

Jakub ŻACZEK<sup>1</sup>  
Sebastian BOMBIŃSKI<sup>1</sup>

## **WIZYJNY SYSTEM DIAGNOSTYKI STANU OSTRZA PRZY TOCZENIU**

System diagnostyki stanu narzędzia jest wciąż brakującym elementem wyposażenia zaawansowanych maszyn do obróbki skrawaniem. Efektywny układ tego typu zwiększyłby wydajność obróbki, przy jednoczesnym wzroście dokładności i niezawodności. Pozwoliłby również na pełną, elastyczną automatyzację wytwarzania. W artykule przedstawiono działający na tokarce CNC system wizyjny do diagnostyki stanu narzędzia przy toczeniu. Zdjęcie narzędzia wykonywane jest w określonych przerwach w obróbce, a następnie wyznaczany jest poziom zużycia ostrza wykorzystując do tego metody cyfrowego przetwarzania obrazu. Główną zaletą systemu jest możliwość oceny stanu ostrza skrawającego narzędzi o różnych geometriach. Ponadto system poprawnie wskazuje obszar zużycia ostrza niezależnie od własności powierzchni narzędzia, takich jak kolor, czy refleksyjność. Co więcej rozwiązano także problem powstawania narostów, które powodują błędne określenie poziomu zużycia. System testowano w czasie obróbki z zastosowaniem narzędzi o różnej geometrii i różnych powierzchniach zewnętrznych. Testy potwierdziły skuteczność układu.

### **1. WSTĘP**

Istniejące obecnie systemy diagnostyki stanu narzędzia można podzielić na rozwiązania przemysłowe oraz laboratoryjne. Te pierwsze nie odznaczają się wysoką skutecznością, o czym donoszą sami użytkownicy. Rozwiązania laboratoryjne z kolei, pomimo licznych publikacji, nie zostały do tej pory wdrożone w przemyśle. Działania tych systemów oparte jest na bezpośrednich lub pośrednich wskaźnikach zużycia ostrza. Większość rozwiązań wykorzystuje wskaźniki pośrednie, takie jak siły skrawania, emisja akustyczna, czy drgania. Przy stosowaniu wskaźników bezpośrednich używa się natomiast np. specjalnie wykonanych sond narzędziowych.

Postęp techniki, w szczególności związanej z podzespołami komputerów oraz fotografii cyfrowej, umożliwił dynamiczny rozwój systemów wizyjnych. Zakres dziedzin, w których są one stosowane jest bardzo szeroki. W ostatnim dziesięcioleciu pojawiło się wiele publikacji opisujących laboratoryjne systemy wizyjne do diagnostyki stanu narzędzia skrawającego. Większość z systemów bazuje na kamerach rejestrujących obraz w świetle widzialnym. Są jednak również przypadki stosowania podczerwieni [4]. Publikowane

---

<sup>1</sup> Zakład Automatyzacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem, Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej

wizyjne systemy laboratoryjne dzielą się na bezpośrednie i pośrednie. Systemy bezpośrednie wykorzystują metody dwu- [6] lub trójwymiarowe [10]. W systemach dwuwymiarowych spotyka się dwa podejścia: obserwacja obrysu [5] lub obserwacja powierzchni narzędzia [1],[7],[9]. Występują również metody dwuwymiarowe wykorzystujące światło lasera [2]. Metody dwuwymiarowe są także stosowane przy wskaźnikach pośrednich, takich jak jakość powierzchni obrobionej lub postać wiórów [3]. Ciekawym rozwiązaniem jest połączenie zalet systemów wizyjnych i tych bazujących na czujnikach pomiarowych. Przykładem może być praca [1], gdzie zaproponowano system hybrydowy, wykorzystujący sygnały z czujnika sił skrawania oraz obraz zużycia ostrza.

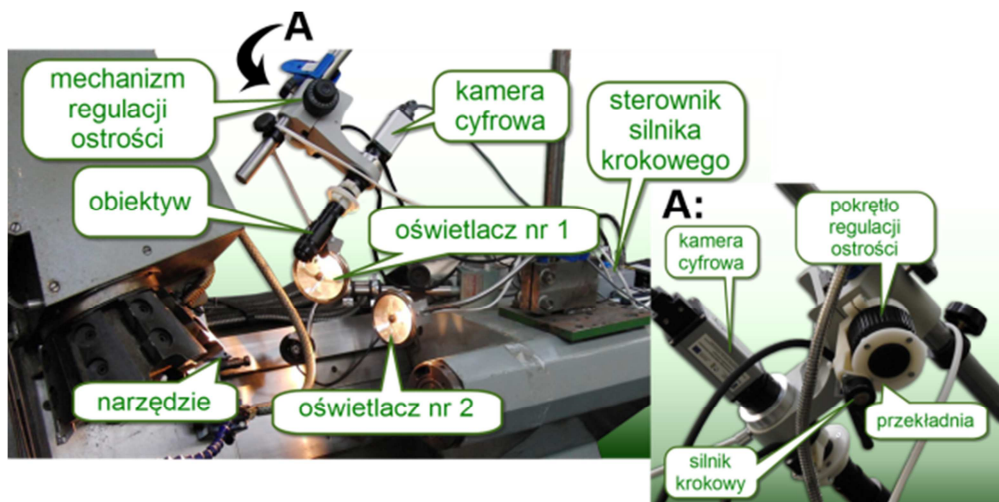
Cechą wspólną wymienionych wyżej systemów jest to, że ich skuteczność wykazano jedynie dla konkretnego narzędzia. System wizyjny prezentowany w tym artykule został zaprojektowany tak, by wskazywać poziom zużycia ostrza niezależnie od geometrii czy koloru narzędzia. Prototyp systemu został zamontowany na tokarce CNC i może prowadzić diagnostykę wielu narzędzi skrawających.

## 2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

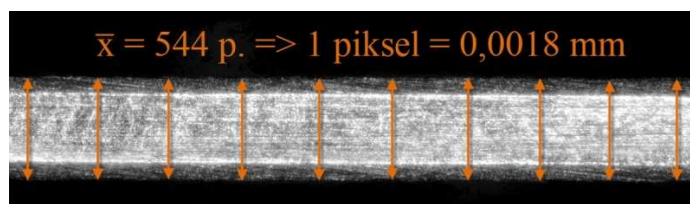
System wizyjny zainstalowano na tokarce sterowanej numerycznie TKX 50N (rys. 1). Podstawowe parametry obrabiarki są następujące: układ sterowania: Siemens Sinumerik MCM 103, moc napędu głównego 32kW, uchwyt narzędzia o przekroju 32x32mm (lewy), obroty wrzeciona:  $n=50\div 1800$ obr/min; maksymalna średnica toczenia nad łożem 500mm, maksymalna średnica toczenia nad suportem 275mm; uchwyt przedmiotowy samocentrujący, trójścżękowy. Podstawowym elementem układu optycznego jest obiektyw zmiennoogniskowy Monozoom firmy Opta-Tech. Umożliwia on bezstopniową regulację powiększenia w zakresie od 0,75 do 5 razy. Posiada on gwint do montażu kamery typu C-mount. Jest on montowany w specjalnym uchwycie, który posiada mechanizm ruchu posuwisto-zwrotnego w kierunku osi optycznej obiektywu, co daje możliwość regulacji ostrości. Położenie ustawiane jest za pośrednictwem śruby makro- bądź mikrometrycznej. Mechanizm ruchu wykorzystujący śrubę mikrometryczną został zmotoryzowany przy użyciu silnika krokowego Nanotec SP2575M0206-A oraz specjalnie wykonanej przekładni. Silnik sterowany jest przez sterownik Nanotec SMCI12, komunikujący się z komputerem przez interfejs RS-232. W systemie wykorzystano kolorową kamerę obrazową IDS UI-5490HE-C-HQ. Urządzenie posiada przetwornik typu CMOS o rozdzielczości 3840 x 2748 pikseli (10Mpx), formatu 1/2" (6,413 x 4,589mm) i rozmiarze piksela 1,67 $\mu$ m. Przetwornik zapisuje obraz z 12-sto bitową głębią koloru. Maksymalna liczba klatek na sekundę jaką może zapisać kamera jest równa 10 (fps). Kamera łączy się z komputerem przez interfejs GigE (GigaEthernet). Posiada mocowanie typu C-mount. W systemie wykorzystane są dwa oświetlacze halogenowe Osram HALOSPOT 111 o mocy 100W i kącie rozproszenia wiązki światła równym 8°.

Wzorcowania kamery dokonano przy pomocy płytki wzorcowej 1,00mm. W pierwszej kolejności ustalono powiększenie, przy którym wykonywano zdjęcia narzędzi. Przy ustalonym powiększeniu zrobiono zdjęcie powierzchni płytki wzorcowej. Następnie

wyznaczono liczbę pikseli obrazu płytki, przypadającą na 1mm wysokości. Przeprowadzono 10 pomiarów na całej szerokości obrazu, a wynik uśredniono (rys. 2). Z obliczeń wynika, że wymiar pojedynczego piksela wynosi 0,0018mm.



Rys. 1. System wizyjny zainstalowany na tokarce  
Fig. 1. The vision system installed on the lathe



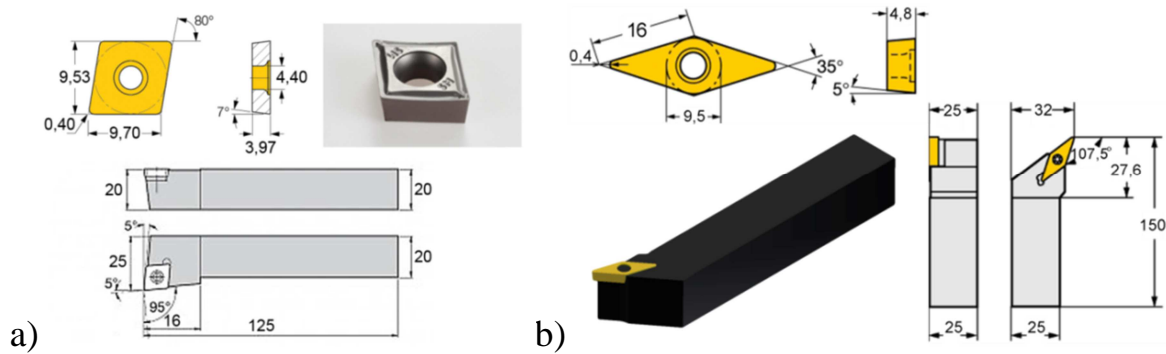
Rys. 2. Wzorcowanie układu obiektyw-kamera  
Fig. 2. The calibration of camera-lens system

W celu wykazania elastyczności systemu wybrano narzędzia o różnych geometriach i barwach powierzchni. Pierwszym narzędziem stosowanym w badaniach była płytka firmy ISCAR typ CCMT 09T304-SM wykonana z materiału IC907. Osadzano ją w oprawce firmy Kennametal o oznaczeniu SCLCR 2020 K09 NA5 (rys. 3a). Przy toczeniu wzdłużnym kąt przystawienia płytki wynosi  $95^\circ$ . Narzędzie drugie to płytka Sandvik VBMT 16 04 04-PM wykonana z materiału o oznaczeniu 4235, montowana w oprawce Sandvik SVHBL 2525M 16 (rys. 3b). Przy toczeniu wzdłużnym kąt przystawienia narzędzia był równy  $107,5^\circ$ .

Przedmiotem obrabianym był wałek wykonany ze stali NC6 o twardości około 32 HRC i średnicy 60mm. Operacja składała się z 8 zabiegów toczenia wzdłużnego, które wybrano ze względu na możliwość realizacji obiema płytkami skrawającymi. Plan operacji przedstawiono na rysunku 4. W operacjach stosowano poniższe parametry obróbki:

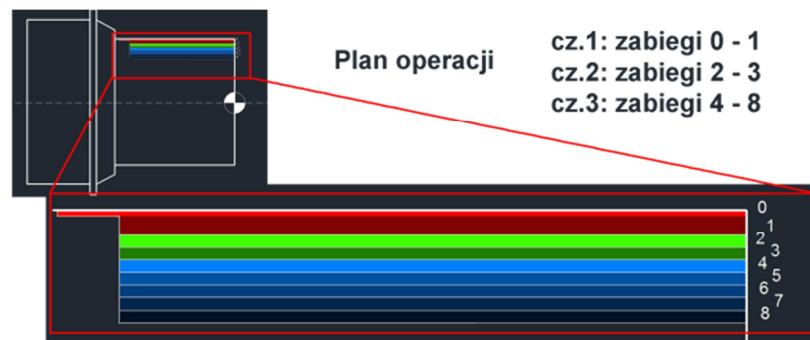
- prędkość skrawania  $v_c$  - 110m/min,
- głębokość skrawania  $a_p$  - 0,5mm (zab. 0); 1mm (zab. 2-8); 1,5mm (zab.1),
- posuw  $f$ - 0,11; 0,17; 0,2mm/obr,

- długość skrawania – 65mm (zabieg 0); 60mm (zabiegi 1÷8)



Rys. 3. Narzędzia stosowane podczas badań: a) płytką ISCAR CCMT 09T304-SM IC907 montowana w oprawce Kennametal SCLCR 2020 K09 NA, b) płytką Sandvik VBMT 16 04 04-PM 4235 montowana w oprawce Sandvik SVHBL 2525M 16

Fig. 3. The tools used during the research: a) insert ISCAR CCMT 09T304-SM IC907 mounted in holding Kennametal SCLCR 2020 K09 NA, b) insert VBMT 16 04 04-PM 4235 mounted in holding Sandvik SVHBL 2525M 16



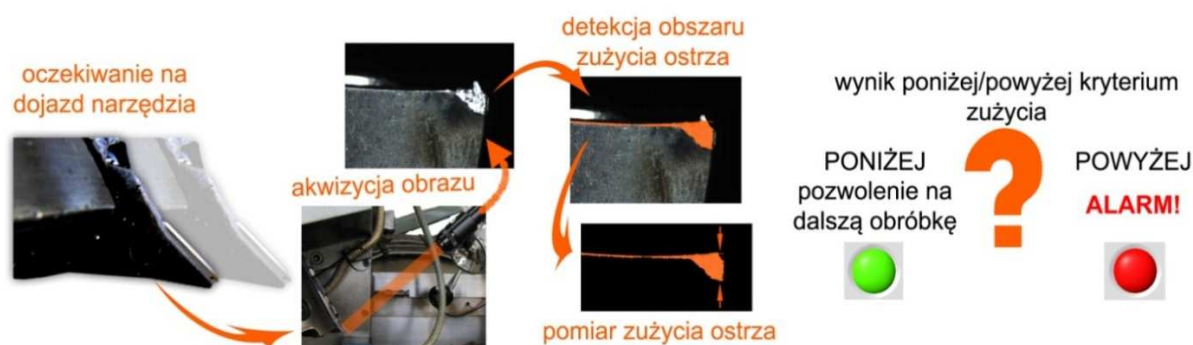
Rys. 4. Plan operacji toczenia  
Fig. 4. The turning operation plan

Operację podzielono na 3 grupy zabiegów (grupa nr 1–zabiegi 0÷1; grupa nr 2–zabiegi 2÷3; grupa nr 3–zabiegi 4÷8). Po wykonaniu zabiegów danej grupy narzędzie zajmowało pozycję do wykonania zdjęcia (rys. 5).

### 3. ALGORYTM WYZNACZANIA ZUŻYCIA OSTRZA

Na rysunku 5 przedstawiono schemat działania wizyjnego układu diagnostyki zużycia ostrza. W założonych przez technologa momentach operacji narzędzie jest ustawiane w pozycji umożliwiającej akwizycję obrazu. Następnie zdjęcie poddawane jest operacjom cyfrowego przetwarzania i analizy obrazu, co skutkuje detekcją obszaru zużycia ostrza. Na podstawie wyodrębnionego obszaru ustalana jest wartość zużycia w formie wskaźnika

$VB_{Bmax}$ . Ostatecznie system porównuje uzyskany wynik z zadaniem progami. Na tej podstawie podejmuje decyzję o pozwoleniu na dalszą obróbkę lub zgłasza alarm.



Rys. 5. Schemat działania wizyjnego układu diagnostyki zużycia ostrza  
Fig. 5. The operation diagram of vision tool wear condition diagnosis system

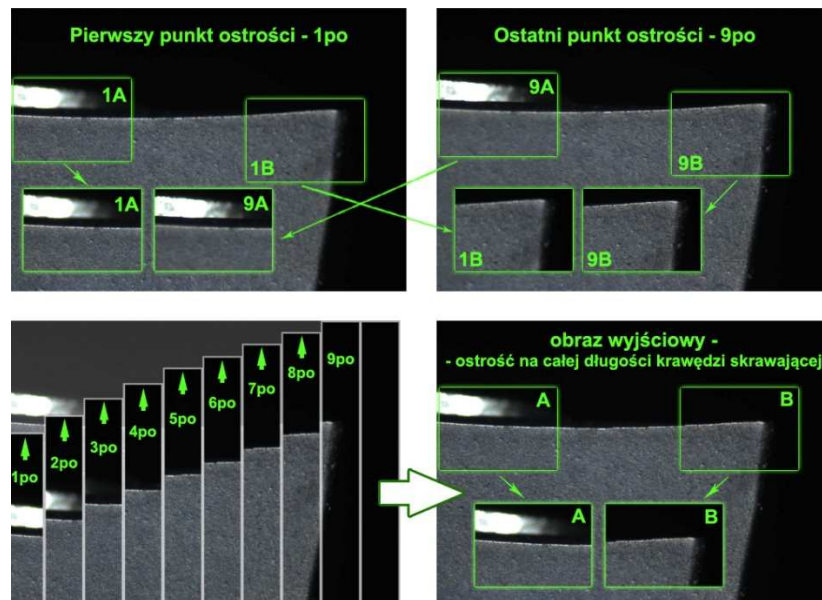
Narzędzia wykorzystywane na tokarce mają różny kąt przystawienia, który może wahać się nawet w granicach  $45 \div 50^\circ$ . Głębina ostrości obiektywu nie pozwala na wykonanie pojedynczego zdjęcia z jednego ustawienia kamery, na którym obraz całej płytki byłby ostry. Problem ten rozwiązano poprzez wykonanie serii zdjęć pozwalającej na złożenie ostrego obrazu całej płytki. Procedura ta została przedstawiona na rysunku 6. Na płytkach może występować narost (rys. 11), który utrudnia pomiar. Na szczęście występuje on na powierzchni natarcia - powyżej krawędzi skrawającej, a dolna granica starcia na powierzchni przyłożenia jest na ogół dobrze widoczna. W celu wyeliminowania błędu pomiaru związanego z narostem, jest on wykonywany od pierwotnego położenia krawędzi skrawającej. Do tego wykorzystuje się zdjęcia nowych płytek, wykonane przed pierwszym kontaktem narzędzia z materiałem. W algorytmie detekcji obszaru nowego narzędzia wykonywana jest optymalizacja stosowanych funkcji przetwarzania obrazu, gdzie kryterium optymalizacji jest ciągłość i długość krawędzi skrawającej. Efekt działania algorytmu przedstawiono na rysunku 7.

Procedurę wyznaczenia obszaru zużycia ostrza rozpoczyna się od ograniczenia obszaru poszukiwań do obszaru płytki wyznaczonego dla ostrego obrazu narzędzia (rys. 8, 9). Następnie w celu wyeksponowania obszaru zużycia do obróbki obrazu stosowane są filtry medianowy i Prewitt'a. Celem pierwszego z nich jest redukcja szumów i rozmycie obrazu, przy zachowaniu ostrych krawędzi. Dzięki temu przy detekcji krawędzi filtrem Prewitt'a minimalizuje się liczbę tych krawędzi, które wykrywane są w lokalnych gradientach jasności. Funkcja LUT (*LookUp Table*) – potęga  $x$ , zwiększa zróżnicowanie między jasnością krawędzi dużych obiektów, które na ogół mają większą jasność, (jak fragmenty obszaru zużycia ostrza) i krawędzi mniejszych obiektów, takich jak np. refleksy światła na nieużytej powierzchni płytki. Dzięki tej funkcji po dalszym procesie progowania pozostanie mniej niepożądanych obiektów, rozrzuconych po całej powierzchni płytki. Te z kolei są usuwane w kolejnym kroku za pomocą filtru powierzchniowego, który pozostawia tylko największe obiekty.

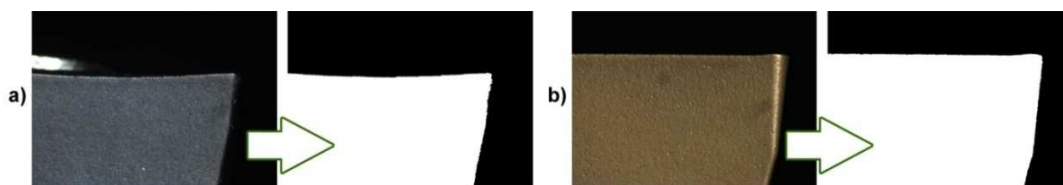
W celu spójnienia obiektów należących do obszaru zużycia ostrza stosuje się operacje



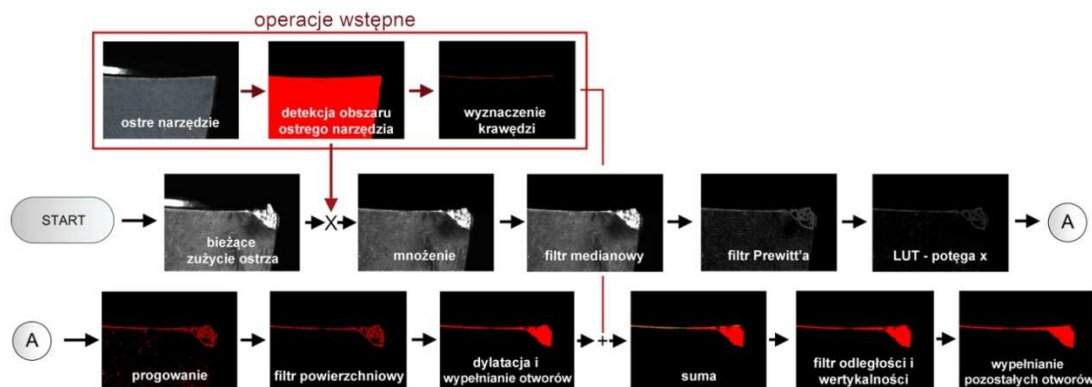
morfolologiczne – dylatację oraz wypełnianie otworów. Następnie do wyznaczonego obszaru zużycia dodawana jest krawędź wyznaczona dla ostrego narzędzia, co także łączy obiekty zużycia ostrza. Jest to istotne np. w przypadku, gdy wzdłuż krawędzi skrawającej powstaną dwa, oddalone od siebie fragmenty zużycia.



Rys. 6. Sposób automatycznego uzyskiwania ostrego zdjęcia z wielu zdjęć składowych  
 Fig. 6. The procedure of getting well focused image from many subimages



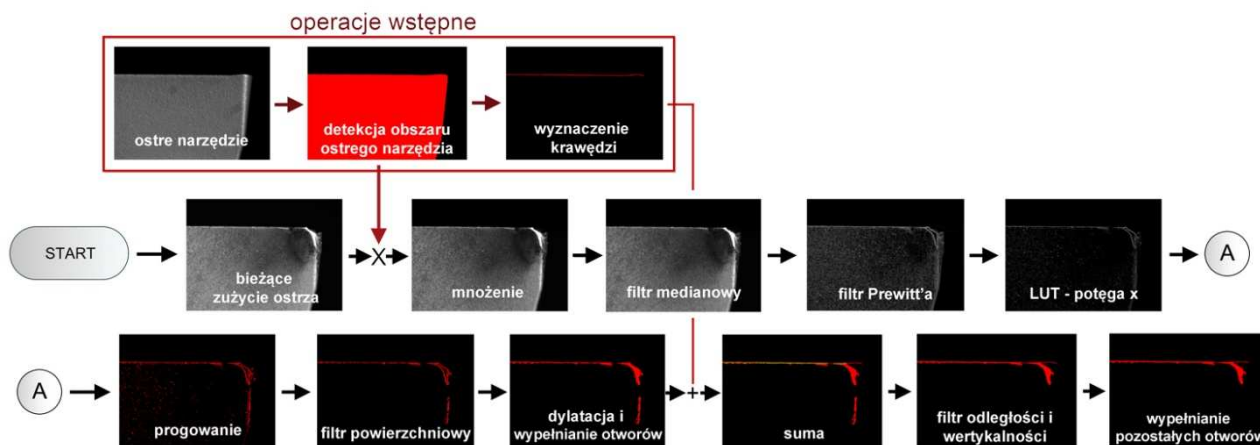
Rys. 7. Efekt wyznaczania obszaru ostrego narzędzia: a) płytką ISCAR CCMT 09T304-SM,  
 b) płytką Sandvik VBMT 16 04 04-PM  
 Fig. 7. The procedure of getting well focused image from many subimages: a) insert ISCAR CCMT 09T304-SM,  
 b) insert Sandvik VBMT 16 04 04-PM



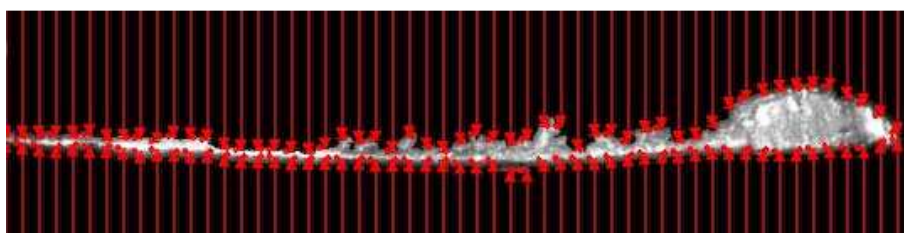
Rys. 8. Algorytm wyznaczania obszaru zużycia ostrza – narzędzie firmy ISCAR  
 Fig. 8. The algorithm of tool wear detection – tool of ISCAR

Kolejny filtr (filtr odległości) usuwa obiekty znajdujące się w dużej odległości od najniższej położonego punktu należącego do obiektu, połączonego z krawędzią skrawającą. Drugi z filtrów (filtr wertykalności) eliminuje z kolei pionowe obiekty. Ten zestaw filtrów ma za zadanie usuwać te spośród obiektów, które mogły powstać w wyniku wystąpienia refleksów na powierzchni płytki (rys. 9). Na zakończenie wypełniane są wszystkie puste przestrzenie wewnątrz obszaru zużycia, przy pomocy odpowiedniej funkcji morfologicznej (*fill holes*).

Po detekcji obszaru zużycia wyznaczany jest wskaźnik zużycia ostrza  $VB_{Bmax}$ . Dla każdej pionowej linii obrazu wyznaczane są najwyższy i najniższy położone punkty wykrytego obszaru. Różnica indeksów tych punktów to wartość  $VB_{Bmax}$  wyrażona w pikselach. W celu uzyskania wyniku w milimetrach, otrzymana wartość mnożona jest przez współczynnik wyznaczony w procesie wzorcowania układu –  $a = 0,0018\text{mm/piksel}$ .



Rys. 9. Algorytm wyznaczania obszaru zużycia ostrza – narzędzie firmy Sandvik  
Fig. 9. The algorithm of tool wear detection – tool of Sandvik

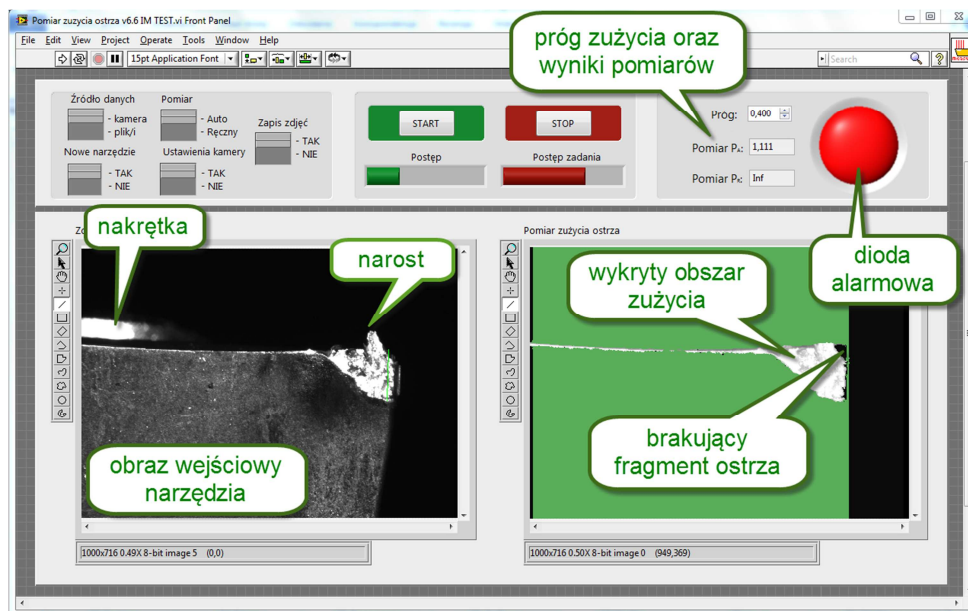


Rys. 10. Wyznaczanie wartości wskaźnika  $VB_{Bmax}$   
Fig. 10. The calculation of  $VB_{Bmax}$  indicator

Opisany wyżej algorytm wyznaczania zużycia ostrza zapisano w języku LabVIEW. Interfejs programu głównego przedstawiono na rysunku 11. Program może pracować z wykorzystaniem dwóch źródeł danych: kamera lub plik/i. Pierwszy z trybów, to tryb główny, w którym program pracuje w cyklu automatycznym. Wykonuje zdjęcia ostrza skrawającego przez układ akwizycji systemu (obiektyw z kamerą zamontowane na obrabiarce), a następnie przetwarza i analizuje informacje zawarte na obrazie, by podać

wartość zużycia ostrza i porównać ją z zadaniem progami. Program oczekuje na sygnały z obrabiarki o osiągnięciu przez narzędzie położenia do wykonywania zdjęć oraz o numerze narzędzia. Drugi tryb pracy, wykorzystujący dane z plików służy do testowania systemu na wcześniej zgromadzonych obrazach. Ponadto program ma możliwość zapisu obrazów z wykrytym obszarem zużycia ostrza, by można było zachować efekty działania systemu.

Zadaniem operatora przy obsłudze systemu jest m.in. wskazanie nowego narzędzia. Jeśli zostanie ono zamontowane przed wykonaniem zdjęć operator musi ustawić zadajnik *nowego narzędzia* w położeniu *TAK*. Ponadto należy jednorazowo skonfigurować ustawienia kamery, co powinno się wykonać przy instalacji systemu na obrabiarce. Do tego celu służy zadajnik *Ustawienia kamery*, który należy przed pierwszym wykonaniem zdjęcia ustawić w pozycji *TAK*. Uruchomi to podprogram *Camera Settings* (rys. 12), w którym można ustawić parametry kamery (fps, przepustowość łącza, czas naświetlania, wzmocnienie, offset cieni oraz balans bieli). Z poziomu podprogramu można ręcznie regulować ostrość na potrzeby podglądu. Można także ustawić zakres regulacji ostrości (w  $\mu\text{m}$  od położenia początkowego – zerowego), co przyspieszy wyznaczenie pozycji ostrości dla poszczególnych narzędzi. Na tym etapie można także określić liczbę pozycji ostrości, przy których będą wykonywane zdjęcia cząstkowe. Wybrane parametry zapisywane są do plików (plik .ini – parametry kamery, plik .txt pozostałe parametry), co zapobiega utracie parametrów przy włączaniu/wyłączaniu systemu. Ustawienia parametrów wykonywane są tylko raz przy instalacji systemu na danej obrabiarce. Te same ustawienia stosowane są później do wszystkich płytek niezależnie od ich geometrii czy koloru.



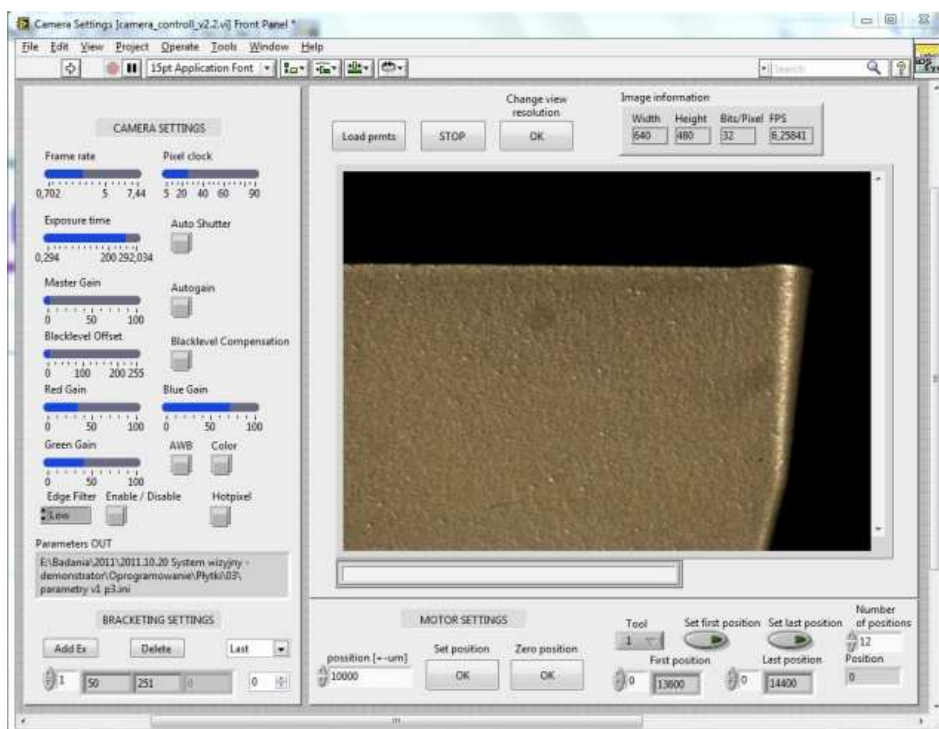
Rys. 11. Interfejs wizyjnego systemu do diagnostyki zużycia ostrza  
Fig. 11. The interface of the vision tool wear diagnosis system

Interfejs programu głównego posiada dwa wskaźniki wyświetlające obrazy z przed i po obróbce (z wykonanymi pomiarami – pionowe, zielone linie, rysunek



11). Dzięki temu widać, czy program działa prawidłowo. Ponadto operator ma możliwość wykonania pomiaru ręcznego (zadajnik *Pomiar – Ręczny*) na zdjęciu płytki z przed obróbki, jeśli uzna, że program błędnie określił obszar zużycia.

Na panelu sterowania, po prawej stronie umieszczono zadajnik, przy pomocy którego ustala się wartość graniczną zużycia ostrza. Pod zadajnikiem znajdują się wskaźniki z wynikami pomiaru automatycznego  $P_A$  oraz ręcznego  $P_R$ , jeśli taki zostanie wykonany. Po prawej stronie od tych elementów umieszczono duży wskaźnik typu „dioda LED”, który zapala się na czerwono, gdy wartość pomiaru  $P_A$  przekroczy próg.



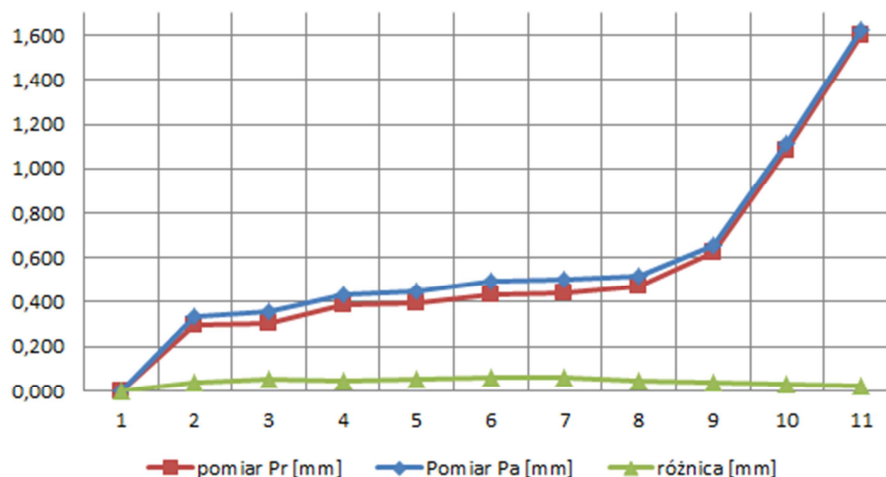
Rys. 12. Interfejs programu *Camera Settings*  
Fig. 12. The interface of *Camera Settings* program

#### 4. WYNIKI

Na rysunku 13 przedstawiono wyniki pomiarów zużycia ostrza narzędzia pierwszego - ISCAR CCMT 09T304-SM IC907. System poprawnie wskazuje zmiany zużycia ostrza (wskaźnika  $VB_{Bmax}$ ). Występująca różnica między pomiarami automatycznymi a ręcznymi wskazaniem jest stosunkowo niewielka, a jej wartość utrzymuje się w przybliżeniu na stałym poziomie. Średnia różnicy wynosi  $44\mu\text{m}$ , a rozrzut jej wartości z kolejnych pomiarów, mierzony jako odchylenie standardowe, to  $1,3\mu\text{m}$ . Należy zaznaczyć, że różnice te nie są spowodowane błędną lokalizacją przez system obszaru zużycia, lecz zaznaczeniem

większego obszaru. Wynika to więc z dokładności metody określania obszaru zużycia, a nie z nieprawidłowego rozpoznawania szukanego obiektu. System we wszystkich przypadkach poprawnie wskazał obszar zużycia ostrza. Ponadto zastosowanie linii odniesienia, wprowadzonej dzięki wykrywaniu obszaru nowej płytki eliminuje problem narostu, ubytku fragmentów ostrza oraz występowania dodatkowych obiektów w tle.

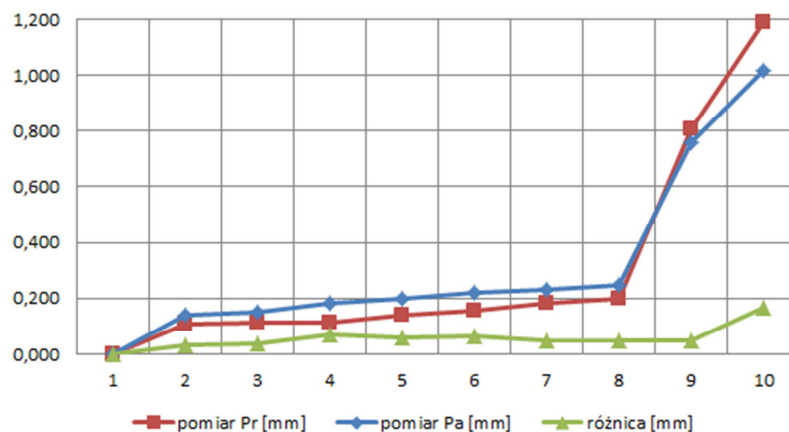
### Wyniki pomiarów ręcznych $P_R$ oraz automatycznych $P_A$ po kolejnych zabiegach



Rys. 13. Wyniki działania układu dla płytki ISCAR CCMT 09T304-SM IC907

Fig. 13. The research results of vision diagnosis system for insert ISCAR CCMT 09T304-SM IC907

### Wyniki pomiarów ręcznych $P_R$ oraz automatycznych $P_A$ po kolejnych zabiegach

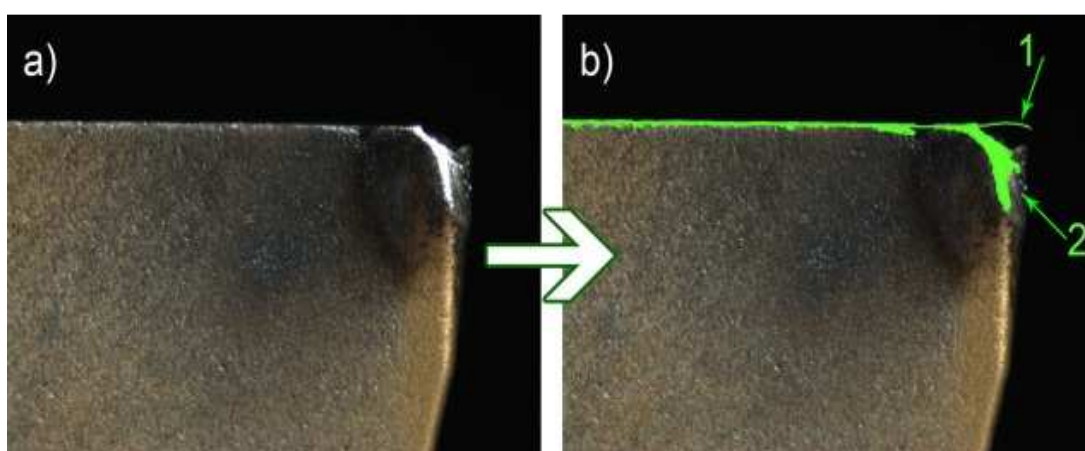


Rys. 14. Wyniki działania układu dla płytki Sandvik VBMT 16 04 04-PM 4235

Fig. 14. The research results of vision diagnosis system for insert Sandvik VBMT 16 04 04-PM 4235

Na rysunku 14 przedstawiono wyniki pomiaru zużycia ostrza narzędzia drugiego - Sandvik VBMT 16 04 04-PM 4235. W tym przypadku wyniki pomiarów automatycznych

również przedstawiają prawidłowy trend zmian wartości wskaźnika VBBmax. Średnia różnica w pomiarach wyniosła  $6\mu\text{m}$ , a odchylenie standardowe  $4\mu\text{m}$ . Szczególnie duża różnica wystąpiła w ostatnim pomiarze. Tu system nie wykrył całego obszaru zużycia, ponieważ miało ono miejsce na samym narożu płytki. Miejsce to nie było odpowiednio oświetlone, ze względu na to, że obserwowano główną powierzchnię przyłożenia i tak też oświetlano obiekt (rysunek 15). Ten sam problem wystąpił w przedostatnim pomiarze, gdzie wynik pomiaru PA jest mniejszy od pomiaru PR. Przy pozostałych pomiarach wyniki PA są większe od PR tak, jak w przypadku pomiarów narzędzia firmy ISCAR. Eliminacja problemu niedoświetlonego naroża spowodowałaby, że średnia różnica pomiarów dla narzędzia drugiego wyniosłaby  $51\mu\text{m}$ . Jest to wartość zbliżona, do tej, którą uzyskano dla narzędzia pierwszego.



Rys. 15. Obraz ostrza płytki: a) zdjęcie wejściowe, b) zaznaczony na zielono obszar wykryty przez system jako zużycie ostrza; 1 – krawędź skrawająca wyznaczona z pierwszego zdjęcia z ostrym narzędziem; 2 – niewykryty fragment zużycia na narożu

Fig. 15. Image of insert blade: a) input image, b) with green colour is marked the tool wear area detected by system; 1 – cutting edge obtained from image with sharp tool; 2 – non-detected area of tool wear on the corner

## 5. WNIOSKI

Zaprezentowano wykonany i działający prototyp wizyjnego systemu diagnostyki stanu narzędzia przy toczeniu. Zastosowanie zmotoryzowanego układu regulacji ostrości umożliwiło ocenę stanu ostrzy narzędzi o różnych geometriach. Algorytm detekcji obszaru zużycia ostrza poprawnie wskazuje poziom zużycia, a na efekt jego działania nie wpływają narosty, inne obiekty występujące w tle oraz ubytki materiału ostrza. Różnice w pomiarach automatycznych i ręcznych są w przybliżeniu stałe i spowodowane wyznaczaniem zbyt dużej powierzchni zdjęcia, a nie błędnym wskazaniem obszaru zużycia ostrza. Problem ten można będzie wyeliminować wprowadzając poprawki w algorytmie detekcji obszaru zużycia. Rozwiązaniem problemu niedoświetlonego naroża może być korekcja ustawienia oświetlaczy lub dodatkowe oświetlenie. Planuje się też zastosowanie drugiego układu obiektyw-kamera-oświetlacze do obserwacji naroża i pomocniczej powierzchni przyłożenia.

*Badania realizowane w ramach Projektu „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym” Nr POIG.0101.02-00-015/08 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.*

## LITERATURA

- [1] FADARE D. A., ONI A. O., 2009, *Development and Application of a Machine Vision System for Measurement of tool wear*, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 4/4, 42-49.
- [2] JURKOVIC J., KOROSSEC M., KOPAC J., 2005, *New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, 1023–1030.
- [3] PRASAD B. S., SARCAR M. M. M., BEN B. S., 2011, *Surface textural analysis using acousto optic emission- and vision-based 3D surface topography—a base for online tool condition monitoring in face turning*, Int J Adv Manuf Techno, 55, 1025–1035.
- [4] SELEK M., TASDEMIR S., DINCER K., BASKAYA S., 2011, *Experimental examination of the cooling performance of Ranque-Hilsch vortex tube on the cutting tool nose point of the turret lathe through infrared thermography method*, International Journal of Refrigeration, 34, 807-815.
- [5] SHAHABI H. H., LOW T. H., RATNAM M. M., 2009, *Notch wear detection in cutting tools using gradient approach and polynomial fitting*, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 40, 1057–1066.
- [6] SHAHABI H. H., RATNAM M. M., 2009, *In-cycle monitoring of tool nose wear and surface roughness of turned parts using machine vision*, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 40, 1148–1157.
- [7] SU J. C., HUANG C. K., TARNG Y. S., 2006, *An automated flank wear measurement of microdrills using machine vision*, Journal of Materials Processing Technology, 180, 328–335.
- [8] WANG W. H., HONG G. S., WONG Y. S., ZHU K. P., 2007, *Sensor fusion for online tool condition monitoring in milling*, International Journal of Production Research, 45/21, 5095–5116.
- [9] WANG W. H., HONG G. S., WONG Y. S., 2006, *Flank wear measurement by a threshold independent method with sub-pixel accuracy*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 199–207.
- [10] WANG W. H., WONG Y. S., HONG G. S., 2006, *3D measurement of crater wear by phase shifting method*, Wear, 261, 164-171.

## VISION TOOL WEAR DIAGNOSIS SYSTEM IN TURNING

This paper presents an on machine vision turning tool wear diagnosis system, mounted on the CNC lathe. The tool image is taken between subsequent operations, and then the tool wear is evaluated using digital image processing. The main advantage of the system is capacity of tool wear evaluation of tools with different geometry. Moreover, the system correctly indicates the area of tool wear, regardless of the tool surface properties, such as color or reflectivity. In addition there is also the appearance of an adhered chip problem solved. Without this achievement the system could not be able to indicate the tool wear correctly. The system performance was tested with two turning tools with different cutting edge angles. Tests were performed automatically during whole tool lives of both. The results verify the efficiency of the system.