

Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ, Dariusz TOMKIEWICZ
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY

Monitorowania jakości powierzchni obrobionej przy zastosowaniu środowiska LabView

Dr inż. Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ

Pracuje jako adiunkt w Zakładzie Monitorowania Procesów Technologicznych Politechniki Koszalińskiej. Stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Metrologia uzyskała w 2002 roku. W zakresie jej zainteresowań znajdują się systemy wizyjne, sieci neuronowe, techniki wytwarzania i metrologia.



e-mail: anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl

Dr inż. Dariusz TOMKIEWICZ

Pracuje jako adiunkt w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej. Stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Automatyka i Robotyka uzyskał w 2000 roku. W zakresie jego zainteresowań znajdują się: modelowanie i identyfikacja obiektów, sterowanie układami niestacjonarnymi.



e-mail: dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W pracy zaprezentowano system monitorowania powierzchni obrobionej bazujący na obrazie tej powierzchni. System składał się z układu wizyjnego, komputera przetwarzającego dane pomiarowe i terminala. Przetwarzanie danych realizowane było w środowisku LabView. Układ umożliwiał po krótkim etapie trenowania przewidywanie stanów przyszłych wartości parametru Ra chropowatości powierzchni i sprawdzanie, czy na powierzchni nie zachodzą nagłe zmiany nieliniowe.

Słowa kluczowe: przetwarzanie obrazu, monitorowanie, chropowatość powierzchni

Machined surface quality monitoring with the use of LabView environment

Abstract

A monitoring system of machined surface based on the digital image of this surface was presented in a paper. The system composed of vision system, computer for measuring data processing and terminal. For data processing LabView environment was applied. The system allowed the prediction of forward values of surface roughness Ra parameter after a short period of training time and verification if sudden nonlinear changes were not proceeding on the surface.

Keywords: monitoring system, image processing, surface roughness

1. Wstęp

Podstawowym problemem obróbki skrawaniem jest monitorowanie jakości wyrobu podczas obróbki. Jednym z parametrów jakości jest dokładność chropowatości (odniesionej do oczekiwanej). Celem badań zaprezentowanych w artykule było opracowanie sprzętowe i programowe systemu monitorowania chropowatości powierzchni obrobionej podczas procesu toczenia.

System monitorowania wykorzystuje opracowaną w Zakładzie Monitorowania Procesów Technologicznych metodę pomiaru chropowatości powierzchni bazującą na metodach rozpoznawania obrazów. Metoda pomiaru chropowatości polega na estymacji parametru Ra chropowatości powierzchni obrobionej z wykorzystaniem obrazu cyfrowego tej powierzchni. i metod przetwarzania obrazów. Estymacja chropowatości powierzchni obrobionej z pozyskanego obrazu trwa ok. 1s przy dokładności odpowiedniej dla systemów monitorowania.

2. Konfiguracja sprzętowa systemu

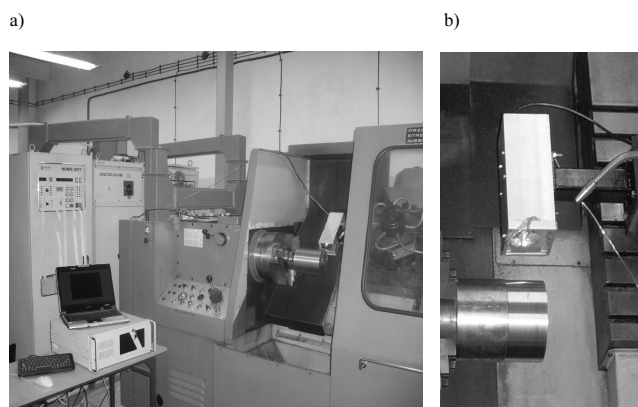
Jako bazę układu monitorowania powierzchni obrobionej zastosowano tokarkę TZC-321T. Zamontowano na niej uchwyt podtrzymujący system wizyjny i inne układy w celu sprawnego i bezpiecznego śledzenia strefy obróbki.

Do akwizycji obrazów zastosowano kamerę cyfrową Basler A311fc z interfejsem IEEE 1394 oraz układ optyczny składający się z zespołu obiektywów i ekstenderów. Umieszczone one były w kasecie zabezpieczającej przed czynnikami zewnętrznymi takimi jak wióry, ciepło i inne. Układ optyczny umożliwiał uzyskanie obrazów cyfrowych o powierzchni 1mm² przy zachowaniu głębi obrazu na poziomie większym niż 100 µm.

Zastosowano układ oświetlaczy bazujący na diodach elektroluminescencyjnych LED oraz układ oczyszczania powierzchni sprężonym powietrzem wraz z układem sterowania zaworem i sprężarką.

Integralną cechą systemu monitorowania był komputer typu PC w obudowie przemysłowej pracujący pod nadzorem systemu operacyjnego Windows XP z oprogramowaniem LabView, wyposażony w kartę akwizycji obrazów przez łącze IEEE1394, oraz kartę sieciową Ethernet. Obudowa komputera zapewniała odpowiednie zabezpieczenia przed drganiem, cieplą, cieciami obróbkowymi i innymi czynnikami środowiska przemysłowego.

Układ monitorowania został opracowany jako złożenie powiązanych ze sobą geometrycznie i zadaniowo układów takich jak: system mocowania kamery, system oczyszczający strefę obróbki, system oświetleniowy oraz system chroniący wcześniej wymienione układy. Monitorowana powierzchnia obrobiona wałka oświetlana była światłem kierunkowym skierowanym pod kątem 30°. Oświetlenie i układ optyczny były wycentrowane względem osi obróbki. Zastosowanie kamery do zjawisk szybkozmiennych umożliwiło pozyskanie obrazu cyfrowego powierzchni obrobionej w dowolnej chwili czasu podczas toczenia, przetworzenia go oraz wyznaczenia parametrów jakości powstałej powierzchni obrobionej (rys. 1).



Rys. 1. a) Obrabiarka sterowana numerycznie wraz z systemem monitorującym b) widok kasety zabezpieczającej system wizyjny

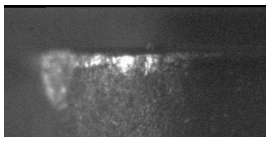

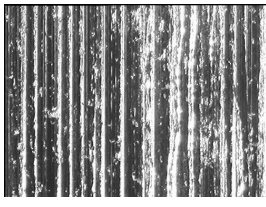
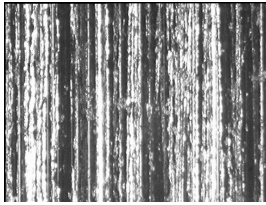
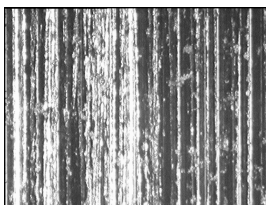
Fig. 1. a) Monitoring system accomplished on CNC lathe, b) view of the assembly used for vision system protection

3. Algorytm estymacji

Podstawowym czynnikiem mającym wpływ na jakość powierzchni obrobionej było postępujące w trakcie procesu zużycie ostrza. W trakcie naturalnej pracy ostrza, zużywanie jego przebiegało w sposób liniowy, dogładzający, a przyrost wielkości na drodze skrawania był niewielki. Katastroficznym zmianom na ostrzu towarzyszyły charakterystyczne przebiegi śladów na powierzchni zestawione w tabeli 1 oraz skokowe przyrosty parametrów powierzchni oraz parametrów obrazu [1, 6, 7].

Tab. 1. Zestawienie zdjęć pomocniczej powierzchni przyłożenia ostrza wykruszonego z przebiegiem śladów na powierzchni obrabianej (VB = 0,13 mm, f = 0,075mm/obr, vc = 160 m/min)

Tab. 1. Image combination of chipping minor flank cutting point and of run traces on the machined surface (VB = 0,13 mm, f = 0,075mm/rev, vc = 160 m/min)

Widok naroża od strony pomocniczej powierzchni przyłożenia	
Równomierne ślady ostrza przed wykruszeniem	
Widoczne wykruszenie na powierzchni	
Ślady po wykruszonym ostrzu	
Zacieranie śladów wykruszenia	

Informacja o zmianach zachodzących na powierzchni przedmiotu obrabianego uzyskiwana była z obrazu cyfrowego. Ze względu na olbrzymią ilość danych opisujących obraz nie było możliwe bezpośrednie ich wykorzystanie w systemie monitorowania lecz przetworzono je na zbiór cech wyznaczonych na ich podstawie.

Do wyznaczenia cech obrazu zastosowano technikę SVD – rozkład według wartości szczególnych. Umożliwiła ona rozkład obrazu na dwie macierze unitarne i jedną macierz diagonalną, składającą się z wartości własnych. Wartości w macierzy diagonalnej były silnie uporządkowane i największa przewyższała najniższą o kilka rzędów. Badania wykazały, że 20

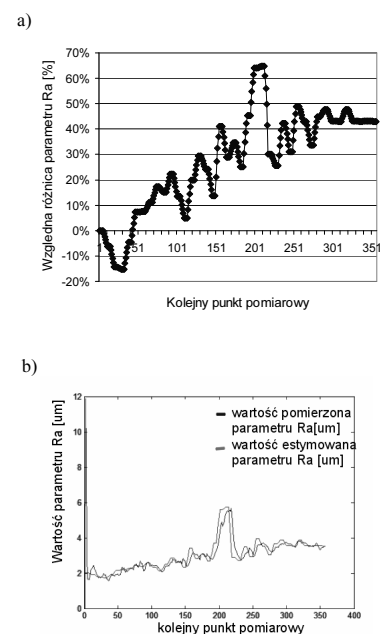
pierwszych składowych skupiało w sobie 99% całej energii obrazu. Wartości macierzy diagonalnej zostały więc zastosowane jako cechy do estymacji parametrów powierzchni i czynników ją kształtujących [7, 8]. Zastosowanie metody pruningu umożliwiło zmniejszenie liczby cech wejściowych do sześciu [6].

Do estymacji parametru Ra chropowatości powierzchni obrabianej nie wykorzystano bezpośrednio wartości parametrów ale ich względny przyrost. Powodem zastosowania przyrostów względnych był fakt, że względny przyrost każdej z 20 składowych rozkładu SVD był wysoko skorelowany ze względnym przyrostem parametrów chropowatości. Uwzględniono to w algorytmie uczenia estymatora neuronowego.

Do aproksymacji zależności między wskaźnikami obrazu a parametrem Ra chropowatości powierzchni zostały zastosowane sieci neuronowe. Zdecydowano się na strukturę sieci, w której w warstwie wejściowej znajdowało się siedem neuronów, w warstwie ukrytej trzy neurony z funkcją aktywacji w kształcie tangensa hiperbolicznego, w warstwie wyjściowej jeden neuron z liniową funkcją aktywacji. Jako algorytm uczenia sieci zastosowano rozszerzony filtr Kalmana.

Zastosowanie algorytmu uczenia sieci z rozszerzonym filtrem Kalmana umożliwiło estymację parametrów modelu w trakcie procesu estymacji. Dzięki temu możliwe było interaktywne (prowadzone przez operatora) prowadzenie procesu dostrajania układu monitorowania powierzchni. Gdy błąd estymacji osiągał wartość progową, algorytm przechodził z trybu doboru wartości wag sieci do trybu estymacji chropowatości.

Rysunek 2a przedstawia względny przyrost parametru Ra chropowatości powierzchni obrabianej względem wartości początkowej. Można zaobserwować tendencję narastania i obniżania wartości parametru w granicy nawet 20%. Po dwusetym kroku pomiarowym (20 min czasu skrawania) na powierzchni obserwowano zmianę, która była spowodowana wykruszeniem na ostrzu. Wykruszeniu towarzyszyła zwiększona dwukrotnie wartość parametru Ra chropowatości powierzchni. Zastosowanie sieci neuronowej rekurencyjnej pozwoliło na uzyskanie wartości estymowanej zbliżonej do pomierzonej (rys. 2b).



Rys. 2. a) Względny przyrost wartości parametru Ra chropowatości powierzchni względem wartości początkowej, b) przykład estymacji parametru Ra chropowatości powierzchni przez sieć neuronową rekurencyjną uczoną na próbkach z przebiegu całego procesu

Fig. 2. a) Relative increment of values of surface roughness Ra parameter in relation to initial value, b) example of surface roughness Ra parameter estimation by means of recurrent neural network trained with the use of samples from the whole process run

Wytrenowana sieć rekurencyjna stosowana była do monitorowania procesów przebiegających w takich samych warunkach. Stworzono bazę wartości parametrów estymatora dla różnych parametrów obróbki i materiałów w celu skrócenia czasu dostrajania układu monitorującego.

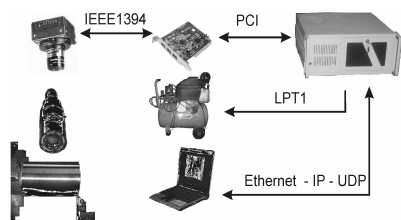
Algorytm estymacji składał się z następujących etapów:

1. Pozyskiwanie obrazu z możliwością korekty
2. Wyznaczenie wartości cech obrazu.
3. Dla nowych parametrów obróbki, uczenie sieci rekurencyjnej. Polegało ono na optymalizacji wartości wag sieci tak, aby różnica pomiędzy estymowaną wartością R_a i wartością zmierzoną była poniżej zadanego progu.
4. Estymacja wartości R_a . Polegała ona na wyznaczeniu parametru R_a przy użyciu sieci neuronowej, w której wagi były zoptymalizowane dla danego rodzaju obróbki.

4. Oprogramowanie systemu monitorującego

Głównym elementem systemu monitorowania było oprogramowanie pracujące na komputerze przemysłowym. Zapewniało ono sterowanie układem pozyskiwania obrazów, sterowanie urządzeniami pomocniczymi i komunikację z obsługą obrabiarki w celu wstępnego skalibrowania układu akwizycji obrazu oraz algorytmu estymacji chropowatości powierzchni. Zgodnie z wymogami, oprogramowanie przez interfejsy komunikacyjne umożliwiało przesyłanie informacji do terminalu operatorskiego lub innych elementów układu automatyki poprzez sieć Ethernet lub standard RS-232. Schemat przesyłania danych w aplikacji monitorującej pokazany jest na rysunku 3.

Ze względu na złożoność i różnorodność zadań realizowanych przez oprogramowanie zdecydowano się na wybór środowiska LabView do stworzenia oprogramowania. Środowisko LabView zapewnia prosty, intuicyjny (programowanie odbywa się przy pomocy łączenia graficznych elementów symbolizujących funkcje i operatory matematyczne, logiczne i struktury algorytmiczne) sposób tworzenia programów i ich modyfikacji [2, 3, 4].



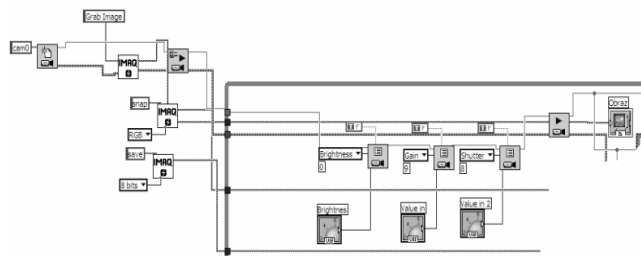
Rys. 3. Schemat przesyłu danych z zewnętrznych urządzeń do aplikacji monitorującej

Fig. 3. Schema of data flow from external devices to the monitoring application

W pierwszej kolejności aplikacja monitorująca powierzchnię obrobioną musiała zapewniać komunikację z kamerą cyfrową Basler A311fc poprzez interfejs IEEE 1394. W przypadku aplikacji obsługującej system monitorowania w zależności od prędkości liniowej obrabianego przedmiotu należało dobrać szybkość działania migawki tak, aby obrazy nie były rozmyte. Zwiększenie prędkości działania migawki powodowało zmniejszenie jasności uzyskiwanego obrazu, co wymagało sterowania jasnością i wzmocnieniem obrazu. W przypadku stosowania środowiska LabView do pozyskiwania obrazu i ich późniejszego przetwarzania wykorzystano zbiór funkcji przeznaczonych do operacji na obrazach cyfrowych zgrupowanych w bibliotece IMAQ Vision. Fragment kodu przedstawiający funkcje związane z konfiguracją kamery i pozyskiwaniem sekwencji obrazów cyfrowych przedstawiono na rysunku 4.

Aplikacja wyświetlała obraz on-line na ekranie komputera zawierającego aplikację monitorującą tak, aby możliwa była wstępna kalibracja systemu. Na żądanie układu monitorującego

aplikacja pobierała ze strumienia obrazowego pojedynczą klatkę, którą zapisywała w pamięci jako obraz intensywności, a następnie konwertowała ją do postaci dwuwymiarowej macierzy liczb 8-bitowych.



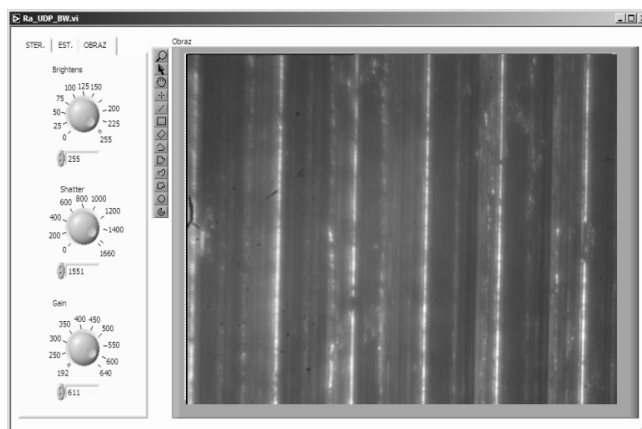
Rys. 4. Fragment kodu w LabView zawierający funkcje przeznaczone do wczytywania obrazu powierzchni

Fig. 4. Part of LabView code with functions used for surface image acquisition

Aplikacja umożliwiała sterowanie zaworem włączającym dyszą ze sprężonym powietrzem. Służyła ona do oczyszczania powierzchni przed pobraniem obrazu. Skorzystano w tym celu z portu równoległego Centronics (LPT1).

Interfejs użytkownika aplikacji sterującej zawierał trzy zakładki umożliwiające sterowanie parametrami kamery, przeprowadzenie procesu uczenia sieci neuronowej estymującej parametr R_a , oraz zarządzanie aplikacją i urządzeniami pomocniczymi podłączonymi do komputera (rys. 5).

a)



b)



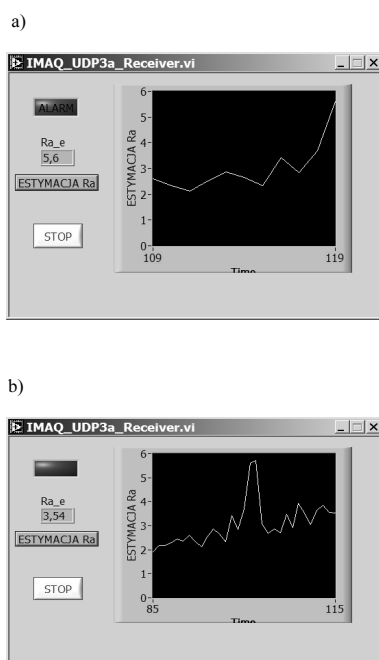
Rys. 5. Interfejs użytkownika a) do sterowania jakością obrazu, b) do estymacji wartości parametrów obrazu i parametru R_a chropowatości powierzchni

Fig. 5. User interface a) for image quality control, b) for estimation of values of image parameters and surface roughness R_a parameter

Środowisko LabView nie jest wygodne jeżeli chodzi o implementację złożonych algorytmów iteracyjnych (ze względu na graficzny sposób tworzenia programu). W związku z tym ze względu na wygodę tworzenia kodu do implementacji algorytmu estymacji parametrów chropowatości powierzchni wykorzystano środowisko Matlab. Poprzez mechanizm DDE (Dynamic Data Exchange) macierz z obrazem była przesyłana do środowiska Matlab. Dodatkowo do Matlab-a przesyłana była wartość parametru R_a chropowatości powierzchni, odpowiadająca obrazowi powierzchni. Zestawione dane umożliwiły przeprowadzenie uczenia sieci neuronowej. Z Matlab-a zwracane były wartości bieżących parametrów obrazu, a wartość estymowana parametru R_a była przesyłana do terminala. Wartości wag były zapisywane w pliku do wykorzystania przy estymacji kolejnych wartości parametru R_a chropowatości powierzchni obrabianej.

Głównym zadaniem systemu monitorującego była możliwość przesyłania przez system monitorujący informacji o stanie przebiegu procesu obróbki tak, aby program sterujący lub obsługa mieli możliwość przedsięwzięcia odpowiednich działań. W przypadku obrabiarki stosowanej w eksperymentach badawczych nie istniała możliwość bezpośredniego przesyłania informacji do układu sterowania obrabiarki. Całość czynności związanych z nadzorowaniem pracy wykonywał operator. W związku z tym informacja o stanie powierzchni była przesyłana do terminalu operatorskiego. Aplikacja terminala została opracowana w środowisku LabView. Umożliwiała ona pobieranie danych systemu monitorującego i prezentację w sposób graficzny przebiegu procesu. Również aplikacja monitorująca została uzupełniona o funkcję pozwalającą na przesyłanie danych do terminala. Do komunikacji wykorzystano sieć Ethernet i protokół UDP.

W aplikacji pracującej na terminalu po wciśnięciu przycisku „estymacja R_a ” przesyłane było do serwera żądanie estymowania wartości parametru R_a chropowatości powierzchni. Aplikacja nasłuchiwała kanał przesyłu danych i w momencie pojawienia się wartości wyświetlała ją na ekranie w postaci liczbowej oraz jako kolejny punkt na wykresie (rys. 6).



Rys. 6. Interfejs użytkownika uruchamiany na terminalu a) aktywowanie alarmu, b) brak reakcji systemu (zbyt wysoki próg wartości kontrolowanej)

Fig. 6. Terminal user interface a) activation of alarm, b) lack of system reaction (too high monitoring value threshold)

Jeżeli wartość kontrolowana, wyznaczana jako średnia ruchoma, była wyższa od założonego progu, generowany był sygnał alarmu, który pozostawał widoczny w dalszym przebiegu procesu. Przy zbyt wysokim progu, mimo dużych zmian parametrów powierzchni system nie reagował i proces odbywał się dalej.

5. Wnioski

Układ monitorowania chropowatości powierzchni obrabianej bazujący na obrazie cyfrowym powierzchni obrabianej został opracowany dla toczenia stali PN-EN 10083-2-C45+N ostrzami z węglików spiekanych S20S bez pokrycia.

Zastosowanie rozkładu SVD do obrazu powierzchni obrabianej spowodowało uwydatnienie tych cech, które miały największy wpływ na zmiany w powierzchni. Skorelowanie cech obrazu i wartości parametru R_a chropowatości powierzchni obrabianej umożliwiło stworzenie modelu zmian parametru R_a w funkcji wskaźników obrazu.

Zastosowanie środowiska programowania LabView znacznie ułatwiło i przyspieszyło tworzenie oprogramowania systemu. Czas estymacji parametru R_a chropowatości powierzchni obrabianej (1s) wskazuje na to, że zastosowana implementacja systemu w LabView oraz konfiguracja sprzętowa były wystarczające dla celów monitorowania.

Zaletą opracowywania systemu w środowisku LabView jest szybka konwersja oprogramowania do pracy w systemie czasu rzeczywistego i implementacja na komputerze przemysłowym z magistralą Compact PCI. Taka konfiguracja gwarantuje niezawodną pracę nawet w wymagających środowiskach przemysłowych.

6. Literatura

- [1] Jemielniak K.: Automatyka diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
- [2] Kuo R.J., Cohen P.H.: Multi-sensor integration for on-line tool wear estimation through radial basis function networks and fuzzy neural network. *Neural Networks* 12, pp. 355–370, 1999.
- [3] Leea D.E., Hwanga I., Valenteb C.M.O., Oliveirab J.F.G., Dornfeld D.A.: Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46, pp. 176–188, 2006.
- [4] Milfelner M., Cus F., Balic J.: An overview of data acquisition system for cutting force measuring and optimization in milling. *Journal of Materials Processing Technology* 164–165, pp. 1281–1288, 2005
- [5] Storch B.: Zjawiska przykrawędziowe i monitorowanie chropowatości powierzchni po obróbce jednostrzowej. *Monografie Wydziału Mechanicznego* 124, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2006.
- [6] Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.: Decomposition of a Machined Surface Image for the Estimation of Surface Roughness Parameters. *Annals of DAAAM International Vienna*, pp.453-454, 2006.
- [7] Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.: The application of wavelet analysis in identification of surface roughness parameters. *Advances in Manufacturing Science and Technology*, Vol. 30, No 3, pp. 79-93, 2006
- [8] Zawada-Tomkiewicz A., Tomkiewicz D.: The Application of Optimal Brain Surgeon Method for optimization of tool wear estimator structure. *Polyoptimization and CAD*, Vol. III, pp. 218-225, WNT Warszawa 2004.