

Zastosowanie technik przetwarzania obrazów do identyfikacji śladów obróbki ścierniej

Identification of machining marks on abrasive treated surfaces, using image processing techniques

CZESŁAW ŁUKIANOWICZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.11.181>

Prezentowano podstawy wybranych technik przetwarzania obrazów opartych na przekształceniach Fouriera, Radona i Hougha, które są stosowane do szybkiej identyfikacji śladów obróbki na powierzchniach obrobionych ściernie. Pokazano przykład programu pozwalającego na identyfikację śladów obróbki.

SŁOWA KLUCZOWE: przetwarzanie obrazu, ślady obróbki, przekształcenie Hougha, filtry adaptacyjne

The principles of selected image processing techniques based on Fourier, Radon and Hough transformations are presented. The techniques can be used to quick identification of the machined marks on surfaces after abrasive machining. Example of software that allow the identification of machined marks is shown.

KEYWORDS: image processing, machined marks, Hough transform, adaptive filters

W procesach obróbki ścierniej na skutek oddziaływania narzędzia ściernego z powierzchnią na powierzchni obrobionej powstają charakterystyczne ślady obróbki. Kształt i wymiary tych śladów zależą przede wszystkim od sposobu i parametrów obróbki, układu kinematycznego i sztywności obrabiarki, rodzaju oraz właściwości narzędzia ściernego, a także od materiału i ukształtowania powierzchni obrabianej. Podczas obserwacji powierzchni można identyfikować ślady obróbki powstałe w wyniku ostatniej operacji, a niekiedy też ślady obróbek poprzedzających.

Identyfikacja śladów obróbki rozumiana jest w niniejszej pracy w sposób ogólny. Polega ona na rozpoznaniu poszczególnych śladów, a następnie zakwalifikowaniu ich do określonej grupy, wyróżnionej z uwagi na pewne cechy i właściwości takie jak kształt. Niekiedy oprócz identyfikacji śladów obróbki dokonuje się identyfikacji i oceny wad powierzchniowych.

Obserwacja powierzchni prowadzona jest na ogół z wykorzystaniem różnorodnych technik mikroskopowych. Wynika to z dążenia do wnikliwego badania niewielkich obszarów powierzchni. Nowoczesne mikroskopy pozwalają nie tylko na cyfrowy zapis obrazów, lecz także na ich przetwarzanie i analizę.

W artykule krótko rozpatrzono techniki przetwarzania obrazów pozwalające wyodrębnić charakterystyczne ślady obróbki. Podano także przykłady zastosowania niektórych z tych technik do identyfikacji i analizy śladów obróbki powierzchni obrobionych ściernie, np. powierzchni szlifowanych.

Podstawy identyfikacji śladów obróbki

Na gotowej powierzchni pozostają ślady obróbki. Do całościowej oceny struktury geometrycznej powierzchni ze śladami obróbki można zastosować różne metody, np. z użyciem profilometrów stykowych lub systemów optycznych [1]. Jeśli niezbędne jest zidentyfikowanie i ocena pojedynczych śladów obróbki lub zbiorów takich śladów, najbardziej przydatne są metody mikroskopowe, wspomagane komputerowym przetwarzaniem i analizą obrazów.

Typowe ślady obróbki mają określone położenie i charakterystyczne kształty, które mogą być podobne do takich obiektów geometrycznych, jak odcinki linii prostych czy okręgi. W mikroskopowych obrazach powierzchni obrobionej ujawniają się mniej lub bardziej wyraźnie czynniki zakłócające, które wystąpiły podczas obróbki. W celu ich przeanalizowania należy przeprowadzić wstępne przetwarzanie obrazów i wyodrębnić te elementy obrazów, które należą do charakterystycznych śladów obróbki. Operacja ta – nazywana identyfikacją lub rozpoznawaniem śladów obróbki – sprowadza się do stwierdzenia, jakie obiekty o charakterystycznych kształtach opisujących typowe ślady obróbki są obecne w obrazie obrobionej powierzchni.

Ogólna teoria identyfikacji kształtu obiektów, oparta na porównywaniu tzw. deskryptorów kształtu, została przedstawiona w pracy [2]. Najczęściej identyfikacja kształtu obiektów w obrazie opiera się na zastosowaniu przekształcenia Hougha [3,4].

Obraz, w którym występują różnorodne obiekty, w tym obiekty poszukiwane, poddaje się wstępnemu przetwarzaniu, którego głównym celem jest detekcja krawędzi obiektów. Transformacja Hougha jest odwzorowaniem płaszczyzny obrazu w przestrzeni parametrów opisujących kształt i położenie poszukiwanego obiektu. Idea tego przekształcenia w zastosowaniu do identyfikacji kształtu obiektów, którymi mogą być ślady obróbki, polega na zastąpieniu wykrywania obiektów o określonym kształcie bezpośrednio w obrazie powierzchni, detekcją wartości szczytowych (pików) w przestrzeni parametrów, nazywanej także przestrzenią Hougha i przestrzenią akumulacji.

Przestrzeń parametrów jest podzielona na komórki, które tworzą wielowymiarową tablicę. W niej gromadzone są wyniki tzw. głosowania. Dla każdej komórki i jej sąsiadów algorytm określa, czy w tym miejscu krawędź obiektu ma dostateczną wagę. Jeśli tak, algorytm oblicza parametry linii i, „głosując”, zwiększa wartość w komórce odpowiadającej tym parametrom. Znaczne wartości zgromadzone w danej komórce są świadectwem tego, że w obrazie poddanym przekształceniu Hougha znajduje się obiekt o kształcie i położeniu, którego parametry określono współrzędnymi danej komórki w przestrzeni Hougha.

* Dr hab. inż. Czesław Łukianowicz (czeslaw.lukianowicz@tu.koszalin.pl)
– Katedra Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej



Rys. 1. Schemat blokowy pokazujący poszczególne etapy transformacji Hougha (TH) w zastosowaniu do identyfikacji kształtu sparametryzowanego obiektu

Etapy transformacji Hougha stosowanej do identyfikacji sparametryzowanego obiektu pokazano na rys. 1.

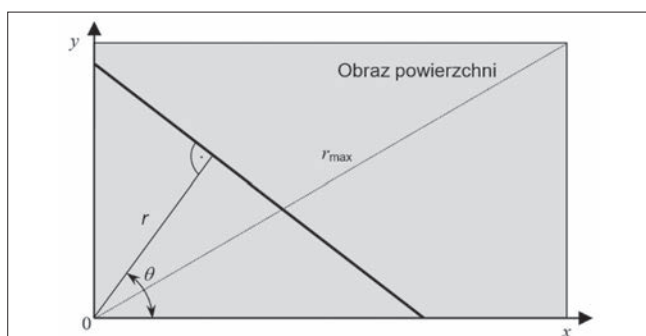
Jeśli poszukuje się w obrazie powierzchni dowolnie usytuowanych obiektów o kształtach prostoliniowych, np. prostoliniowych śladów obróbki ścierniej powierzchni, takiej jak szlifowanie czy gładzenie, ich identyfikacja może być dokonana za pomocą przekształcenia Radona lub transformacji Hougha, która w tym przypadku stanowi szczególny przypadek całkowitego przekształcenia Radona [3–5]. Zarówno transformacja Hougha, jak i przekształcenia Radona są wówczas oparte na spostrzeżeniu, że linia prosta, która w kartezjańskim układzie współrzędnych Oxy jest opisana równaniem kierunkowym:

$$y = ax + b \quad (1)$$

może być także zapisana za pomocą tzw. równania normalnego:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

gdzie: a – współczynnik kierunkowy prostej, b – rzędna punktu przecięcia prostej z osią Oy , r – odległość prostej od początku układu współrzędnych Oxy , θ – kąt między normalną do prostej i osią Ox , co pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Prosta w płaszczyźnie obrazu i parametry równania normalnego tej prostej

Odwzorowanie tej prostej, zgodnie z transformacją Hougha, może być dokonane w przestrzeni parametrów (a, b) lub (r, θ) . Ten ostatni wariant jest korzystniejszy i stosowany w praktyce, gdyż parametr a dla linii równoległych do osi rzędnych przyjmuje wartości nieskończone. Natomiast parametr r zmienia się w zakresie od 0 do $r_{\max}$, a kąt θ może przyjmować wartości z zakresu od 0 do π .

Innym sposobem identyfikacji śladów obróbki jest wykorzystanie w procesie przetwarzania obrazu powierzchni metody separacji charakterystycznych kształtów i innych cech, opisujących ślady obróbki, oraz tła obrazu. Może to być potrzebne do oceny parametrów geometrycznych

śladów obróbki [6]. Metoda ta opiera się na założeniu, że obraz powierzchni jest sumą dwóch sygnałów:

$$o(x, y) = s(x, y) + t(x, y) \quad (3)$$

gdzie: $o(x, y)$ – sygnał reprezentujący obraz powierzchni, $s(x, y)$ – sygnał zawarty w obrazie powierzchni, opisujący charakterystyczne ślady obróbki, $t(x, y)$ – sygnał zawarty w obrazie powierzchni, opisujący wszystkie inne elementy obrazu powierzchni z wyłączeniem śladów obróbki. Metoda ta nie jest tak uniwersalna jak metody oparte na przekształceniach Radona i Hougha. Może jednak być zastosowana np. do identyfikacji śladów obróbki ścierniej na powierzchniach poddanych wybranym operacjom.

Idea tej metody, w odniesieniu do identyfikacji prostoliniowych śladów obróbki, polega na odpowiednim słumieniu składowych promieniowych w widmie fourierowskim obrazu powierzchni, a następnie rozdzieleniu składowych widma fourierowskiego opisujących ślady obróbki i tło. Osiąga się to w kilku krokach.

Pierwszym z nich jest przekształcenie Fouriera obrazu powierzchni i wyznaczenie logarytmu modułu widma fourierowskiego obrazu powierzchni. Następnie zlogarytmowane widmo fourierowskie transformuje się z kartezjańskiego, prostokątnego układu współrzędnych do układu współrzędnych biegunowych. W układzie biegunowym zlogarytmowany moduł widma fourierowskiego określany jest we współrzędnych (ρ, φ) , gdzie ρ jest długością promienia wodzącego, a φ – kątem określającym kierunek promienia wodzącego.

W kolejnym kroku, po pomnożeniu zlogarytmowanego modułu widma fourierowskiego przez bezwzględną wartość promienia ρ , dokonywane jest jeszcze jedno przekształcenie Fouriera, w wyniku czego otrzymuje się w znacznym stopniu przestrzennie rozdzielone składowe widma sygnałów $s(x, y)$ i $t(x, y)$. W płaszczyźnie częstotliwości przestrzennych f_ρ, f_φ składowe widma sygnału $s(x, y)$ są skupione wzdłuż kierunku osi f_ρ , a składowe widma tła $t(x, y)$ – wzdłuż osi f_φ . Możliwe jest zatem zastosowanie w płaszczyźnie f_ρ, f_φ programowanego adaptacyjnego filtra tłumiącego składowe tła w celu dokonania, w kolejnym kroku, separacji składowych widma tła i widma śladów obróbki. Następnie, z zastosowaniem przekształceń odwrotnych do wcześniej opisanych, uzyskuje się oddzielnie obraz śladów obróbki oraz tła.

Zaprezentowany sposób identyfikacji śladów obróbki szczegółowo przedstawiono w pracy [7], a jego zastosowanie do analizy śladów obróbki i wad powierzchni gładzonych opisano w pracach [8, 9].

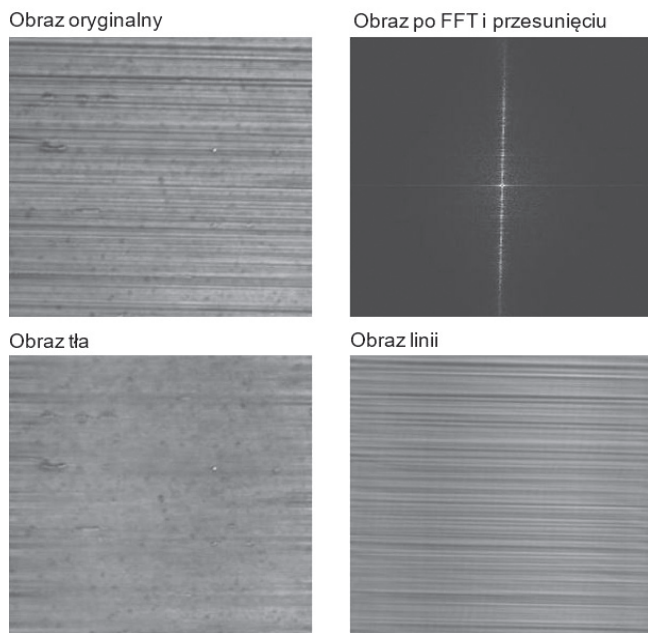
W Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej opracowano wstępną wersję oprogramowania komputerowego o nazwie Filtr realizującego tę ideę [10]. W dalszej części artykułu pokazano przykłady zastosowania tego oprogramowania do identyfikacji śladów obróbki na powierzchniach obrobionych ściernie.

Wyniki identyfikacji śladów obróbki

Program Filtr jest przeznaczony do analizy szaroodcieniowych obrazów ośmiobitowych zapisanych w formacie bitmapowym. Umożliwia separację tła obrazu i linii prostych zawartych w obrazie. Program wykorzystuje w procesie przetwarzania obrazu procedury prostej (FFT) i odwrotnej (FFT⁻¹) szybkiej transformaty Fouriera. Użytkownik może określić, z poziomu klawiatury, stopień wzmocnienia sygnału zawartego w obrazie i ustalić wartość parametrów filtra zaporowego, tłumiącego w płaszczyźnie f_ρ, f_φ składowe widma fourierowskiego tła obrazu.

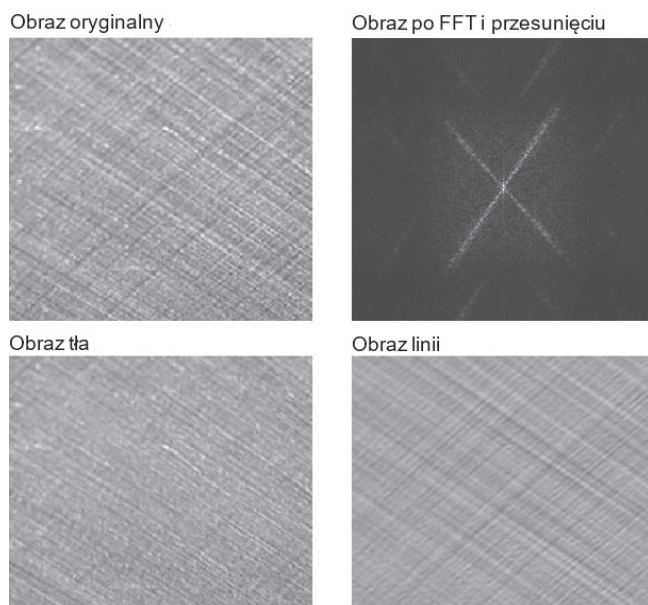
Za pomocą programu Filtr przeprowadzono próby wydzielenia z obrazów powierzchni obrobionych ściernie charakterystycznych śladów obróbki w postaci odcinków linii prostych. Badaniom poddano 20 obrazów. Były to m.in. obrazy powierzchni szlifowanych, polerowanych i gładzonych.

Uzyskiwano cztery obrazy: oryginalny, niezmieniony obraz powierzchni badanej, obraz modułu dwuwymiarowej transformaty Fouriera oryginalnego obrazu powierzchni (uzyskany w wyniku zastosowania algorytmu FFT), a także otrzymane w rezultacie separacji obrazy tła i linii prostych.

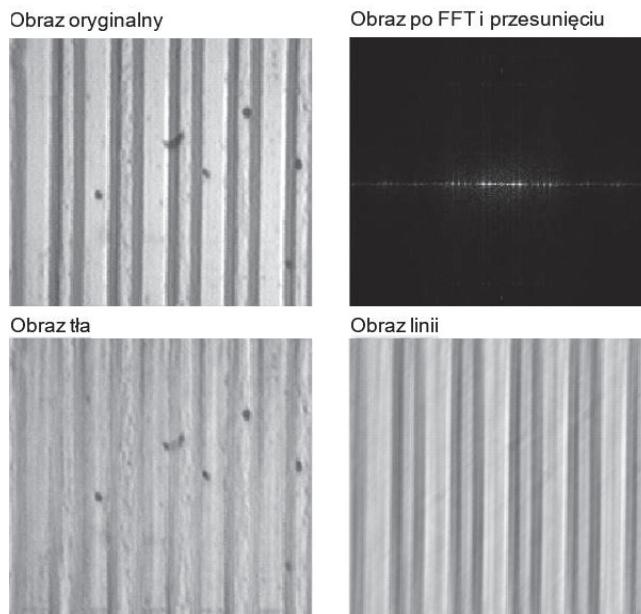


Rys. 3. Wyniki separacji prostoliniowych śladów obróbki i tła powierzchni szlifowanej

Na rys. 3–5 pokazano przykładowe zestawy obrazów uzyskane podczas separacji prostoliniowych śladów obróbki i tła powierzchni szlifowanej, gładzonej i powierzchni wzorca kontrolnego z charakterystycznymi rowkami. W tym ostatnim przypadku w wyniku separacji otrzymano obraz krawędzi rowków oraz wady powierzchni widoczne na obrazie tła.



Rys. 4. Wyniki separacji prostoliniowych śladów obróbki i tła powierzchni gładzonej



Rys. 5. Wyniki separacji prostoliniowych śladów i tła powierzchni szklanego rowkowanego wzorca kontrolnego do sprawdzania profilometrów, z docieranymi powierzchniami bocznymi rowków

Podsumowanie

Pokazano, że identyfikacja śladów obróbki na powierzchniach obrobionych ściernie może być przeprowadzona różnymi metodami, w tym za pomocą przetwarzania obrazów z wykorzystaniem przekształceń całkowych, takich jak przekształcenie Radona, Hougha i Fouriera. W przypadku identyfikacji prostoliniowych śladów obróbki można wykorzystać uniwersalne algorytmy filtracji przetworzonego obrazu powierzchni, aby odseparować linie prostych zawarte w obrazie od tła. Przedstawiono przykładowe wyniki wyodrębniania struktur prostoliniowych, uzyskane podczas badań powierzchni obrobionych ściernie.

LITERATURA

1. Böhm J.A., Vernes A., Vellekoop M.J. "Investigation of chatter marks on ground surfaces by means of optical methods". *Optics and Lasers in Engineering*. 49, 11 (2011): s. 1309–1313.
2. Cao F., Lisani J.-L., Morel J.-M., Musé P., Sur F. "A theory of shape identification". *Lecture Notes in Mathematics*. 1948, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
3. Davies E.R. "Object location using the Hough transform". B.G. Batchelor ed. *Machine Vision Handbook*. London, New York: Springer-Verlag, 2012.
4. Mukhopadhyay P., Chaudhuri B.B. "A survey of Hough Transform". *Pattern Recognition*. 48, 3 (2015): s. 993–1010.
5. Volegov D.B., Gusev V.V., Yurin D.V. "Straight line detection on images via hartley transform. fast hough transform" (ros.). *Proceedings of International Conference Graphicon 2006*, Novosibirsk Akademgorodok, <http://www.graphicon.ru/> (dostęp: 22.06.2018 r.).
6. Lawrence D.K., Ramamoorthy B. "An accurate and robust method for the honing angle evaluation of cylinder liner surface using machine vision". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 55, 5–8 (2011): s. 611–621.
7. Beyerer J., Puente León F. "Adaptive separation of random lines and background". *Optical Engineering*. 37, 10 (1998): s. 2733–2741.
8. Beyerer J., Krahe D., Puente León F. "Characterization of cylinder bores". E. Mainsah, J.A. Greenwood, D.G. Chetwynd red. *Metrology and Properties of Engineering Surfaces*. Dordrecht: Springer-Science + Business Media B.V., 2002.
9. Wang L. "Image Analysis and Evaluation of Cylinder Bore Surfaces in Micrographs". Karlsruhe, KIT Scientific Publishing, 2014.
10. Tonderyś M. "Zastosowanie transformacji Fouriera w komputerowej analizie obrazów powierzchni technicznych". Praca magisterska. Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2000. ■