# Wykrywanie zużycia ostrza na podstawie analizy różnic pomiędzy zdjęciami z oświetleniem z różnych kierunków

Analysis of differences between images with lighting from different directions for detection of tool wear

## **KRZYSZTOF BŁAŻEJAK\***

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.122 English version available on: www.mechanik.media.pl

W trakcie budowy systemu opartego na metodach wizyjnych najważniejszy jest dobór oświetlenia. Prawidłowo ustawione upraszcza analizę zdjęć. Opracowano prototyp systemu wykrywania obszaru starcia powierzchni przyłożenia noży tokarskich, ukazującego różnice pomiędzy kolejnymi zdjęciami tego samego ostrza oświetlonego z różnych kierunków. SŁOWA KLUCZOWE: diagnostyka stanu narzędzia, skrawanie, metody wizyjne

In developing a vision-based system, the most important thing is choosing the lighting. Properly set up simplifies image analysis. The prototype of the system for detecting wear of flank face, which detects the differences between successive images of the same tool illuminated from different directions, has been developed.

KEYWORDS: tool condition monitoring, cutting, machine vision

Diagnostyka stanu narzędzia skrawającego jest warunkiem koniecznym automatyzacji wytwarzania, która ma na celu zapewnienie odpowiedniej jakości wytwarzania przedmiotów. Jest ona szczególnie istotna w przemyśle lotniczym, w którym często wykonuje się kosztowne przedmioty. Ostrze o wysokim stopniu zużycia może być przyczyną uszkodzenia obrabianej części, co najczęściej prowadzi do przedwczesnej wymiany narzędzia. Powoduje to wzrost kosztów związanych z przestojem maszyny na czas przezbrojenia oraz zakupem większej liczby narzędzi.

W wielu ośrodkach na świecie zainspirowało to prace nad budową systemu diagnostyki ostrza. Najbardziej rozpowszechnione są rozwiązania badające stopień zużycia ostrza w sposób pośredni [1, 2], np. w oparciu o przebieg sygnałów z czujników sił, drgań, emisji akustycznej oraz mocy. Przykładem może być system automatycznej diagnostyki stanu ostrza opracowywany w Zakładzie Automatyzacji i Obróbki Skrawaniem Politechniki Warszawskiej [3,4]. Innym podejściem do pośredniej oceny stanu ostrza jest wizyjna ocena wiórów [5].

Wymienione sposoby oceny stanu ostrza wykorzystują diagnostykę pośrednią, a więc wymagają powiązania pewnej mierzonej wielkości ze stopniem zużycia ostrza. Alternatywnym podejściem byłoby stosowanie wskaźników bezpośrednich. Do takich należy zaliczyć wielkości geometryczne opisujące zużycie narzędzia. Jedna z metod wykorzystuje sondy narzędziowe, które prowadzą pomiar zużycia w sposób mechaniczny [6], poprzez bezpośredni kontakt z narzędziem, mierząc przesunięcie wierzchołka narzędzia. Najdokładniejsze pomiary zużycia można prowadzić za pomocą mikroskopów warsztatowych, to jednak wymaga zdjęcia narzędzia z obrabiarki, co pochłania dużo czasu i jest niedopuszczalne w praktyce przemysłowej. Odrębną, rozwijającą się grupą technik diagnostycznych jest zastosowanie automatycznych metod wizyjnych [7]. Bezpośrednia obserwacja narzędzia w przerwach obróbki wydaje się obiecującym sposobem na uzyskanie parametrów geometrycznych, które mogą być wykorzystane jako dokładne wskaźniki zużycia ostrza. Podstawowym kryterium rozwiązywania problemów w metodach wizyjnych jest właściwe dobranie sprzętu do projektowanego rozwiązania. Istotne jest dobranie kamery oraz obiektywu, jednak kluczową rolę odgrywa oświetlacz. Dobrze wykonane zdjęcie upraszcza dalszą obróbkę cyfrową.

Najprostszym podejściem do wykrywania zużytego obszaru narzędzia jest oświetlenie ostrza i szukanie refleksów, które zwykle są znacznie wyraźniejsze na startej części niż na niezużytym narzędziu. Takie podejście zastosowano w [8].

Bardziej złożone systemy oferują oświetlenie sterowane. W [9] zastosowano nowatorskie podejście z dwoma światłowodami służącymi do oświetlenia narzędzia. Źródła światła można było płynnie regulować, co pozwoliło na odpowiednie wybłyszczenie strefy zużycia. Rozwinięciem koncepcji sterowanego oświetlenia było zastosowanie oświetlacza pierścieniowego [10], pozwalającego na oświetlanie narzędzia z różnych kierunków. Zdjęcia są ze sobą porównywane pod względem przemieszczających się konturów. Te, które się nie przemieszczają, uznawane są za kontury pochodzące ze zużycia. Pozwala to zniwelować wpływ refleksów, które przesuwają się zależnie od kąta oświetlenia.

W niniejszej pracy zdecydowano się na zastosowanie oświetlacza pozwalającego na oświetlenie ostrza z 8 niezależnych kierunków. Analiza różnic pomiędzy kolejnymi zdjęciami pozwala na stosunkowo proste oraz niezawodne wyodrębnienie obszaru zużycia, co umożliwia prowadzenie diagnostyki stanu narzędzia w trakcie przerw w obróbce.

### Opis automatycznego wyznaczania zużycia

W celu określenia zużycia ostrza używany był specjalny zestaw optyczny składający się z kamery Basler Aviator avA2300-25gm z obiektywem Schneider APO-CPN 4.0/60 zamocowanym na dystansie o długości 125 mm. Ustawiono najmniejszą możliwą przysłonę, co zapewnia maksymalną głębię ostrości. Pomiędzy obiektywem a fotografowanym narzędziem znajdował się specjalnie do tego celu wykonany oświetlacz. Zbudowano go z diod elektroluminescencyjnych LL-R2835VC-V1H-M30, umieszczonych na obwodzie układu optycznego w 8 grupach po 13 diod. Użytkownik systemu wybiera, które segmenty mają być zapalane w trakcie wykonywania danego ujęcia. Diody dobrano w kolorze czerwonym, gdyż wykonywanie fotografii przy świetle monochromatycznym umożliwia redukcję błędów związanych z aberracją chromatyczną obiektywu. Układ pomiarowy przedstawiono schematycznie na rys. 1.

<sup>\*</sup> Mgr inż. Krzysztof Błażejak (krzysztof.blazejak@gmail.com) – Zakład Automatyzacji i Obróbki Skrawaniem Politechniki Warszawskiej



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego do różnicowej analizy zdjęć

Na rys. 2 przedstawiono segmenty diod LED wyselekcjonowane do oświetlenia analizowanego ostrza. Wybrano fotografie, na których oświetlenie powierzchni przyłożenia było zbliżone, z dużymi różnicami w obszarze zużycia. Fotografie te zostały przedstawione na rys. 3 (zdjęcie *A*) oraz na rys. 4 (zdjęcie *B*).



Rys. 2. Segmenty diod LED wyselekcjonowane do analizy przykładowego ostrza; widok z perspektywy obiektywu



Rys. 3. Zdjęcie A stanowiące odjemną w analizie różnicowej



Rys. 4. Zdjęcie B stanowiące odjemnik w analizie różnicowej

Zdjęcia A i B, z oświetleniem przedmiotu pod różnymi kątami, wykazują największą różnicę w obszarze zużycia powierzchni przyłożenia. Na rys. 5 przedstawiono wynik algebraicznej różnicy między zdjęciami A oraz B.



Rys. 5. Różnica między zdjęciami A i B

Wynik odejmowania obu zdjęć został następnie poddany operacji progowania (rys. 6), która zamieniła obraz w skali szarości 8-bitowej w obraz binarny, na którym możliwe było przeprowadzenie operacji morfologicznych, oczyszczających obraz z zakłóceń.



Rys. 6. Wynik progowania różnicy między zdjęciami A i B

Na obrazie po progowaniu zwykle widocznych jest wiele niewielkich zakłóceń, które nie należą do obszaru zużycia. Aby się ich pozbyć, należało zastosować operację usunięcia małych obiektów, której efekt pokazano na rys.7.



Rys. 7. Wynik operacji morfologicznej - usunięcia małych obiektów

Następnym krokiem było zastosowanie operacji dylatacji w celu ujednolicenia krawędzi obszaru zużycia. Wynik tej czynności pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Wynik operacji morfologicznej - dylatacji

W obszarze zużycia często obecne są niewielkie wtrącenia, które usunięto za pomocą operacji wypełnienia otworów w obiektach, co pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Wynik operacji morfologicznej - wypełnienia otworów

Kolejnym krokiem było przywrócenie obiektom ich wyjściowych wymiarów, które zostały utracone w wyniku operacji dylatacji. W tym celu zastosowano operację odwrotną, czyli erozję, której efekt jest widoczny na rys. 10.



Rys. 10. Wynik operacji morfologicznej - erozji

Na rys. 11 pokazano efekty operacji usunięcia małych obiektów. Jednak tym razem uwzględniała ona większe elementy.



Rys. 11. Wynik operacji morfologicznej - usunięcia małych obiektów

Na obrazie widoczny był już tylko pożądany obszar zużycia oraz wybłyszczenie przy brzegu. Za pomocą operacji usunięcia obiektów brzegowych (rys. 12) obraz został doprowadzony do stanu, w którym widać tylko starcie powierzchni przyłożenia.



Rys. 12. Wynik operacji morfologicznej – usunięcia obiektów brzegowych

Na rys. 13 pokazano efekt naniesienia obszaru z rys. 12 na obraz *B* z rys. 4. Widoczne są na nim również dwie zielone linie. Górna odpowiada głównej krawędzi skrawającej (jej wykrycie przeprowadza się na niewykadrowanym obrazie, na którym widać całą grubość płytki, poprzez wykrycie jej dolnej krawędzi – co jest bardziej odporne na zakłócenia – a następnie przesunięcie o znaną grubość płytki). Natomiast dolna linia odpowiada najniżej wysuniętemu punktowi z obszaru zużycia. Odległość pomiędzy tymi liniami jest jednym z najbardziej popularnych bezpośrednich wskaźników zużycia ostrza – *VB*<sub>Bmax</sub> (zdefiniowane według normy ISO 3685:1993).



Rys. 13. Zdjęcie *B* z zaznaczonym wykrytym zużyciem (czerwony kolor) oraz liniami krawędzi skrawającej i wysuniętego maksymalnie w dół punktu obszaru zużycia (zielone linie)

Dodatkowo, aby uniknąć zakłóceń, wykonuje się serię par zdjęć z różnymi czasami ekspozycji: 167 ms, 206 ms, 244 ms, 283 ms, 322 ms, 361 ms i 400 ms. Pomiar zużycia wykonywany jest dla wszystkich par, a za wartość zużycia przyjmowany jest najmniejszy uzyskany pomiar.

#### Weryfikacja działania algorytmu

W trakcie eksperymentu skrawano stal 18HGT na obrabiarce TUD-50 z użyciem oprawki DSDNN 2020K 12 z zamontowaną płytką SNMG 12 04 08 PM 4325. Prędkość skrawania wynosiła  $v_c = 250$  m/min, głębokość skrawania  $a_p = 1,8$  mm, a posuw f = 0,16 mm/obr. Kryterium zużycia była wartość  $VB_{\rm Bmax} = 0,3$  mm. Algorytm został skalibrowany do wykrycia zużycia bliskiego stępienia ostrza, gdyż znalezienie uniwersalnych parametrów przekształceń morfologicznych okazało się niemożliwe. W związku z tym jego prawidłowa praca zaczyna się dla  $VB_{\rm Bmax}$  powyżej 0,15 mm.

Wyniki pomiarów zużycia w funkcji czasu przedstawiono na rys. 14. Obrazuje on wyniki testu opisanego algorytmu działającego w sposób automatyczny oraz średnią z pomiarów wykonanych ręcznie przez trzy niezależne osoby. Średnia różnica pomiędzy pomiarami ręcznymi a automatycznymi wynosiła 14,5 µm przy odchyleniu standardowym równym 10,6 µm.



Rys. 14. Zależność zmierzonego zużycia od czasu skrawania

#### Podsumowanie

Opisana metoda automatycznego wyznaczania zużycia ostrza tokarskiego na podstawie zdjęć ma swoje ograniczenia, wymagające od użytkownika zastosowania systemu kalibracji parametrów przetwarzania obrazu pod konkretnie dobraną wielkość wskaźnika zużycia. W określonym zakresie działa jednak prawidłowo i stabilnie.

Metoda wydaje się obiecująca, zwłaszcza dla branży lotniczej, gdzie typowym działaniem jest wymiana ostrych narzędzi na nowe w celu uniknięcia uszkodzeń drogich przedmiotów w trakcie obróbki. Wprowadzenie diagnostyki przeprowadzanej bezpośrednio na maszynie umożliwiłoby znaczące obniżenie kosztów przezbrajania obrabiarki.

#### LITERATURA

- Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfeld D. "Advanced monitoring of machining operations". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 59, 2 (2010): s. 717–739.
- Siddhpura A., Paurobally R. "A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning proces". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 65, 1–4 (2013): s. 371–393.
- Jemielniak K., Urbański T., Kossakowska J., Bombiński S. "Tool condition monitoring based on numerous signal features". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 59, 1–4 (2012): s. 73–81.
- Bombiński S., Błażejak K., Nejman M., Jemielniak K. "Sensor Signal Segmentation for Tool Condition Monitoring". *7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting.* (2016): s. 155–160.
- Żaczek J., Kossakowska J., Bombiński S. "Analiza możliwości wykorzystania systemu wizyjnego do rozpoznawania typu wiórów". *Inżynieria Maszyn.* 19, 1 (2014): s. 102–114.
- Chrzanowski J. "Sonda narzędziowa z funkcją pomiaru zużycia ostrza". Mechanik. 12 (2015): s.14–17.
- Dutta S., Pal S.K., Mukhopadhyay S., Sen R. "Application of digital image processing in tool condition monitoring: A review". *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 6, 3 (2013): s. 212–232.
- Weis W. "Tool wear measurement on basis of optical sensors, vision systems and neuronal networks (application milling)". *Proceedings of* WESCON '93. (1993): s. 134–138.
- Kurada S., Bradley C. "A machine vision system for tool wear assessment". Tribology International. 30, 4 (1997): s. 295–304.
- Pfeifer T., Wiegers L. "Reliable tool wear monitoring by optimized image and illumination control in machine vision". *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation.* 28, 3 (2000): s. 209–218.