

Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA
ul. Raławicka 15/17, 75-620 Koszalin

Analiza czynników determinujących dokładność układu monitorowania powierzchni obrobionej (UMPO)

Dr inż. Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ

Pracuje jako adiunkt w Zakładzie Monitorowania Procesów Technologicznych Politechniki Koszalińskiej. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Metrologia uzyskała w 2002 roku. Jej zainteresowania naukowe to systemy wizyjne, sieci neuronowe, techniki wytwarzania i metrologia.



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

Streszczenie

Artykuł poświęcony jest zagadnieniom oceny dokładności układu monitorowania powierzchni obrobionej (UMPO). Celem pracy było przedstawienie czynników determinujących dokładność podczas tworzenia układu monitorowania powierzchni obrobionej. Układ monitorowania powierzchni obrobionej obejmuje część sprzętową oraz softwareową. Ze względu na fizyczną stronę realizacji układu dokonano analizy wpływu czynników związanych z realizacją toru wizyjnego i oświetleniowego. Z punktu widzenia części programowej przeanalizowano sposób pozyskania i przetwarzania obrazu, metodę ekstrakcji cech oraz syntezy klasyfikatora. Przeanalizowano zadanie monitorowania ze względu na niepewność danych referencyjnych, wynikających ze zmienności obiektu monitorowania – powierzchni obrobionej.

Słowa kluczowe: powierzchnia obrobiona, monitorowanie powierzchni, chropowatość powierzchni, układ wizyjny.

An analysis of factors influencing the accuracy of a machined surface monitoring system (MSMS)**Abstract**

The aim of the study was to present a machined surface monitoring system and factors determining the accuracy of such a system. The machined surface monitoring system was developed basing on the digital image of the surface. The system is composed of a vision system, a computer for measurement data processing and a terminal. The LabView environment was used for data processing. The system allows predicting the surface roughness parameters after a short period of training. The predicted parameters can be used for surface monitoring or process monitoring. The accuracy of the machined surface monitoring system can be affected by each stage of data processing. First, the implementation of the vision system and lighting influences the quality of the acquired digital image of the surface. Then, the method of feature extraction and selection and the applied classifier determine the utilization of the information contained in the data. Finally, the uncertainty of the reference data, resulting from the variation of a monitored object, a machined surface, influence the evaluation of the monitoring system accuracy.

Keywords: machined surface, surface visual inspection, surface roughness, vision system.

1. Wstęp

Układ monitorowania powierzchni obrobionej (UMPO) umożliwia, przy wykorzystaniu zmian w obrazie powierzchni obrobionej, na podstawie modelu odwrotnego, ocenę tej powierzchni oraz ocenę stanu układu obróbkowego. Koncepcja UMPO polega na uwzględnieniu następujących aspektów wpływu techniki wytwarzania na funkcjonalność powierzchni obrobionej [1]:

- teoretycznych możliwości osiągnięcia przez system wytwarzania cech funkcjonalnych powierzchni,

- doboru parametrów procesu ze względu na osiągnięcie przez powierzchnię zadanych parametrów topografii powierzchni,
- analizę wpływu zmian na ostrzu oraz drgań układu na wybrane parametry powierzchni,
- analizę wpływu zmian w powierzchni obrobionej na zmiany w jej obrazie cyfrowym oraz opracowanie modelu zależności. Przydatność układu pomiarowego dla zastosowania w monitorowaniu powierzchni i procesu skrawania wymaga porównania uzyskanych charakterystyk metody z tolerancją mierzonej cechy lub szerokością rozrzutu procesu. Przydatność polega więc na ocenie, czy układ nadaje się do celu, któremu mają służyć wyniki.

Celem artykułu jest przedstawienie czynników wpływających na jakość układu monitorowania powierzchni obrobionej, którego źródłem danych wejściowych jest obraz powierzchni i którego jakość determinuje dokładność estymacji. Na jakość układu monitorowania dodatkowo wpływa sposób przetwarzania i wykorzystania danych pomiarowych. W artykule przeanalizowano następujące czynniki wpływające na dokładność układu monitorowania powierzchni obrobionej:

- zmienność powierzchni obrobionej,
- jakość danych wejściowych układu monitorowania (jakość obrazu powierzchni obrobionej i sposób jego przetwarzania),
- opis obrazu powierzchni obrobionej dla celów monitorowania i analiza wartości diagnostycznej,
- zastosowaną procedurę monitorowania.

2. Dokładność UMPO ze względu na procedurę monitorowania

Układ monitorowania powierzchni obrobionej opracowuje się na podstawie modelu empirycznego rozproszenia światła na powierzchni. Polega on na porównaniu obrazu nieznannej powierzchni ze zbiorem obrazów powierzchni skalibrowanych. Porównania dokonywane są na podstawie opracowanych systemów rozpoznawania (klasyfikacji, estymacji).

Zadanie rozpoznawania polega na określeniu przynależności obrazu powierzchni obrobionej do danej klasy, przy czym informacja z układu rozpoznawania pojawia się na trzech poziomach abstrakcji: klasy chropowatości, miary parametru chropowatości lub prawdopodobieństwa charakteryzowania rozpoznawanej powierzchni przez dany parametr chropowatości.

Rozpoznawanie obrazu powierzchni obrobionej jest prowadzone w sytuacji braku apriorycznej informacji na temat reguł przynależności obrazu do danej klasy, a jedyna informacja możliwa do wykorzystania przez system rozpoznający jest zawarta w ciągu uczącym (składającym się ze zbioru przykładów obraz – powierzchnia). Zasadniczym elementem uczenia jest uogólnianie – system otrzymuje przykłady obrazów tylko dla niektórych powierzchni, natomiast orzekać musi o wszystkich.

Obraz powierzchni obrobionej w postaci macierzy punktów jest nadmiarowy i wstępny etap procesu rozpoznawania polega na pomiarze cech opisujących obraz, zaś dalsze postępowanie polega na analizowaniu tych cech. Opracowane cechy są uzależnione od celu rozpoznawania (monitorowanie powierzchni/monitorowanie procesu) i dobierane są w procesie selekcji. Podstawowym założeniem jest w takim ujęciu fakt, że wiedza o stanie rozpoznawanej powierzchni ma charakter statystyczny, a stan powierzchni jest traktowany jako zmienna losowa.

Klasyfikacja obrazów dokonywana jest na podstawie reguły decyzyjnej. Metody określania reguły decyzyjnej (syntezy klasyfikatora) zależą od ilości informacji wstępnej. W przypadku pełnej informacji statystycznej układ nie wymaga uczenia, ponieważ regułę decyzyjną można zbudować bezpośrednio na podstawie

rozkładów prawdopodobieństw. Wówczas, zgodnie z regułą Bayesa, można wyznaczyć prawdopodobieństwa a posteriori dla danego wektora obserwacji i na bazie tych prawdopodobieństw utworzyć regułę decyzyjną.

Gdy informacja wstępna jest niepełna i niewystarczająca do syntezy układu, wówczas powstaje konieczność uczenia. Uczenie powinno być tak zorganizowane, aby na podstawie obserwacji można było z upływem czasu określić optymalne wartości parametrów klasyfikatora. Ważnym elementem całego łańcucha zależności, który w znacznym stopniu determinuje jakość klasyfikacji jest klasyfikator. W [2] przeanalizowano różne rodzaje klasyfikatorów dla zadania rozpoznawania stanu ostrza. Z badań jasno wynika, że wybór klasyfikatora decyduje o jakości klasyfikacji.

Problem polega na ustaleniu zbioru uczącego i zbioru testowego (lub wielu par takich zbiorów) dla danego zadania. Dodatkowym problemem jest rozdział dostępnego zbioru na uczący i testujący. Jeśli zbiór uczący będzie zbyt mały, to niska będzie jakość jego predykcji oraz duża wariancja wyników przy rosnących losowych udziałach. Z drugiej strony, mały zbiór testowy powoduje niepewność estymacji błędów.

W zadaniu klasyfikacji, gdzie dane wyjściowe są typu Boolean, można zastosować kryterium względem wartości 0,5. Gdy dane wyjściowe są typu dyskretnego, można zastosować kryterium względem wartości progowych. Jako sprawność sieci podaje się, wyrażoną w procentach, liczbę poprawnie sklasyfikowanych wektorów wejściowych zbioru testującego [1-2].

W zadaniu klasyfikacji, gdzie dane wyjściowe są typu ciągłego, można zastosować kryterium porównujące bieżący stan komórek w warstwie wyjściowej ze stanem oczekiwanym na wyjściu. Klasyfikator jest w tym przypadku estymatorem funkcji, w której dane wyjściowe przetwarzane są na funkcję. Jako sprawność sieci podaje się błąd estymacji.

3. Dokładność UMPO ze względu na jakość obrazu powierzchni obrobionej

W metodzie monitorowania powierzchni na podstawie danych z obrazu powierzchni obrobionej, staje się on istotnym źródłem informacji o powierzchni, procesie i narzędziu. Stąd, jego jakość decyduje o dokładności i powtarzalności wyników monitorowania. Pierwszym elementem wpływającym na jakość obrazu cyfrowego powierzchni obrobionej jest źródło zmienności, w postaci parametrów charakterystycznych powierzchni obrobionej, która może być kształtowana w różnych procesach obróbkowych, dla różnych narzędzi i materiałów obrabianych.

Drugim elementem wyznaczającym jakość obrazu cyfrowego powierzchni obrobionej jest układ wizyjny wraz z oświetleniem oraz sposób zapisu i przesyłania danych obrazowych. Wreszcie ostatnim, ale nie mniej ważnym elementem wpływającym na wartości punktów obrazu, jest sposób przetwarzania obrazu, którego celem jest z jednej strony usunięcie zniekształceń i szumu, z drugiej strony pozostawienie zawartości informacyjnej obrazu na niezmiennym poziomie.

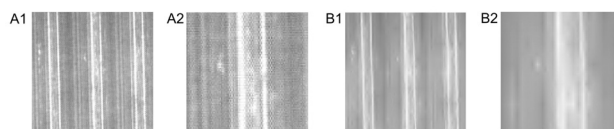
Jakość obrazu można opisać na wiele sposobów [1-3]. Ze względu na zadanie realizowane w procesie monitorowania można mówić o jakości obrazu z punktu widzenia dokładności diagnostycznej, korelacji obrazu z zadaniem. Z punktu widzenia fizyki procesu obrazowania można odnieść jakość obrazu do trzech zagadnień: 1) kontrastu i rozdzielczości, 2) szumu, artefaktów i dystorsji, 3) ilościowych miar jakości.

Z punktu widzenia dokładności układu monitorowania obraz powierzchni, jako zbiór danych pomiarowych, powinien charakteryzować się wystarczającym kontrastem i rozdzielczością. Ze względu na charakter fali światła, obraz punktu w systemie obrazowania nie jest odtwarzany jako pojedynczy punkt, ale w postaci dysku dyfrakcyjnego z koncentrycznymi jasnymi i ciemnymi pierścieniami. Według Rayleigh'a jest to granica rozdzielczości. Rozdzielczość jest ograniczona przez wartość charakterystyczną najszerszej wiązki promieni zdolnej do wejścia w obiekt (wartość apertury numerycznej). **Maksymalna rozdzielczość** systemu

akwizycji obrazu powierzchni obrobionej jest określona przez wymiar piksela układu CCD. Natomiast **kontrast**, zwany również modulacją, definiowany jest ilorazem różnicy do sumy maksymalnej i minimalnej intensywności dwóch punktów obrazu powierzchni obrobionej. W celu ilościowego opisu sposobu tworzenia obrazu w systemie obrazowania powierzchni obrobionej stosowana jest **funkcja przenoszenia modulacji** (MTF – Modulation Transfer Function). Aby określić MTF, coraz cieńsze linie (przestrzenne częstotliwości w linii par na mm) o znanym kontraście są odtworzone przez system optyczny, a następnie mierzona jest modulacja obrazu w płaszczyźnie obrazu. Stosunek modulacji obrazu do modulacji obiektu w funkcji częstotliwości przestrzennej daje wartość MTF. Funkcja przenoszenia modulacji odnosi się więc do współczynnika modulacji sygnału zobrazowanego do kontrastu oryginalnego sygnału na różnych częstotliwościach.

Obrazy powierzchni obrobionej, zebrane układem obrazowania powierzchni obrobionej, są **zniekształcone przez szum**, który występuje podczas przechwytywania, transmisji i przetwarzania. Może on być zależny lub niezależny od zawartości obrazu, a opisywany jest przez charakterystyki probabilistyczne. Można analizować szum funkcją autokorelacji, której transformata Fouriera jest gęstością widmową mocy szumu. Funkcja autokorelacji odpowiadająca białemu szumowi jest równa zero. Oznacza to, że dla szumu białego, fluktuacja szumu w jednym punkcie nie jest skorelowana z wahaniami, które mogą wystąpić w każdym innym miejscu, a wartość w każdym punkcie obrazu zmienia się w sposób niezależny i przypadkowy.

Analiza zniekształceń, które występują w układzie obrazowania, obejmuje zniekształcenia geometryczne i chromatyczne. W optyce geometrycznej zniekształcenia definiowane są jako odchylenie od prostoliniowej projekcji. Najczęściej spotykane zniekształcenia są promieniście symetryczne dodatnie lub ujemne. Zniekształcenie chromatyczne jest rodzajem zniekształcenia, w którym obiektów nie skupia wszystkich kolorów do tego samego punktu zbieżności. Chromatyczne zniekształcenia objawiają się jako kolorowe prążki wzdłuż granic rozdzielających ciemne i jasne fragmenty obrazu.



Rys. 1. Zastosowanie miękkiego filtrowania falkowego dla obrazu powierzchni obrobionej o rozmiarze 0,375 mm x 0,375 mm (A1 i B1) oraz powiększony fragment o rozmiarze 0,125 mm x 0,125 mm (A2 i B2).

$UIQ(A1, B1) = 0,8281$, rozmycie krawędzi = $2 * (\text{rozmycie poziom 3}) + 1,41 * (\text{rozmycie poziom 2}) + (\text{rozmycie poziom 1}) = 2,48 * 2 + 1,59 * 1,414 - 0,44 * 1 = 6,77$ (wg [3])

Fig. 1. The use of wavelet soft filtering for surface texture image of a size of 0.375 mm x 0.375 mm (A1 and B1) and the magnified part of a size of 0.125 mm x 0.125 mm (A2 and B2). $UIQ(A1, B1) = 0.8281$. Total blur value = $2 * (\text{blur artifact at resolution level 3}) + 1.414 * (\text{blur artifact at resolution level 2}) + (\text{blur artifact at resolution level 1}) = 2.4785 * 2 + 1.5924 * 1.414 - 0.4382 * 1 = 6.77$ (according to the algorithm [3])

Brak ostrości obiektu może wynikać z geometrii układu optycznego, niejednoznaczności fizycznych granic obiektu oraz niewłaściwego czasu ekspozycji. Pojawienie się w obrazie zniekształceń i artefaktów może mieć przyczynę w nierównomiernym lub niewłaściwym oświetleniu różnych struktur, nieprawidłowym ustawieniu obiektu względem układu optycznego, zjawisku aliasingu. Zniekształcenia i artefakty pojawiają się w obrazie jako sztuczne rozbłyski lub efekt dzwonienia (ringing artifact), czyli pojawiające się oscylacje wokół krawędzi. Natomiast rozmycie czy degradacja krawędzi wynika z braku ostrości podczas pozyskiwania obrazu, ruchu względnego podczas pozyskiwania obrazu, zbyt krótkiego czasu ekspozycji. Khambete i Joshi [3] zaprezentowali schemat oceny jakości obrazu wyznaczając na podstawie analizy składowych dekompozycji falkowej dwóch obrazów **wskaznik rozmycia i wskaznik artefaktów** (ringing artifact, edge-ringing). Obrazy były dekomponowane przy użyciu Dys-

kretniej Transformacji Falkowej, a następnie wyznaczane były krawędzie dla poszczególnych składowych. Analizowane były szerokości krawędzi oraz obrazy różnicowe dla dwóch obrazów. Podstawowym spostrzeżeniem, na jakim autorzy oparli całą metodykę, był fakt, że rozmycie obrazu i krawędzi towarzyszyło zmniejszeniu korelacji, natomiast przy zjawisku „edge-ringing” korelacja wzrastała (rys. 1).

Ilościowe miary jakości zastosowano w celu potwierdzenia, że zastosowane przetwarzanie obrazu nie wprowadza zmian w zakresie zawartości informacyjnej obrazu. Zdefiniowanie ilościowej miary jakości obejmuje zbiór wskaźników takich jak stosunek sygnału do szumu lub szczytowy stosunek sygnału do szumu. **Uniwersalny wskaźnik jakości obrazu UIQ** (Universal Image Quality Index), zdefiniowany w [4], modeluje różnicę między dwoma obrazami A i B, jako złożenie trzech różnych wyników: utraty korelacji, dystorsję radiometryczną i dystorsję kontrastu [5]. Przykładowo zastosowanie miękkiego filtrowania dla pierwszych trzech poziomów dekompozycji falkowej (Coiflet 1) powoduje rozmycie krawędzi. Uniwersalny wskaźnik jakości obrazu w tym przypadku powoduje znaczną utratę pierwotnej informacji obrazu powierzchni obrobionej (rys. 1).

Indeks podobieństwa strukturalnego SSIM (Structural similarity Image Index) [6] jest wskaźnikiem jakości zbliżonym koncepcyjnie do UIQ. Indeks SSIM może być postrzegany jako środek pomiaru jakości jednego z obrazów, w porównaniu z innym obrazem, uważanym za obraz doskonałej jakości. Jest to kolejna wersja uniwersalnego wskaźnika jakości obrazu UIQ.

4. Dokładność UMPO ze względu na opis obrazu powierzchni obrobionej i analizę wartości diagnostycznej

Dla układu monitorowania powierzchni obrobionej można rozpatrywać obraz cyfrowy powierzchni jako dwuwymiarowy sygnał diagnostyczny, umożliwiający przenoszenie informacji o powierzchni obrobionej lub procesie skrawania. Skutecznym opisem obrazu są zbiory wartości cech uzyskane w wyniku analizy. W ogólnym przypadku w wyniku analizy obrazu powierzchni mogą być wyznaczane cechy, jako wartości punktowe lub funkcyjne [7].

Najprostszym sposobem charakteryzowania obrazu powierzchni obrobionej jest wyliczenie dla niego wartości liczbowej (wskaźnika, indeksu, parametru, cechy, miary). Gdy wartość charakteryzująca obraz jest jedną liczbą to mówimy o cesze punktowej.

W przypadku, gdy wartość cechy jest funkcją czasu lub częstotliwości, wówczas mamy do czynienia z cechami funkcyjnymi. Cechy punktowe obejmują wartości wyznaczone dla obrazu jako losowego sygnału ergodycznego. Podstawowymi cechami statystycznymi opisującymi obraz są: średnia jasność obrazu, wartość maksymalna i minimalna, statystyczny rozkład występowania w obrazie cyfrowym poszczególnych poziomów jasności (histogram) (tablica 1).

Tab. 1. Cechy obrazu powierzchni obrobionej
Tab. 1. Features of the machined surface image

Dziedzina przestrzeni / czasu	Dziedzina częstotliwości przestrzennych	Dziedzina przestrzeni/czasu – częstotliwości przestrzennych
Wartości amplitudy Średnie statystyczne Energia sygnału w przedziale czasu/ przestrzeni	Współczynniki Fouriera Pasma częstotliwości Energia sygnału w paśmie	Wartości amplitudy w pasmach częstotliwości Koncentracja energii Współczynniki falkowe

W przypadku, gdy informacja ukryta jest w składowych periodycznych obrazu, wygodne jest analizowanie sygnału nie w funkcji wymiaru przestrzennego, lecz w funkcji częstotliwości. Transformacja Fouriera umożliwia rozłożenie sygnału na sumę składowych częstotliwościowych, co pozwala analizować sygnał dla zmian częstotliwości sygnałów składających się na przekrój danych obrazowych. Funkcja widmowej gęstości mocy jest statystyczną reprezentacją różnych częstotliwości przestrzennych

zawartych w sygnale. Analizy Fouriera nie stosuje się dla sygnałów, które zawierają niestacjonarność takie jak dryf, trendy, gwałtowne zmiany wysokości profilu, gdyż nie jest przystosowana do ich identyfikowania.

Dekompozycja EMD (Empirical Mode Decomposition) dokonuje rozdzielania dowolnego, zmiennego w czasie, sygnału na podstawowe wewnętrzne składowe drgań. Stosując transformację Hilberta do tak rozdzielonych funkcji składowych wewnętrznych IMF (Intrinsic Mode Function), otrzymuje się widmo Hilberta-Huanga, z częstotliwościami przestrzennymi chwilowymi i chwilowymi amplitudami. Jest to rozszerzenie możliwości analizy sygnałów o sygnały nieliniowe i niestacjonarne (tablica 2) [8].

Tab. 2. Opis cech wybranych transform obrazu powierzchni obrobionej
Tab. 2. Description of the characteristics of selected transforms of the surface image

	Częstotliwości chwilowe	Częstotliwości zmieniające się w czasie/przestrzeni
Transformata Fouriera	Nie określone	Nie
Krótkookresowa transformata Fouriera	Rozkład	Tak
Transformata falkowa	Rozkład	Tak
Transformata Hilberta-Huanga	Dyskretne wartości	Tak

Dodatkowo można stwierdzić, że w porównaniu do analizy falkowej, dla której istotny jest dobór falki podstawowej (gdyż to on determinuje jakość analizy [22]), to w analizie danych w czasie za pomocą dekompozycji EMD ten problem nie występuje. Rozkład sygnału na składowe odbywa się na zasadzie algorytmu przesiewowego i w zależności od charakterystyki sygnału w czasie następuje rozdział sygnału na składowe, które opisują częstotliwości własne sygnału, wynikające z niego samego, a nie z przyjętych funkcji bazowych.

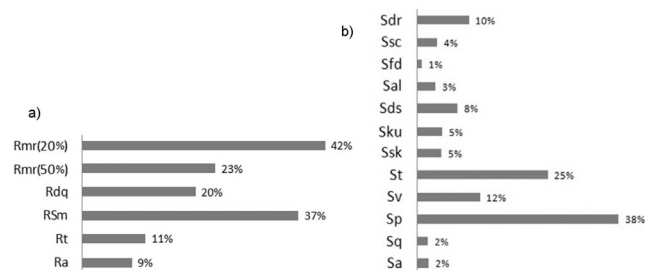
5. Dokładność UMPO ze względu na zmienność parametrów powierzchni obrobionej jako danych referencyjnych monitorowania

Układ monitorowania powierzchni obrobionej opracowano przy uwzględnieniu zmian, jakie zachodzą w procesie skrawania. Jedną z takich zmian jest postępujące zużycie ostrza. Kolejnym czynnikiem wpływającym na zmienność danych w procesie skrawania są dynamiczne zmiany dotyczące generacji drgań układu, których przyczyn, poza narzędziem, można upatrywać w niejednorodności materiału obrabianego, utracie wibrostałości czy regeneracji śladu. Zmienność w procesie skrawania może prowadzić do przejścia powierzchni ze stanu dopuszczalnego (tolerowanego) do stanu niedopuszczalnego (poza tolerancją). Podstawą do wnioskowania o jakości powierzchni obrobionej są zarejestrowane dwu- lub trójwymiarowe dane pomiarowe powierzchni obrobionej. Najczęściej opis powierzchni ogranicza się do wyznaczenia parametrów powierzchni, a jej funkcjonalność oceniana jest za pomocą tych parametrów.

Dodatkowo określa się przedziały graniczne cech mierzalnych powierzchni uznanych za niedopuszczalne [1,9,10]. Zmiany geometrii ostrza – zmiany na pomocniczej powierzchni przyłożenia ostrza i zmiany na krawędzi skrawającej – zauważalne są na powierzchni obrobionej. PN-ISO 3685 w załączniku C [10] wskazuje, że „różne wartości parametrów chropowatości mogą być stosowane jako kryteria trwałości narzędzia”. Zaleca przy tym określone wartości parametru Ra chropowatości powierzchni obrobionej.

Analizując zmienność parametrów chropowatości dla stali normalizowanej, wynosi ona od kilku do kilkudziesięciu procent

wartości (rys. 2a). Aktualny stan powierzchni zależy od oddziaływania czynników wymuszających, właściwości materiału obrabianego i narzędzia oraz innych czynników kształtowania struktury geometrycznej powierzchni w toczeniu. Właściwości początkowe powierzchni podlegają rozkładowi normalnemu, czynniki wymuszające podlegają wpływom przypadkowym i są transformowane na rozwijające się zmienności powierzchni.



Rys. 2. Zmienność parametrów chropowatości powierzchni w ujęciu 2D dla stali EN C45 220 HB ME – 10 Carl Zeiss Jena (a), oraz w ujęciu 3D dla stali hartowanej EN 41Cr4 54 HRC Talysurf CCI 6000 - Taylor Hobson (b) (średnia wartość z 30 pomiarów dla 10 punktów eksperymentu $f=0,15$ mm/obr, $vc = 150 \div 200$ m/min) liczona jako stosunek odchylenia standardowego parametru normalizowanego do jego normalizowanej wartości średniej

Fig. 2. Variability of surface roughness in 2D for steel EN C45 220 HB ME – 10 Carl Zeiss Jena (a), and in 3D for hardened steel EN 41Cr4 54 HRC Talysurf CCI 6000 - Taylor Hobson (b) (mean of 30 measurements for 10 points of the experiment $f = 0.15$ mm/rev, $vc = 150 \div 200$ m/min), calculated as the ratio of the standard deviation of the normalized parameter to its normalized mean value

Jednak nawet dla toczenia stali hartowanej zmienność parametrów chropowatości powierzchni podczas pomiaru może być znaczna. Analizując zmienność parametrów trójwymiarowych chropowatości powierzchni zauważa się większą niepewność podczas estymacji parametrów maksymalnych (St, Sp). Jak jest to zobrazowano na rysunku 2b, najmniejszą zmienność uzyskano dla wartości średniej chropowatości, takiej jak Sa i Sq (2%) oraz dla wymiaru frakalnego Sfd (1%).

6. Podsumowanie i wnioski

Układ monitorowania powierzchni obrabianej tworzony jest jako powiązane zadaniowo układy pozyskiwania i przetwarzania danych oraz układy pomocnicze. W zakresie realizowanego przez układ zadania monitorowania następuje pozyskanie danych obrazu powierzchni obrabianej. Budowa układu wizyjnego oraz oświe-

lenie powierzchni determinują jakość danych obrazowych. W procesie przetwarzania danych następuje wyznaczenie informacji skorelowanej z celem monitorowania i synteza klasyfikatora. Zbiór czynników wpływających na dokładność estymacji parametrów powierzchni obrabianej dla układu monitorowania obejmuje też zmienność wartości wyliczonych parametrów powierzchni metodami referencyjnymi. Podczas opracowywania układu monitorowania powierzchni obrabianej należy uwzględnić wszystkie wymienione czynniki.

Badania zostały sfinansowane ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy N N503 192638.

7. Literatura

- [1] Zawada-Tomkiewicz A.: Teoretyczne i doświadczalne podstawy monitorowania procesu toczenia z wykorzystaniem informacji o cechach stereometrycznych obrabianej powierzchni. Monografia 224, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, 2012.
- [2] Lipski J.: Nadzorowanie procesów skrawania metodami analizy cyfrowej sygnału wibroakustycznego. Mechanika 54, Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej 225, 1992.
- [3] Khambete M., Joshi M.: Blur and Ringing Artifact Measurement in Image Compression using Wavelet Transform. World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 26, s. 183-186, 2007.
- [4] Wang Z., Bovik A.C.: A Universal Image Quality Index. IEEE Signal Processing Letters, vol. 9/3, s. 81-84, 2002.
- [5] Zawada-Tomkiewicz A.: Zastosowanie dyskretnej transformaty falkowej do redukcji zakłóceń w obrazie powierzchni obrabianej. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej – Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją, vol. 13, s. 173-178, 2010.
- [6] Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13/4, s. 600-612, 2004.
- [7] Zawada-Tomkiewicz A.: Estimation of surface roughness parameter based on machined surface image. Metrol. Meas. Syst., vol. XVII, s. 493-504, 2010.
- [8] Zawada-Tomkiewicz A.: Zastosowanie Empirical Mode Decomposition do analizy zmian chropowatości w czasie skrawania. PAK, vol. 4, s. 326-329, 2010.
- [9] Adamczak S.: Pomiar geometryczny powierzchni. WNT, Warszawa, 2008.
- [10] PN-ISO 3685:1996 Badanie trwałości noży tokarskich punktowych.

otrzymano / received: 08.03.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.05.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Wydawnictwo PAK

specjalizuje się w wydawaniu czasopisma *Pomiary Automatyka Kontrola* i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 22 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 32 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl