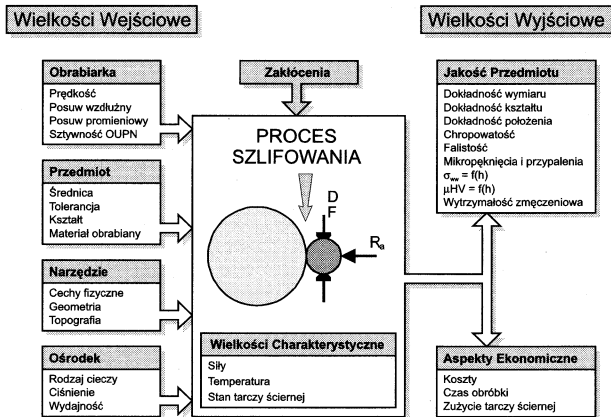
z aspektów psychologicznych; pracownik woli zrobić lepiej niż wyprodukować brak lub poprawiać obrobnony detal.

Wartość rzeczywista średnicy wałka jest w całym procesie obróbki większa od zadanej, wynika to z odkształceń układu OUPN<sup>2</sup> pod działaniem sił skrawania. Wartość sił skrawania jest zmienna podczas obróbki i zależy od właściwości materiału, cech ściernicy, stopnia jej stępienia oraz szeregu innych czynników. Z tego względu najpewniejszym sposobem zapewnienia wymaganej dokładności jest aktywny pomiar średnicy obrabianego przedmiotu. Zastosowanie dodatkowo układu pomiaru wzajemnego położenia wrzeciona tarczy ścierniej i przedmiotu obrabianego umożliwia, poza identyfikacją średnicy przedmiotu, ocenę sił skrawania oraz zużycia tarczy ścierniej. Typowe zmiany średnicy i chropowatości powierzchni podczas procesu szlifowania pokazano na rys. 1.

Chropowatość jest funkcją dużej liczby czynników występujących w procesie obróbki (rys. 2). Do najistotniejszych spośród nich należy zaliczyć:

- cechy tarczy ścierniej (wielkość ziarna, twardość i strukturę oraz stępienie i niewyważenie tarczy),
- parametry kinematyczne szlifowania (prędkość obrotowa tarczy ścierniej i przedmiotu, głębokość skrawania oraz posuw),
- właściwości materiału obrabianego (struktura, twardość, plastyczność),
- cechy obrabiarki (sztywność, dokładność, cechy dynamiczne itp.).

Prognozowanie parametrów chropowatości w oparciu o modele teoretyczne bądź badania podstawowe jest obarczone zwykle dużą niedokładnością, z tego względu konieczne jest w wielu przypadkach prowadzenie badań aplikacyjnych, w celu doboru optymalnych warunków obróbki umożliwiających osiągnięcie założonych celów.



Rys. 2. Czynniki występujące w procesie obróbki szlifowania

Badania procesu szlifowania powinny być prowadzone przy monitorowaniu możliwie dużej liczby parametrów opisujących warunki obróbki. Do najważniejszych spośród nich należy zaliczyć [4, 5, 12]:

- parametry kinematyczne ( $v_c$ ,  $v_f$ ,  $a$ ),
- położenie tarczy ścierniej względem przedmiotu obrabianego,
- stan i średnicę tarczy ścierniej,
- drgania układu OUPN,
- emisję akustyczną ze strefy obróbki,
- siły skrawania,
- temperaturę w obszarze szlifowania,
- średnicę i makrogeometrię przedmiotu obrabianego,
- chropowatość powierzchni i stan warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego,

Pomiar wszystkich wyżej wymienionych czynników jest bardzo trudny, a budowa stanowisk badawczych umożliwiających ich pomiar jest bardzo droga, tym niemniej wiele ośrodków na świecie wyposażonych jest w tego typu stanowiska, bądź prowadzi prace nad ich budową.

Najbardziej rozbudowane stanowiska zbudowane w Niemczech, Japonii i USA umożliwiają pomiar parametrów kinematycznych, aktywny pomiar średnicy i położenia tarczy ścierniej, sił skrawania, drgań, emisji akustycznej oraz ocenę chropowatości, stanu tarczy ścierniej (metodą reflektometryczną) i warstwy wierzchniej (metodą mikromagnetyczną). W Polsce stanowiska do zaawansowanych badań procesu szlifowania zbudowano między innymi w Politechnice Łódzkiej i Lubelskiej. Stanowiska te nie mają jednak możliwości oceny chropowatości i stanu warstwy wierzchniej.

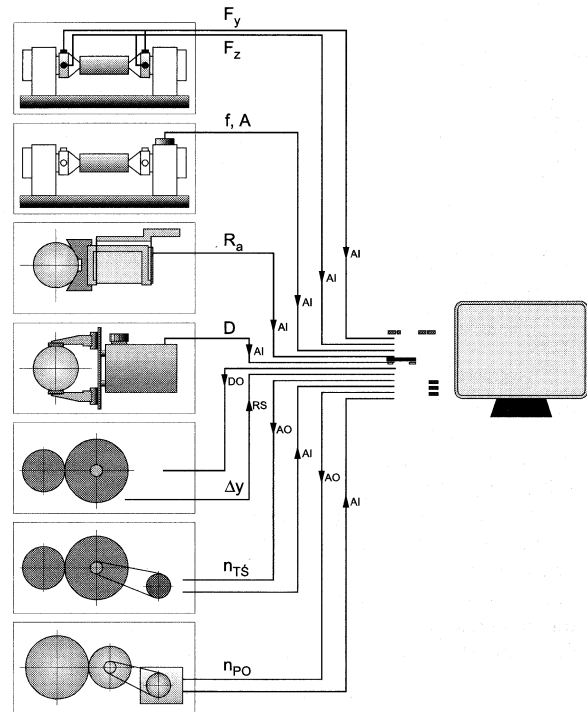
W Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Warszawskiej również podjęto próbę budowy skomputeryzowanego stanowiska do badań procesu szlifowania umożliwiającego [7, 8, 11]:

- pomiar i sterowanie prędkości obrotowych wrzeciona tarczy ścierniej oraz przedmiotu,
- pomiar i sterowanie położeniem wrzeciona tarczy ścierniej względem przedmiotu,
- pomiar sił skrawania  $F_y$  oraz  $F_z$ ,
- pomiar średnicy przedmiotu obrabianego,
- pomiar chropowatości przedmiotu obrabianego,
- pomiar drgań układu OUPN.

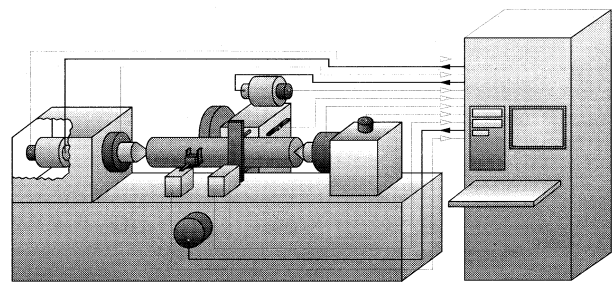
Stanowisko to zostało zbudowane w oparciu o szlifierkę do wałków typu SWA10 produkcji Łódzkich Zakładów Obrabiarek. Głównym elementem stanowiska jest komputer PC z systemem Windows 95. Komputer jest wyposażony w kartę pomiarową firmy Advantech typu PCL812PG, dzięki której komunikuje się on

z obrabiarką. Sterowanie obrabiarką i monitorowanie parametrów szlifowania jest możliwe dzięki opracowanemu specjalnemu oprogramowaniu.

Schemat torów pomiarowych przedstawia rys. 3:



Rys. 3 Schemat torów pomiarowych



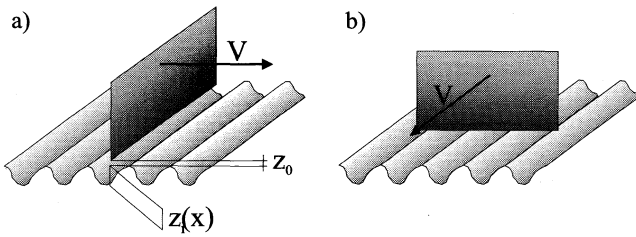
Rys. 4 Schemat stanowiska do badań obróbki szlifowaniem

Na szczególną uwagę zasługuje oryginalny sposób pomiaru chropowatości zastosowany w omawianym stanowisku. Pomiar ten jest oparty na zmodyfikowanej metodzie pojemnościowej FFC (ang. *Fringe Field Capacitive*). Badania nad opracowaniem pojemnościowej metody pomiaru chropowatości trwają od ponad trzydziestu lat. Zasada pomiaru jest dość prosta. Pierwsze próby polegały na umieszczeniu elektrody pomiarowej w postaci płytki metalowej o powierzchni  $S$  rzędu 1-2 cm<sup>2</sup> pokrytej izolatorem o grubości  $d$  oraz przenikalności dielektrycznej  $\epsilon_r$  równoległe do mierzonej powierzchni tworząc z nią kondensator o pojemności:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{4\pi d}$$

Metoda ta jednakże nie zdała egzaminu w efekcie czego powstała następna jej odmiana zaproponowana przez zespół prof. Gabriego z University of Washington [1, 2, 3, 12, 13]. Wariant ten polegał na umieszczeniu elektrody prostopadłe do powierzchni i równoległe do śladów obróbki. Przesuwając ją w kierunku prostopa-

dłym do śladów obróbki możliwa jest ocena chropowatości poprzez pomiar pojemności pomiędzy elektrodą a powierzchnią mierzoną (rys. 5a).



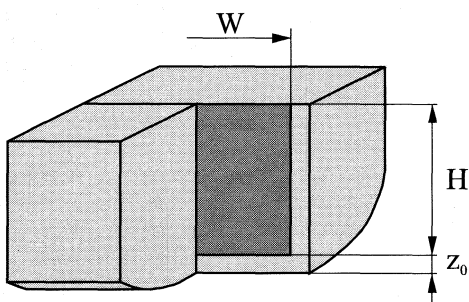
Rys. 5. Układy elektroda pomiarowa – ślady obróbki stosowane w: a) profilometrze FFC, b) aktywnej kontroli chropowatości

Autorzy zastosowali metodę FFC w zmienionej formie - elektroda jest usytuowana prostopadle do śladów obróbki i przesuwana równoległo do nich (rys. 5b).

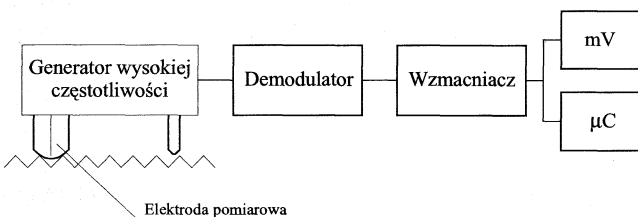
Odległość między elektrodą pomiarową (rys. 6) a mierzoną powierzchnią jest równa sumie grubości izolatora i lokalnej odległości od powierzchni przylegającej do rozpatrywanej mikropowierzchni. Ponieważ poszczególne punkty powierzchni rzeczywistej charakteryzują się różnymi odległościami od elektrody pomiarowej, więc pojemność układu mierzona powierzchnia - elektroda pomiarowa jest funkcją uśrednionej odległości między tymi elementami, a elektrodą pomiarową. Pojemność elektroda-mierzona powierzchnia wyraża się zależnością [10, 11]:

$$C = \frac{4w\epsilon}{\pi} \sum_{i=1}^n \ln \left[ \frac{2H}{z_0 + z_i(x)} \right]$$

Zależność ta jest funkcyjnie związana ze wzorem definicyjnym opisującym podstawowy parametr chropowatości -  $R_a$ . Wartość tej pojemności jest bardzo mała - rzędu 1-2 pF i bezpośredni jej pomiar nastęrcza duże trudności. W ostatnich rozwiązaniach przyrządów pomiarowych pojemność układu mierzona powierzchnia-elektroda pomiarowa stanowi najczęściej element układu generatora wysokiej częstotliwości (rys.7). Taki układ pomiarowy jest mniej wrażliwy na zakłócenia przez czynniki zewnętrzne oraz eliminuje



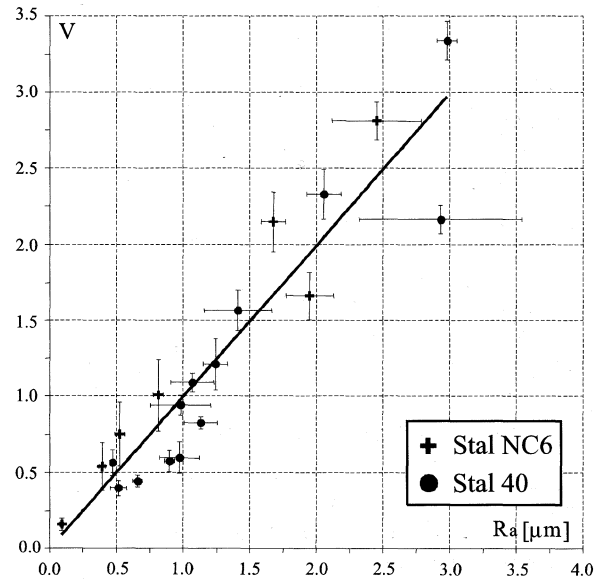
Rys. 6. Konstrukcja elektrody pomiarowej



Rys. 7. Schemat układu pomiarowego

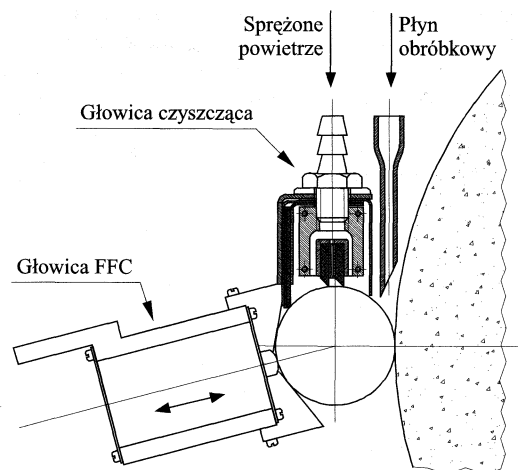
konieczność dość czasochłonnego uśredniania programowego, co jest bardzo istotne w pomiarach metodą „on-line”.

Ze względu na zależność sygnału pomiarowego głowicy FFC od wartości udziału nośnego mierzonego profilu chropowatości [6, 7, 9, 10], konieczne jest skalowanie głowicy przed dokonaniem pomiaru na powierzchni wzorcowej wykonanej tą samą metodą obróbkową co powierzchnia mierzona (rys. 8). Natomiast podczas



Rys. 8. Wykres skalowania głowicy FFC

pomiaru konieczne jest dokładne czyszczenie powierzchni mierzonej ze względu na znaczną różnicę między przenikalnością dielektryczną powietrza i płynu obróbkowego, która powoduje istotne zmiany wartości sygnału pomiarowego głowicy (rys. 9).



Rys. 9. Położenie głowicy FFC i głowicy czyszczącej podczas pomiaru w trakcie obróbki

Na podstawie analizy cech poszczególnych metod pomiaru chropowatości z punktu widzenia możliwości zastosowania ich w aktywnej kontroli chropowatości autorzy stwierdzili, że metoda FFC ma szereg zalet do których można zaliczyć [7, 8, 9]:

– możliwość uzyskania uśrednionego (na długości elektrody pomiarowej ok. 8 mm) sygnału pomiarowego będącego funkcją parametrów chropowatości, a więc o wysokiej wiarygodności,

- względnie niski błąd pomiarów wynikający z zależności funkcyjnej między mierzoną wartością, a parametrem chropowatości,
- brak lub niska wrażliwość na rodzaj materiału (przewodzącego prąd elektryczny) mierzonego przedmiotu i wad warstwy wierzchniej,
- możliwość pomiaru powierzchni poruszających się z dużymi szybkościami.

Jest to jeden z nielicznych na świecie układów do aktywnej kontroli chropowatości. Umożliwia on bieżącą analizę chropowatości w procesie szlifowania i ewentualną korektę warunków obróbki w czasie rzeczywistym w celu osiągnięcia założonych wyników.

Na obrabiarkę zamontowano ponadto szereg urządzeń umożliwiających pomiar poszczególnych parametrów szlifowania takich jak:

- przyrząd produkcji zakładów VIS wyposażony w czujnik indukcyjny służący do pomiaru metodą on-line średnicy obrabianego przedmiotu,
- liniał optyczny firmy Heidenhain, służący do pomiaru położenia wrzeciona tarczy ścierniej względem osi przedmiotu obrabianego,
- czujnik firmy Bruel & Kjaer służący do pomiaru drgań obrabiarki,
- tachoprądnice umieszczone przy silnikach napędu tarczy ścierniej i przedmiotu służące do pomiaru prędkości obu wyżej wymienionych elementów,
- tensometryczne siłomierze umieszczone w kłach służące do pomiaru składowych sił skrawania  $F_y$  oraz  $F_z$ .

W procesie szlifowania istotnym problemem jest dokładność pozycjonowania tarczy ścierniej względem powierzchni obrabianej zarówno w przypadku szlifowania powierzchni płaskich, jak i wałków. Opisane stanowisko jest wyposażone w silnik krokowy, sterowany za pomocą układu mikroprocesorowego, który z kolei jest sterowany przez specjalny program komputerowy. Sterowanie polega na wysyłaniu do wyżej wymienionego układu mikroprocesorowego za pomocą wyjść cyfrowych karty pomiarowej odpowiednich sekwencji sygnałów TTL, które z kolei układ sterujący przekształca na impulsy o odpowiedniej częstotliwości i przesyła do silnika. Zastosowane rozwiązanie umożliwiło uzyskanie 6 prędkości posuwu w obu kierunkach począwszy od prędkości 0,4 mm/s. (posuw szybki) do 1,5  $\mu\text{m/s}$ . (posuw roboczy).

Odczyt położenia tarczy ścierniej jest realizowany poprzez liniał pomiarowy firmy Heidenhain, za pomocą którego możliwe jest ustalenie położenia tarczy z dokładnością do 2  $\mu\text{m}$ , umożliwia to realizację dokładnego szlifowania.

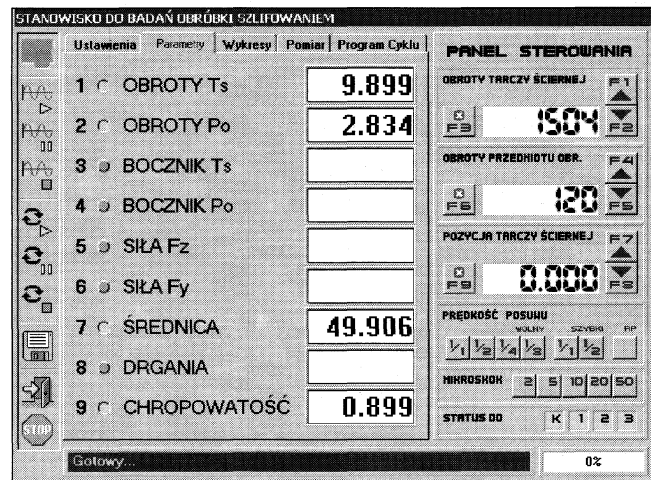
Pomiar średnicy przedmiotu obrabianego realizowany jest poprzez standardowe elementy pomiarowe produkcji zakładów VIS, jednakże zostały one częściowo zmodyfikowane, w celu umożliwienia przesyłania danych do komputera. Układ pomiarowy, oprócz sygnalizacji zmiany średnicy, wysyła również do komputera sygnał napięciowy, którego wartość jest wprost proporcjonalna do wielkości zmiany średnicy. Wartość sygnału napięciowego jest na bieżąco przeliczana na podstawie charakterystyki uzyskanej podczas wzorcowania układu.

Podobnie został rozwiązany problem sygnału uzyskiwanego z układów tensometrów mierzących składowe siły skrawania  $F_y$  oraz  $F_z$ . Tensometry zostały wywzorcowane i na podstawie wyznaczonych charakterystyk  $U = f(F_y, F_z)$  możliwe jest przeliczenie sygnału napięciowego na wartość odpowiednich sił skrawania.

- W opisanym stanowisku występują następujące rodzaje sygnałów:
- Sygnały analogowe w postaci zmian napięcia w czasie, przekazywane z obrabiarki do komputera (AI - *Analog Input*) - pomiary prędkości tarczy i przedmiotu, średnicy przedmiotu, chropowatości,
  - Sygnały analogowe w postaci zmian napięcia w czasie, przekazywane z komputera do obrabiarki (AO - *Analog Output*) - sterowanie prędkością obrotową tarczy i przedmiotu,
  - Sygnały cyfrowe w postaci zmian sygnału TTL, przekazywane z komputera do obrabiarki (DO - *Digital Output*) - sterowanie prędkością silnika skokowego posuwu tarczy,
  - Sygnały cyfrowe w postaci transmisji znaków, przekazywane

z obrabiarki do komputera (RS - *Read Serial*) - pomiar położenia tarczy ścierniej względem przedmiotu.

Biorąc pod uwagę fakt, że karta pomiarowa może próbować sygnał napięciowy w zakresie  $\pm 10\text{V}$ , niezbędna była modyfikacja istniejących elementów napędowych oraz pomiarowych obrabiarki. Modyfikacja stanowiska polegała na umieszczeniu na wybranych torach pomiarowych tzw. boczników napięciowych oraz elementów zabezpieczających w postaci optoizolowanych wzmacniaczy ADAM-3012 firmy Advantech. Sygnały AI, AO oraz DO są transmitowane za pośrednictwem karty pomiarowej, natomiast sygnał RS jest przekazywany przez łącze szeregowo. Wszystkie sygnały są poddawane analizie przy pomocy specjalnego oprogramowania (rys. 10).



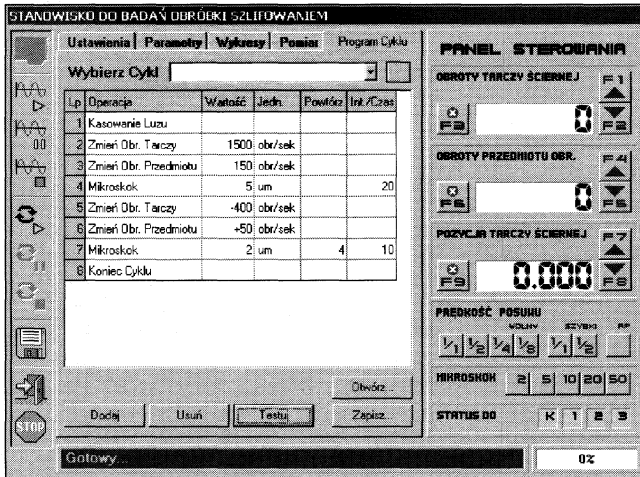
Rys. 10. Winieta oprogramowania pomiarowo-sterującego

Oprogramowanie zostało wykonane w języku MS Visual Basic 5.0 i pracuje pod kontrolą systemu Windows 95. Wykorzystane zostały także specjalne 32-bitowe sterowniki do kart pomiarowych PCLab firmy Advantech pracujące w trybie wyłączności, co umożliwia stabilne i bezpieczne przesyłanie danych z- i do karty pomiarowej. Oprogramowanie to umożliwia jednoczesne odbieranie 12 i wysyłanie 6 różnych sygnałów. Każdy z tych sygnałów jest próbkowany z częstotliwością 10Hz. Natomiast w trakcie wykonywania pomiaru próbkowanie sygnałów docierających do komputera rośnie do 20Hz. Oprócz tego oprogramowanie to umożliwia m. in. operacje:

- ręcznego sterowania prędkością obrotową tarczy i przedmiotu oraz posuwem tarczy,
- filtrowania sygnałów (np. eliminacja krótkookresowych skoków napięcia),
- uśredniania (wygładzania) wybranych przebiegów,
- kontrola poziomu sygnałów sił, średnicy i chropowatości - tzw. kontrola graniczna,
- wizualizacja numeryczna wartości wszystkich sygnałów i graficzna na 4 dowolnie wybranych,
- funkcja Awaryjnego Zatrzymania (Emergency Stop) poprzez klawisz ESC,
- funkcja mikroskoku tarczy z możliwością regulacji dystansu (od 2 do 50  $\mu\text{m}$ ),
- pomiar dowolnie wybranych sygnałów wejściowych i/lub wyjściowych z częstotliwością do 20Hz z możliwością wykonania 50 000 próbek,
- programowanie cykli obróbkowych szlifowania (z możliwością zapisu i odczytu).

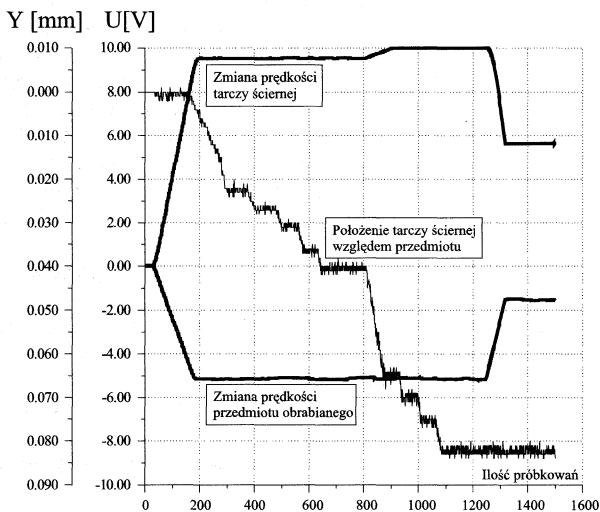
Dopuszczalne opóźnienie w pracy programu nie może przekroczyć 0,3 s. zatem konieczna jest bieżąca kontrola wszystkich zdarzeń. Ponadto wszystkie podstawowe funkcje sterujące są dostępne zarówno z klawiatury, jak i poprzez „mysz”.

Istotną cechą oprogramowania jest możliwość programowania cykli obróbkowych. Funkcja ta daje możliwość obserwacji procesu szlifowania bez konieczności ręcznego sterowania parametrami obróbki (rys. 11).



Rys. 11. Definiowanie cyklu obróbkowego

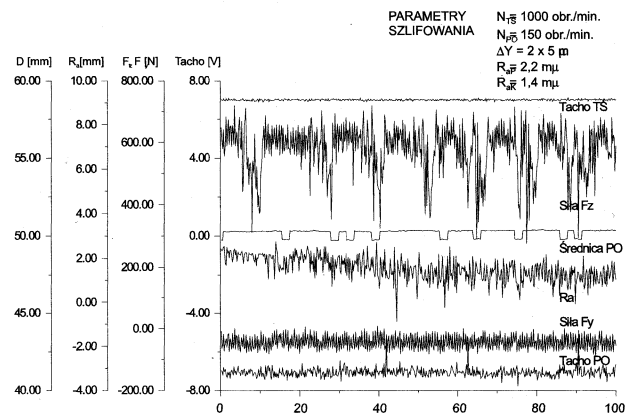
W celu zwiększenia bezpieczeństwa zdefiniowany cykl obróbkowy (nawet po wczytaniu z dysku już istniejącego) musi zostać przetestowany. Dopiero gdy program stwierdzi, że definicja cyklu nie zawiera błędów (np. brak wartości prędkości lub posuwu) można uruchomić cykl. Cykl taki w każdej chwili można przerwać lub zatrzymać. Ponadto podczas cyklu program kontroluje na bieżąco wartości wszystkich parametrów i w przypadku wystąpienia jakiegokolwiek nieprawidłowości (np. przekroczenie dopuszczalnej wartości sił skrawania w wyniku zbyt głębokiego wejścia tarczy w materiał obrabiany) proces obróbki zostaje automatycznie zatrzymany.



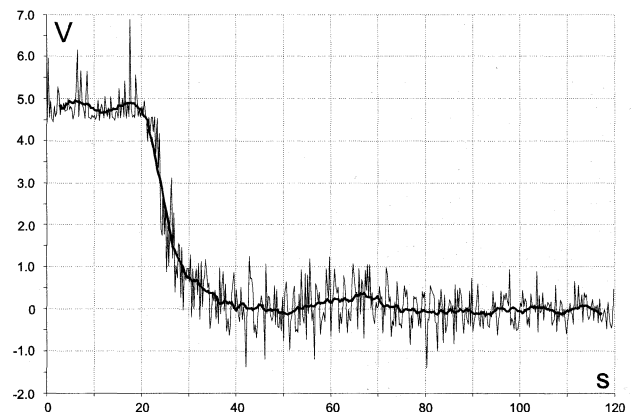
Rys. 12. Przykład cyklu obróbkowego (program oraz odpowiedź obrabiarki)

Oprócz funkcji monitorowania i sterowania wykonane oprogramowanie umożliwia realizację pomiarów wszystkich parametrów oraz zapis wyników w postaci pliku tekstowego, co umożliwia kompleksowe badanie procesu szlifowania.

Rys. 13 przedstawia jeden z zarejestrowanych przebiegów procesu szlifowania, na którym widać zmiany poszczególnych parametrów procesu tj.: sił  $F_y$  i  $F_z$ , średnicy, chropowatości przedmiotu obrabianego oraz obroty tarczy ścierniej i przedmiotu. Rys. 14 ilu-



Rys. 13. Przebiegi parametrów szlifowania



Rys. 14. Zmiana chropowatości w czasie szlifowania

struje zmiany chropowatości powierzchni w funkcji czasu podczas szlifowania wgłębnego.

Wszystkie opisane funkcje mogą działać dobrze tylko w przypadku odpowiednio szybkiego komputera. Obecnie stanowisko jest wyposażone w komputer PC Pentium 75MHz z pamięcią 16MB RAM i w granicznych przypadkach są widoczne efekty przeciążenia komputera (gdy uruchomi się wszystkie opcje programu) objawiające się wydłużonym czasem reakcji przekraczającym dopuszczalne 0,2 sek. W celu uchronienia się przed możliwością braku reakcji komputera w przypadku wystąpienia potencjalnie niebezpiecznej sytuacji (np. zbyt duża grubość warstwy skrawanej) należy zastosować szybsze komputery z większą ilością pamięci.

Zbudowane stanowisko i opracowane oprogramowanie umożliwiają kompleksowe badania procesu szlifowania zarówno w zakresie jego efektów (wymiar, chropowatość) jak i podstawowych zjawisk fizycznych (siły, drgania itp.). Jest ono przeznaczone do badań wpływu warunków obróbki na chropowatość powierzchni, a także do celów dydaktycznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań (analiza wykresów  $Ra=f(t)$ ) można stwierdzić, że wykazała, iż efektywny czas procesu wyiskrzania (podczas którego wysokość chropowatości obniża się istotnie) jest znacznie krótszy od obserwowanych (czas podczas którego widoczna jest duża liczba iskier) i stosowanych w praktyce. Wynosi on od kilku do kilkadziesiąt sekund i dalsze jego przedłużanie nie przynosi wymiernych skutków. Stosowanie aktywnej kontroli chropowatości (AKCH) wraz z pomiarami sił skrawania, średnicy i drgań stanowi podstawę do określenia warunków obróbki, przy których proces wygładzania zanika. W oparciu o te

dane możliwe będzie opracowanie wytycznych do strategii szlifowania opartej o monitorowanie sił, drgań lub emisji akustycznej. Jest to istotne, gdyż dotychczas brak jest przyrządów do aktywnej kontroli chropowatości, które mogłyby być stosowane w warunkach produkcyjnych, a analiza trendów w zakresie badań nad tym problemem wskazuje, że również w okresie najbliższych lat nie należy spodziewać się, że dostępne będą niezawodne, przydatne do pracy w każdych warunkach tego typu przyrządy. Bardziej prawdopodobna jest sytuacja, że przyrządy do AKCH będą stosowane w stanowiskach badawczych oraz obrabiarkach o unikalnym charakterze.

### Literatura

- [1] J. GABRINI: at all. Fringe Field Capacitive Profilometry. Surface Topography. Nr. 1. 1988.
- [2] J. GABRINI, J. ALBRECHT: Surface Profilometry Based on Fringe Capacitance Measurement. Trans. ASME 192. Vol. 107. 1989.
- [3] J. GABRINI, J. JORGENSEN: The Use of Fringe Field Capacitance Sensor for Surface Profilometry and Dimensional Measurement. ASME. Sensors '85. Conf. Detroit. 1985.
- [4] H. KALISZER, H. FLETCHER, J. ADAMS: In-process Measurement of Surface Roughness during Plunge Grinding. Int. Conf. Metrology And Properties Engineering Surfaces. Leicester. 1985.

- [5] A. SCOTT, SUNG J YUNG C.: In-process Monitoring of Surface Roughness Utilizing Ultrasound. Int. Conf. ASME Manufacturing and Engineering. 1994.
- [6] B. NOWICKI: Struktura geometryczna, chropowatość i falistość powierzchni. WNT. Warszawa. 1991.
- [7] B. NOWICKI, A. JARKIEWICZ: Badania statycznych i dynamicznych charakterystyk pojemnościowej metody pomiaru chropowatości. Mat. Konf. N-T. Metrologia w technikach wytwarzania. Rzeszów. 1994.
- [8] B. NOWICKI, A. JARKIEWICZ: The investigations of the in-process capacitance roughness measurements. Int. Conf. Metalloberflächenkolloquium. Chemnitz. 1995.
- [9] B. NOWICKI: The In-process Surface Roughness Measurement. Proc. IVth Int. Conf. on Monitoring and Automatic Supervision in Manufacturing. AC'95. Warszawa. 1995.
- [10] B. NOWICKI, A. JARKIEWICZ: The Investigations of the In-process Capacitance Roughness Measurements. Proc. IX. Int. Oberflächenkolloquium. Chemnitz. Niemcy. 1996.
- [11] B. NOWICKI, A. JARKIEWICZ: Wieloparametrowe monitorowanie procesu szlifowania. Metrologia w Technikach Wytwarzania Maszyn. Szczecin 1999.
- [12] R. RESNICK: Capacitance Surface Texture Measurement. Proc. 1987. Eastern manufacturing Technology Conf. Massachusetts. USA
- [13] R. RESNICK: Capacitance Surface Texture Measurement. Proc. 1989. Eastern Manufacturing Technology Conf. Virginia. USA

Artykuł recenzowany

## METROLOGIA

## NOMINACJE PROFESORSKIE

### Prof. dr hab. inż. Stanisław ADAMCZAK

Ur. 25.10.1948 r. w Sandomierzu jest absolwentem Sandomierskiego Collegium Gostomianum i Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Stopień naukowy doktora nauk technicznych otrzymał w 1977 r. w Politechnice Świętokrzyskiej, a habilitował się w 1994 roku w Żylińskim Uniwersytecie na Słowacji. Tytuł profesora nauk technicznych otrzymał 7 grudnia 1999 roku.

Od 1972 roku pracuje jako nauczyciel akademicki w Politechnice Świętokrzyskiej prowadząc działalność naukowo-dydaktyczną związaną z techniką pomiarową w budowie maszyn i systemami zapewnienia jakości.

Prof. Stanisław Adamczak jest autorem 44 publikacji zaprezentowanych w naukowych czasopismach krajowych i zagranicznych, a wyniki swoich prac przedstawił na około 60 konferencjach w kraju i za granicą. Jest autorem oryginalnej monografii pt. „Bezodniesieniowe metody pomiaru zarysów okrągłości części maszyn”.

Konkretnym osiągnięciem kierowanych przez profesora prac są liczne patenty, opracowania naukowo-techniczne i programy komputerowe, które zostały wdrożone w kilkunastu zakładach przemysłowych w kraju i za granicą (m.in. w Anglii, Czechach i Słowacji oraz w takich firmach jak: ABB, Timken, GEC, FLT, NSK).

Niektóre techniczne rozwiązania były prezentowane na międzynarodowych wystawach i targach, a jeden z systemów pomiarowych



otrzymał w 1996 roku Złoty Medal Międzynarodowych Targów Poznańskich.

Realizowana aktywnie działalność naukowo-badawcza pozwoliła nawiązać szeroką współpracę międzynarodową, a w szczególności w ramach koordynowanego przez Profesora Stanisława Adamczaka projektu badawczego w międzynarodowym programie CEEPUS. Realizacja tego programu umożliwiła pracownikom Politechniki Świętokrzyskiej nawiązanie kontaktów z licznymi europejskimi uniwersytetami technicznymi. Prof. Stanisław Adamczak przebywał na licznych wielomiesięcznych stażach zagranicznych między innymi w Zakładzie Techniki Pomiarowej i Analizy Wymiarów na Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu, w Instytucie Łożysk Tocznych w Brnie i w Katedrze Inżynierii Produkcji Żylińskiego Uniwersytetu w Żylinie (Słowacja).

Prof. Stanisław Adamczak prowadzi wiele zajęć dydaktycznych między innymi na Technicznym Uniwersytecie w Wiedniu i w Koszycach, a realizowana działalność naukowa umożliwiła Mu wypromowanie dwóch doktorów nauk technicznych.

Jest także członkiem rad wydziałów mechanicznych na Uniwersytecie w Żylinie, Ostrawie i Koszycach, a także członkiem wielu krajowych, zagranicznych organizacji, towarzystw naukowych i technicznych między innymi: członek Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej i Sekcji Podstaw Technologii Komitetu Budowy Maszyn PAN, członek Sekcji T07D w Komitecie Badań Naukowych, prezydent polskiego komitetu międzynarodowej organizacji DAAAM, prezes Sekcji Metrologii SIMP itp. W miesiącu grudnia 1998 roku był organizatorem w Kielcach posiedzenia Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN, podczas którego otwarto Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych. Laboratorium to powstało dzięki staraniom prof. Stanisława Adamczaka i jest obecnie zaliczane do jednych z najbardziej nowoczesnych w kraju.