

Jakub ŻACZEK¹
Joanna KOSSAKOWSKA^{1*}
Sebastian BOMBIŃSKI¹

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SYSTEMU WIZYJNEGO DO ROZPOZNAWANIA TYPU WIÓRÓW

W niniejszym artykule przedstawiono badania w zakresie możliwości wykorzystania systemu wizyjnego do rozpoznawania typu wióra. W ramach badań wykonano szereg zabiegów toczenia stali 40HM z różnymi parametrami skrawania (głębokość skrawania, posuw, prędkość skrawania). W wyniku obróbki uzyskano szereg różnych kształtów wiórów, które w oparciu o kryteria technologiczne sklasyfikowano na akceptowalne i nieakceptowalne. W trakcie obróbki na tokarce zamontowany był układ wizyjny służący do akwizycji obrazu strefy skrawania. Następnie obrazy te poddawano analizie za pomocą specjalnego algorytmu. Algorytm ten porównuje obraz bieżący (z danego zabiegu) z obrazem referencyjnym (z biegu jałowego). Badania przeprowadzone z wykorzystaniem obrazów zarejestrowanych w czasie 60 operacji testowych wykazały skuteczność proponowanego rozwiązania na poziomie 83%. Błędy działania algorytmu wynikały z monitorowania tylko jednego z dwóch różnych obszarów pojawiania się wiórów.

1. WSTĘP

Powszechnie postępująca automatyzacja procesów wytwórczych, w tym obróbki skrawaniem wymusza stosowanie w nich układów nadzoru procesu. Jednym z podsystemów takiego układu jest nadzór typu wióra. O mechanizmach powstawania, sposobach klasyfikacji i zależności wiórów od parametrów skrawania w określonych warunkach powstały liczne opracowania, choćby [2],[3]. Generalna klasyfikacja wiórów została znormalizowana, określona jako standard ISO i przyjęta przez polską normę [1].

Wióry w zależności od poziomu akceptacji można podzielić na dwa typy: akceptowalne oraz nieakceptowalne. Wióry nieakceptowalne to wióry długie i splątane. Wióry te zajmują dużo miejsca, są trudne do usunięcia, przez co stanowią zagrożenie dla zdrowia operatora. Mogą mieć również niepożądany wpływ na przebieg procesu skrawania, jak rysowanie powierzchni obrobionej, czy zawijanie się wokół narzędzia i blokowanie dopływu chłodziwa. Problem ten występuje głównie przy toczeniu, wierceniu

¹ Politechnika Warszawska, Instytut Technik Wytwarzania, Zakład Automatykacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem,

* E-mail: j.kossakowska@zaoios.pw.edu.pl

i gwintowaniu.

Zagadnienie automatycznego rozpoznawania typu wióra nie doczekało się jeszcze realizacji w komercyjnych układach do diagnostyki procesu skrawania. Jest natomiast przedmiotem badań w nielicznych laboratoriach.

Wśród stosowanych metod do rozpoznawania typu wióra można wyróżnić:

1. Analizę emisji promieniowania podczerwonego ze strefy skrawania [5];
2. Analizę sygnału emisji akustycznej [6],[7],[8];
3. Analizę widm częstotliwościowych dynamicznych sygnałów siły skrawania [9];
4. Analizę czasowo-częstotliwościową sygnałów [10],[11],[12].

W pracy przedstawiono analizę możliwości zastosowania metod wizyjnych do automatycznej diagnostyki typu wióra na podstawie obrazów strefy skrawania. Głównym celem pracy była wstępna ocena możliwości zastosowania zaproponowanego podejścia w automatycznym układzie nadzoru. Z tego powodu stanowisko do akwizycji obrazów zostało opracowane w formie czysto laboratoryjnej, a pole widzenia kamery było nadmiarowe i miało posłużyć określeniu docelowego obszaru monitorowania. Przy wdrożeniu należałoby opracować od podstaw stanowisko spełniające wymogi przemysłowe. Zaproponowany algorytm, który rozpoznaje wióry akceptowalne został przygotowany jedynie w oparciu o i na potrzeby zarejestrowanych obrazów. Wybrane metody przetwarzania oraz ich parametry dobrano empirycznie. Rozbudowa i zapewnienie większej elastyczności algorytmu będą przedmiotem dalszego rozwoju projektu.

2. NADZÓR TYPU WIÓRA Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU WIZYJNEGO

2.1. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Badania przeprowadzono na tokarce CNC o oznaczeniu TKX 50N. Wybór obrabiarki był podyktowany łatwością montażu podzespołów elementów układu wizyjnego. Tokarka posiada częściowo otwartą konstrukcję, co umożliwiło dostęp do odpowiednich elementów bez konieczności demontażu obudowy.

Przedmiot obrabiany stanowił wał o średnicy 120mm i długości 200mm wykonany ze stali 40HM (PN)/42CrMo4 (EN) - w stanie zmiękczonej (Tabela 1).

Do badań zastosowano narzędzie typu PTGNL 3225P 22 z płytką TNMG 22 04 12PM 4235 firmy Sandvik. Zalecane parametry dla tej płytki to: a_p : 0,8 – 6,6mm, f : 0,18 – 0,6mm/obr, v_c : 250 – 155m/min. Do rejestracji obrazu wykorzystano aparat Casio Exilim EX-F1 sterowany zdalnie przez dedykowane oprogramowanie Casio EX-F1 Remote v1.0.0.1 za pośrednictwem interfejsu USB. Dzięki obiektywowi typu zoom możliwe było dobranie odpowiedniego pola widzenia. Aparat umieszczono w obudowie tymczasowej.

W czasie badań stosowano następujące parametry akwizycji: czas ekspozycji – 1/1000", przysłona F3.8, czułość ISO 800, rozdzielczość – 2816x2112 pikseli, częstotliwość akwizycji – 5fps. Parametry dobrano tak, by uzyskać ostry, kontrastowy obraz wiórów w czasie obróbki przy maksymalnej prędkości obrotowej. Pole widzenia kamery ustawiono tak, by widoczna była strefa skrawania oraz nieruchome fragmenty obrabiarki, na tle

których najczęściej widoczne są wióry – obszar określony empirycznie w czasie prób wstępnych.

Tabela 1. Skład chemiczny i właściwości stali 40HM
Table 1. Chemical composition and physical properties of 40HM steel

Skład chemiczny										
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Cu
0,38-0,45	0,4-0,7	0,17-0,37	max 0,035	max 0,035	0,8-1,2	max 0,3	0,15-0,25	max 0,2	max 0,05	max 0,25
Twardość i własności mechaniczne										
Twardość w stanie zmiękczone							max 240HB			
Wytrzymałość na rozciąganie R_m							1030MPa			
Granica plastyczności R_e							880MPa			

W pracy zastosowano 4 oświetlacze halogenowe Osram HALOSPOT 111 o mocy 100W i kącie rozsyłu światła równym 8° . Oświetlacze zamontowano z wykorzystaniem ramion elastycznych, co umożliwiło swobodną manipulację i oświetlenie wybranych obszarów rejestrowanej sceny. W systemie wykorzystano komputer przemysłowy firmy ACME model EMP. Do archiwizacji obrazów wiórów, które posłużyły do opracowania diagramu łamania wióra stosowano aparat cyfrowy firmy Canon model PowerShot A520.

Wióry po każdej próbie były wydobywane z obrabiarki, fotografowane oraz odpowiednio opisywane. Dla odzwierciedlenia skali wiórów w polu widzenia aparatu umieszczano przymiar kreskowy półsztywny wykonany z tworzywa sztucznego.

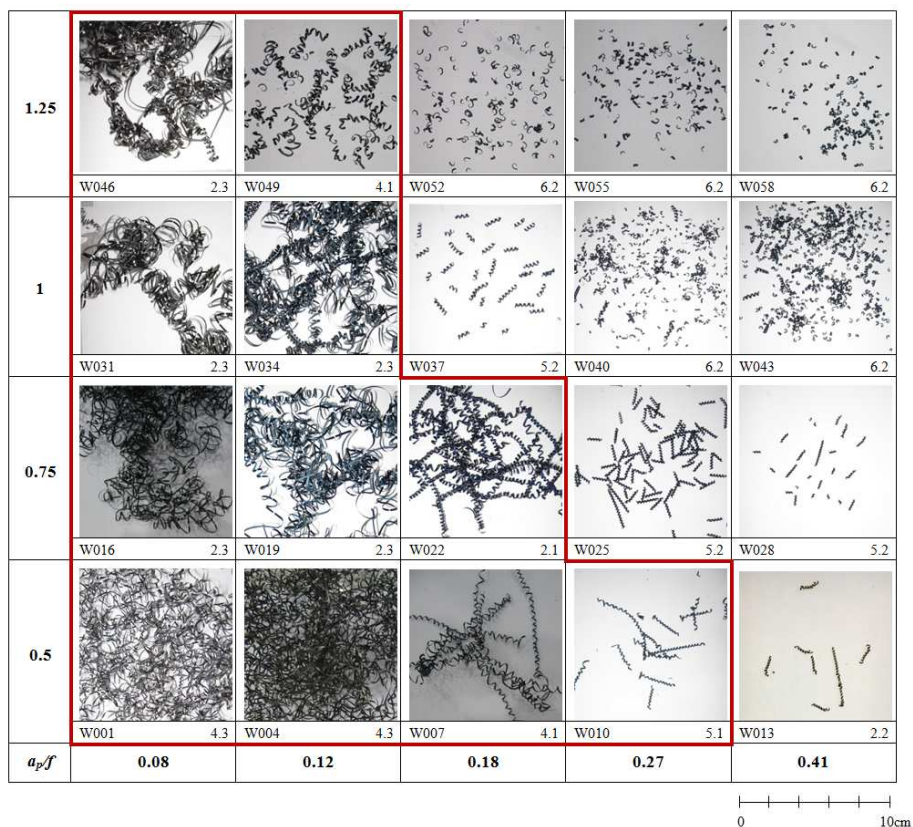
Celem uzyskania różnych typów wióra przeprowadzono szereg prób w zakresie parametrów skrawania, gwarantującym wystąpienie wiórów krótkich (akceptowalnych) oraz długich i splątanych (nieakceptowalnych). W związku z powyższym stosowano również parametry skrawania niezalecane przez Producenta narzędzia. Badania przeprowadzono przy 4 różnych głębokościach skrawania, 5 wartościach posuwu i 3 prędkościach skrawania:

- głębokość skrawania a_p : 0,5, 0,75, 1, 1,25mm,
- prędkość posuwu f : 0,08, 0,12, 0,18, 0,27, 0,41mm/obr,
- prędkość skrawania v_c : 350, 250, 150m/min.

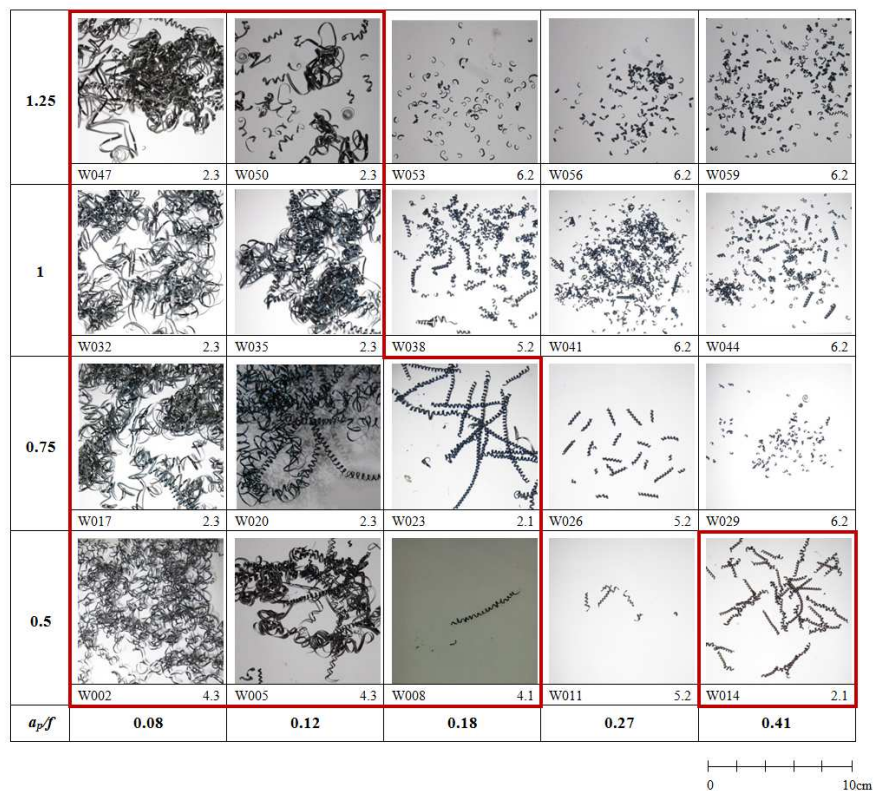
Łącznie przeprowadzono 60 operacji testowych.

2.2. WYNIKI BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

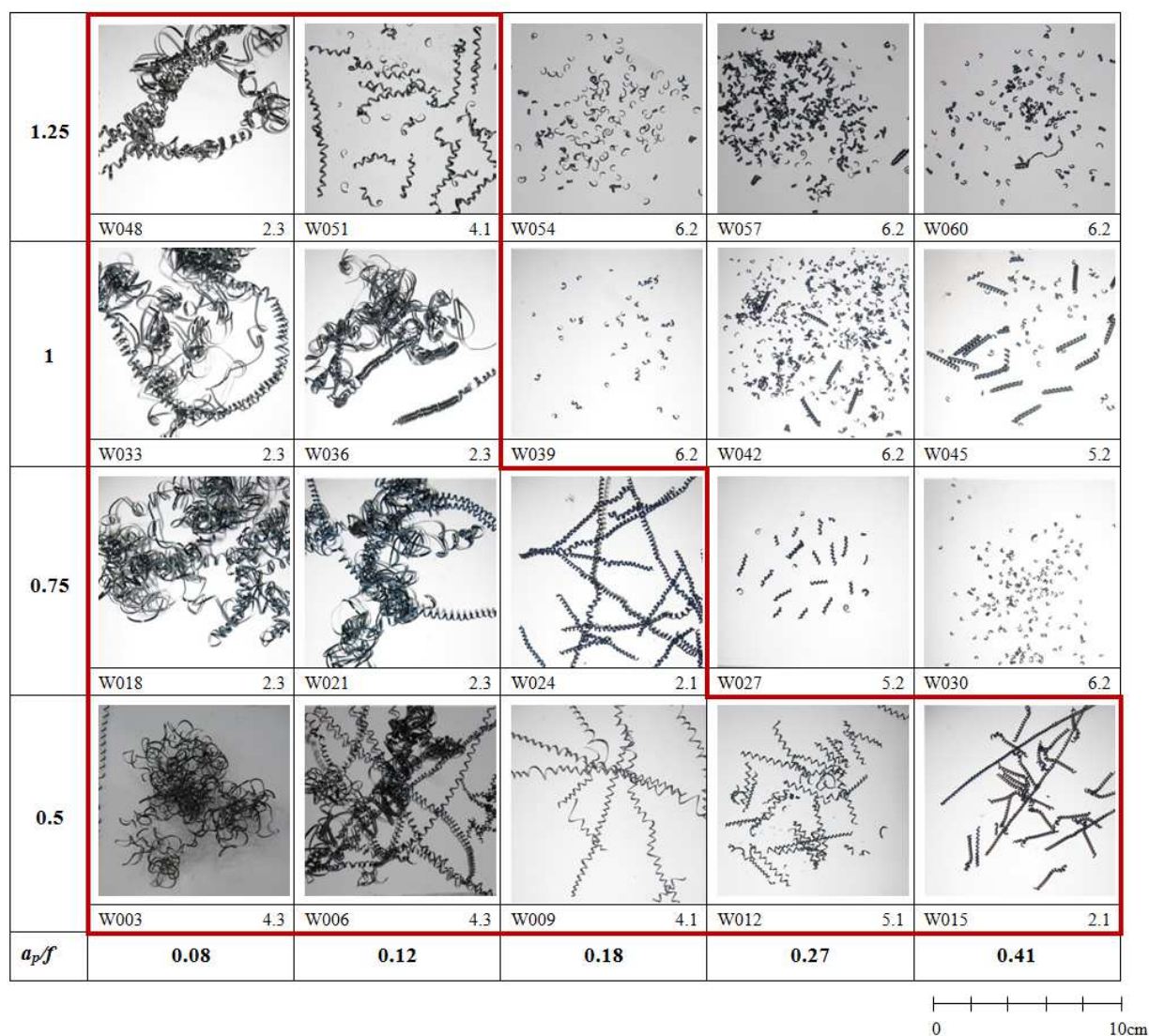
Zgodnie z założeniami, w wyniku badań uzyskano wiele różnych kształtów wiór, które oznaczono wg kształtu zgodnie z zaleceniami normy [1] i podzielono wg typu na akceptowalne i nieakceptowalne.



Rys. 1. Wyniki badań dla $v_c = 150\text{m/min}$
 Fig. 1. The research results at $v_c = 150\text{m/min}$



Rys. 2. Wyniki badań dla $v_c = 250\text{m/min}$
 Fig. 2. The research results at $v_c = 250\text{m/min}$



Rys. 3. Wyniki badań dla $v_c = 350\text{m/min}$
 Fig. 3. The research results at $v_c = 350\text{m/min}$

Wyniki badań doświadczalnych przedstawiono w postaci diagramów łamania wiórów na rys. 1, rys. 2 i rys. 3. Rysunki te przedstawiają zdjęcia wiórów w zależności od posuwu i głębokości skrawania dla trzech kolejnych prędkości skrawania. Pod zdjęciami wiórów znajdują się numery prób oraz oznaczenie kształtu wióra zgodnie z normą. Dodatkowo pogrubioną linią zaznaczono obszar wiórów nieakceptowalnych. Pozostałe wióry to wióry akceptowalne.

Zgodnie z przewidywaniami, na kształt wióra w niewielkim stopniu wpłynęła prędkość skrawania. Największy wpływ miała zmiana posuwu oraz w niewiele mniejszym stopniu głębokości skrawania. Warto też zauważyć, że zakres akceptowalnych wiórów pokrywa się z obszarem zalecanym przez Producenta. Uzyskany zakres kształtów wióra pozwolił na przeprowadzenie badań skuteczności zastosowanego systemu wizyjnego, którego celem było rozpoznanie typu wióra czyli odróżnienie wiórów akceptowalnych od nieakceptowalnych. Jako wióry akceptowalne uznano takie, których długość nie przekracza 15mm. Dla wiórów o długości powyżej 15mm zauważono tendencję do zwijania się.

2.3. AUTOMATYCZNE ROZPOZNAWANIE TYPU WIÓRÓW NA PODSTAWIE INFORMACJI Z OBRAZU

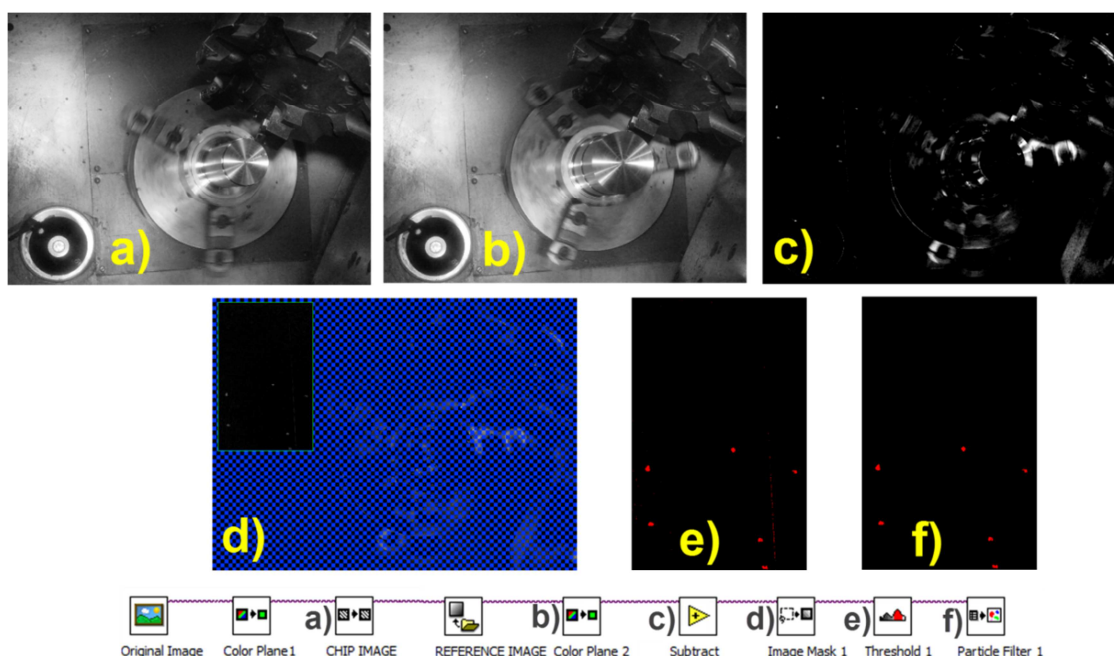
Algorytm rozpoznawania typu wióra składa się z algorytmu detekcji wióra oraz jego pomiaru na podstawie obrazu z kamery. O ile do samego pomiaru wióra można było zastosować standardową funkcję przetwarzania obrazu dostępną w środowiskach programistycznych, o tyle do detekcji wiórów w obrazie należało opracować bardziej złożony algorytm, specjalizowany do konkretnych warunków. Propozycję takiego algorytmu, zastosowanego w ramach niniejszych badań przedstawiono na rys. 4. Działanie algorytmu opiera się na porównaniu bieżącego obrazu z obrazem referencyjnym. Obraz bieżący to obraz rejestrowany w czasie obróbki, natomiast jako obraz referencyjny wykorzystywano obrazy zarejestrowane bezpośrednio przed rozpoczęciem skrawania. Zapewnienie minimalnego odstępu w czasie akwizycji obrazu referencyjnego i obrazu bieżącego zminimalizowało prawdopodobieństwo zmian warunków oświetleniowych oraz ewentualnych zmian w położeniu kamery (np. przypadkowy wpływ człowieka). Ponadto stosując oświetlacze dużej mocy i o niewielkim kącie rozsyłu uzyskano na tyle wysokie natężenie światła w rejestrowanym polu widzenia, że zminimalizowano wpływ oświetlenia słonecznego oraz oświetlenia wewnętrznego pomieszczenia, w którym prowadzono badania.

Algorytm przetwarzania obrazu realizowany był w kolejnych krokach:

1. wyodrębnienie składowej luminancji obrazu wejściowego, redukcja szumów – filtr medianowy, maska 6x6 pikseli (rys. 4a),
2. wyodrębnienie składowej luminancji obrazu referencyjnego, redukcja szumów – filtr medianowy, maska 6x6 pikseli (rys. 4b),
3. odejmowanie obrazów bieżącego i referencyjnego (rys. 4c),
4. ograniczenie analizowanego obszaru obrazu do obszaru zainteresowania ROI (rys. 4d, rozdzielczość ROI: 734 x 1146 pikseli),
5. progowanie obrazu przy stałej wartości progu $p=35$ (wartość progu dobrana empirycznie),
6. eliminacja niepożądanych obiektów na obrazie – usuwanie obiektów o wartości parametru *Waddel Disk Diameter* niższej bądź równej 10 (parametr dobrany empirycznie).

W algorytmie analizowaną część obrazu ograniczono do statycznego obszaru, na którym w dowolnej chwili operacji nie mogły być widoczne ruchome elementy obrabiarki. Detekcja (wykrycie obecności) wiórów w strefie skrawania, w której występuje wiele ruchomych elementów jest stosunkowo trudna ze względu na różny kształt oraz barwę wiórów – trudność w doborze wyróżniającego je kryterium. Opracowanie algorytmu do detekcji wiórów na tym obszarze wymagałoby wielu skomplikowanych operacji i wykonania stosunkowo dużej liczby prób, co również nie gwarantowałoby uzyskania skutecznego rozwiązania. Tymczasem wybór obszaru statycznego jako monitorowanego fragmentu umożliwił stosowanie prostych operacji, w tym głównie odejmowania obrazów. Dzięki wskazywaniu różnic w obrazach algorytm działa niezależnie od kształtu czy własności warstwy wierzchniej wiórów.

Wstępnie w celu redukcji szumów zastosowano filtrację medianową w analizowanym obrazie i w obrazie referencyjnym (maska 6x6 pikseli). Stosowana następnie operacja odejmowania prowadziła do występowania na obrazie wynikowym jasnych obiektów (w tym głównie analizowanych wiórów) na ciemnym tle. W kolejnym kroku przeprowadzono progowanie ze stałą, dobraną doświadczalnie wartością progu. Następnie wykonywana była eliminacja niepożądanych obiektów wykorzystująca dobraną empirycznie miarę i wartość progową. Dobór parametrów w tym przypadku przeprowadzono tak, by na wybranych obrazach testowych pozostawały jedynie obiekty reprezentujące wióry. Ostatecznie ustalono, że usuwane miały być te obiekty, których wartość miary *Waddel Disk Diameter* była mniejsza od 10. Test niniejszej metody na pozostałych obrazach wykazał poprawność efektów jej działania. Opracowanie bardziej wyrafinowanej metody eliminacji niepożądanych obiektów powinno być przedmiotem dalszego rozwoju projektu.

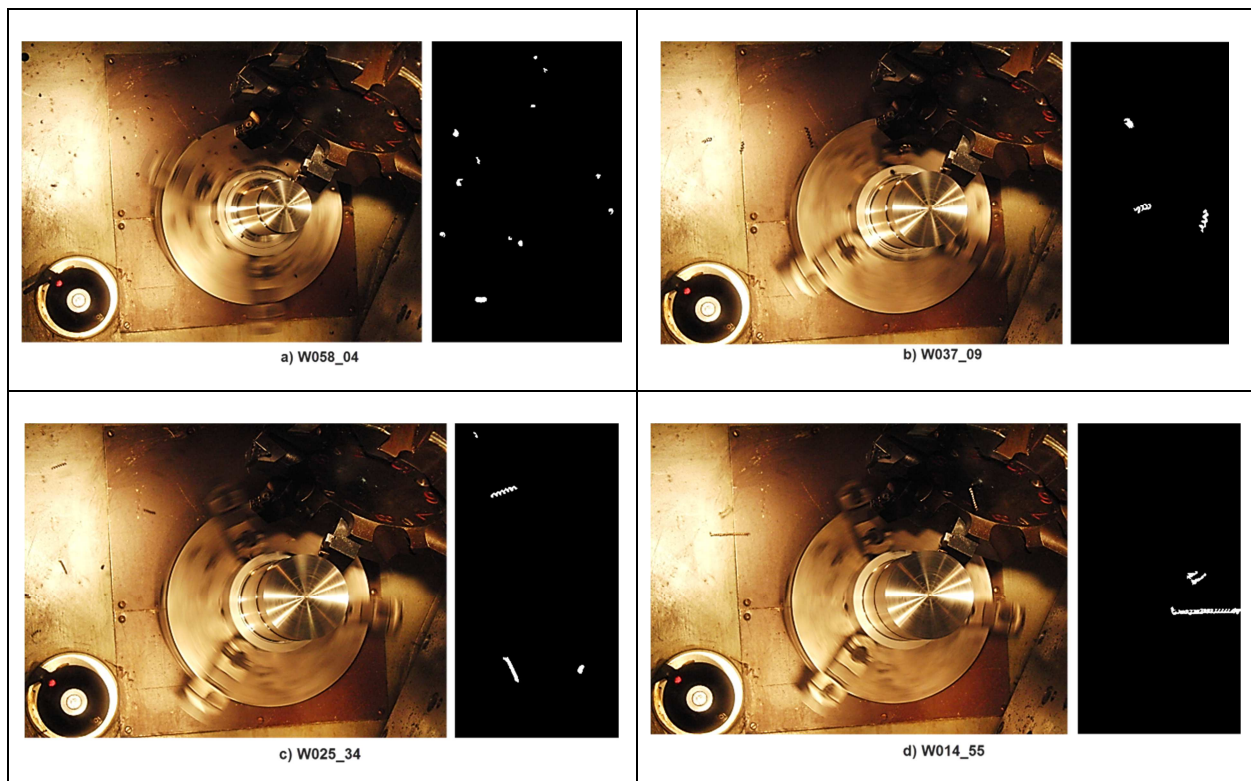


Rys. 4. Wizyjny algorytm do automatycznej detekcji wióra
 Fig. 4. The machine vision algorithm of automatic chip detection

Po detekcji obiektów reprezentujących wióry wyznaczone były miary ilościowe, opisujące grupę obiektów na pojedynczym obrazie. Miarą podstawową opisującą dany obiekt była połowa jego obwodu. Miarę tę wybrano jako dającą wyniki porównywalne z długością wiórów ze względu na ich kształt – obiekty wiórów mają stosunkowo niewielką wartość przekroju poprzecznego. Algorytm wyznaczał wartość średnią połowy obwodów obiektów na obrazie, ich odchylenie standardowe, wartości maksymalną i minimalną oraz liczbę wykrytych obiektów.

Przykładowe efekty działania algorytmu zaprezentowano na rys. 5. Przedstawione wyniki pokazują, że algorytm działa poprawnie przy wiórach różnego kształtu. Rys. 5a

ilustruje przypadek wiórów łukowych – luźnych. Na rys. 5b widoczne są wióry śrubowe stożkowe – krótkie, których obiekty wykryto poprawnie niezależnie od ich położenia. Rys. 5c przedstawia przypadek poprawnej detekcji wiórów różnego kształtu na pojedynczym obrazie. Z kolei na rys. 5d należy zauważyć, że program przeprowadził poprawną detekcję wiórów rurowych – długich.



Rys. 5. Przykładowe efekty detekcji wiórów przez opracowany algorytm, a) próba W058_04, b) próba W037_09, c) próba W025_34, d) próba W014_55

Fig. 5. Exemplary chip detection by the developed algorithm, a) test W058_04, b) test W037_09, c) test W025_34, d) test W014_55

Algorytm detekcji i pomiaru wiórów zwraca parametry dla każdego przeanalizowanego obrazu, tj. wartość średnią połowy obwodu, odchylenie standardowe, jego wartość maksymalną, wartość minimalną oraz liczbę wykrytych obiektów. W celu dalszego rozpoznania typu wiórów w danej operacji uśredniono te wartości oraz na ich podstawie dodano dwa parametry:

- przypadki detekcji wiórów P_{dw} – liczba obrazów, na których rozpoznano co najmniej jeden wiór,
- względną liczbę przypadków detekcji wiórów $P_{dw}/liczba\ obrazów$ - liczba obrazów, na których rozpoznano co najmniej jeden wiór względem liczby zarejestrowanych obrazów w czasie danej operacji.

Drugi z parametrów daje w przybliżeniu informację jak często wióry pojawiały się w monitorowanej strefie. Dzięki tej informacji można już wstępnie określić, czy wiór nie jest zbyt długi (w przypadku wiórów długich te pojawiają się w monitorowanej strefie

stosunkowo rzadko). Dla akceptowalnych wiórów zakłada się, że wartość parametru powinna być stosunkowo wysoka.

Jako pierwsze kryterium oceny typu wiórów przyjęto, że wartość parametru $P_{dw}/liczba\ obrazów$ to co najmniej 0,2 (występowanie obiektów wiórów na dwóch dziesiątych całkowitej liczby obrazów):

K1: $P_{dw} / liczba\ obrazów > 0,2\ całkowitej\ liczby\ obrazów\ w\ danym\ zabiegu.$

Wartość tą dobrano w oparciu o wyniki badań wstępnych – stwierdzono, że w przypadku wiórów nieakceptowalnych parametr ten przyjmuje wartości zdecydowanie niższe.

Natomiast w drugim kryterium wykorzystano średnią wartość połowy obwodu wióra, którą wybrano ze względu na najsilniejszą korelację z długością wiórów (w sprawdzonych przypadkach wartość ta była w przybliżeniu równa długości wiórów). Kryterium drugie zostaje spełnione, kiedy wartość średnia połowy obwodu obiektu reprezentującego wiór w danej operacji będzie mniejsza od 15mm (układ wzorcowano poprzez określenie liczby pikseli znanego wymiaru elementu obrabiarki widocznego na obrazie):

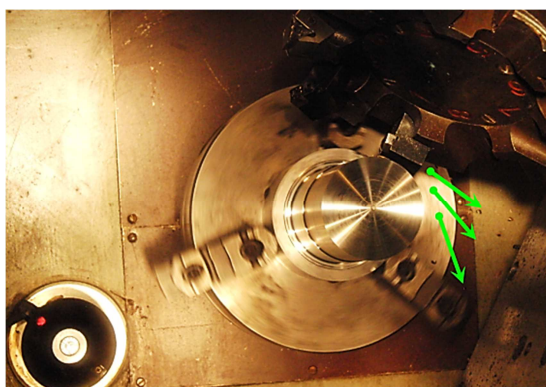
K2: $wartość\ średnia < 15mm.$

Ostatecznie za akceptowalne uznawano wióry, które w danej operacji spełniały kryteria K1 oraz K2:

K3: $K1 \wedge K2.$

Wyniki przedstawia tabela 2. dla prób od W001 do W030 oraz tabela 3. dla prób od W031 do W060. Przy założeniu, że algorytm ma odróżnić wióry akceptowalne (ozn. TAK) od wiórów nieakceptowalnych (ozn. NIE) prawidłowe wskazania osiągnięto dla 50 z 60 prób (ponad 83 %).

Przyczyną niewykrycia pozostałych przypadków występowania akceptowalnych wiórów był problem polegający na tym, że kierunek przemieszczania się wiórów nie przebiegał przez monitorowany obszar – wióry spadały bezpośrednio na dół (rys. 6). Problem ten można wyeliminować poprzez dodatkowe monitorowanie strefy poniżej wrzeciona.



Rys. 6. Przyczyna błędnie zaklasyfikowanych wiórów - kierunek przemieszczania nieprzecinającego monitorowanego obszaru; zielonymi strzałkami oznaczono kierunki przemieszczania się wiórów, obraz W039_45

Fig. 6. The reason of wrong classified chips – the move direction did not cross the monitored region; green arrows indicate directions of chips move – image W039_45

Tabela 2. Wyniki działania algorytmu do automatycznej oceny typu wióra dla obrazów W001 – W045
 Table 2. The results of the machine vision algorithm for chip type diagnosis for images W001 – W045

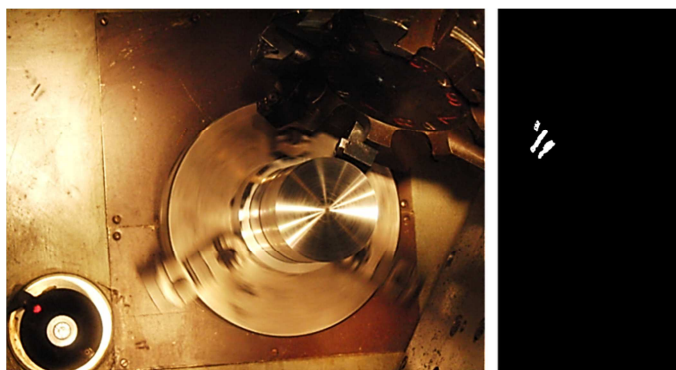
nazwa obrazu	WIÓRY		WYNIKI POMIARÓW AUTOMATYCZNYCH				KRYTERIA OCENY			Prawidłowe wskazanie
	akcept.(TAK) nieakcept.(NIE)	WARTOŚĆ średnia 1/2 obwodu	LICZBA obiektów	PRZYPADKI detekcji wiórów P_{dw}	P_{dw} /liczba klatek	P_{dw} /I.K. > 0,20	WŚ < 15 mm	K1 & K2		
W001	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W002	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W003	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W004	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W005	NIE	8,63	67,00	4,00	0,07	0,00	1,00	0	TAK	
W006	NIE	BRAK	BRAK	BRAK	BRAK	1,00	0,00	0	TAK	
W007	NIE	10,34	13,00	1,00	0,02	0,00	1,00	0	TAK	
W008	NIE	5,80	71,00	6,00	0,10	0,00	1,00	0	TAK	
W009	NIE	5,95	3,00	1,00	0,02	0,00	1,00	0	TAK	
W010	NIE	17,94	94,00	26,00	0,52	1,00	0,00	0	TAK	
W011	TAK	11,83	76,00	29,00	0,58	1,00	1,00	1	TAK	
W012	NIE	17,02	35,00	11,00	0,20	0,00	0,00	0	TAK	
W013	TAK	14,14	78,00	29,00	0,48	1,00	1,00	1	TAK	
W014	NIE	17,38	93,00	29,00	0,48	1,00	0,00	0	TAK	
W015	NIE	15,22	44,00	9,00	0,15	0,00	0,00	0	TAK	
W016	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W017	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W018	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W019	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W020	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W021	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W022	NIE	20,29	23,00	10,00	0,17	0,00	0,00	0	TAK	
W023	NIE	18,74	23,00	8,00	0,13	0,00	0,00	0	TAK	
W024	NIE	15,67	4,00	2,00	0,03	0,00	0,00	0	TAK	
W025	TAK	13,20	162,00	52,00	0,87	1,00	1,00	1	TAK	
W026	TAK	13,32	84,00	28,00	0,47	1,00	1,00	1	TAK	
W027	TAK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	NIE	
W028	TAK	10,76	51,00	28,00	0,49	1,00	1,00	1	TAK	
W029	TAK	4,16	19,00	16,00	0,27	1,00	1,00	1	TAK	
W030	TAK	4,14	41,00	28,00	0,47	1,00	1,00	1	TAK	
W031	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W032	NIE	12,28	11,00	6,00	0,10	0,00	1,00	0	TAK	
W033	NIE	9,60	9,00	4,00	0,07	0,00	1,00	0	TAK	
W034	NIE	17,04	9,00	4,00	0,07	0,00	0,00	0	TAK	
W035	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W036	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W037	TAK	13,84	43,00	11,00	0,23	1,00	1,00	1	TAK	
W038	TAK	12,69	64,00	26,00	0,46	1,00	1,00	1	TAK	
W039	TAK	7,46	6,00	4,00	0,07	0,00	1,00	0	NIE	
W040	TAK	6,39	8,00	4,00	0,11	0,00	1,00	0	NIE	
W041	TAK	11,63	4,00	3,00	0,05	0,00	1,00	0	NIE	
W042	TAK	4,02	2,00	2,00	0,03	0,00	1,00	0	NIE	
W043	TAK	6,31	148,00	52,00	0,87	1,00	1,00	1	TAK	
W044	TAK	6,93	169,00	56,00	0,93	1,00	1,00	1	TAK	
W045	TAK	11,04	40,00	25,00	0,42	1,00	1,00	1	TAK	

Tabela 3. Wyniki działania algorytmu do automatycznej oceny typu wióra dla obrazów W046 – W060
 Table 3. The results of the machine vision algorithm for chip type diagnosis for images W046 – W060

nazwa obrazu	WIÓRY		WYNIKI POMIARÓW AUTOMATYCZNYCH				KRYTERIA OCENY			Prawidłowe wskazanie
	akcept.(TAK) nieakcept.(NIE)	WARTOŚĆ średnia 1/2 obwodu	LICZBA obiektów	PRZYPADKI detekcji wiórów P_{dw}	P_{dw} /liczba klatek	P_{dw} /I.K. > 0,20	WŚ < 15 mm	K1 & K2		
W046	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W047	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W048	NIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	TAK	
W049	NIE	10,34	8,00	3,00	0,05	0,00	1,00	0	TAK	
W050	NIE	9,85	10,00	5,00	0,08	0,00	1,00	0	TAK	
W051	NIE	14,75	30,00	9,00	0,15	0,00	1,00	0	TAK	
W052	TAK	6,75	21,00	15,00	0,25	1,00	1,00	1	TAK	
W053	TAK	7,34	12,00	10,00	0,17	0,00	1,00	0	NIE	
W054	TAK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	NIE	
W055	TAK	7,72	11,00	11,00	0,19	0,00	1,00	0	NIE	
W056	TAK	13,21	8,00	7,00	0,12	0,00	1,00	0	NIE	
W057	TAK	17,68	3,00	2,00	0,03	0,00	0,00	0	NIE	
W058	TAK	6,70	436,00	34,00	0,85	1,00	1,00	1	TAK	
W059	TAK	6,95	204,00	34,00	0,71	1,00	1,00	1	TAK	
W060	TAK	6,66	289,00	60,00	1,00	1,00	1,00	1	TAK	



Rys. 7. Problem braku detekcji fragmentów wióra ze względu na refleksy światła – obraz W005_28
 Fig. 7. The lack of chip parts detection caused by light reflections – image W005_28



Rys. 8. Problem detekcji cienia - detekcja wiórów i cienia jako oddzielnych obiektów - obraz W013_23
 Fig. 8. The shadow detection problem – detection of chips and shadow as separate objects – image W013_23

Zauważono dwa typy błędów w rozpoznawaniu wiórów nieakceptowalnych. Pierwszym z nich była detekcja cieni jako obiektów reprezentujących wióry (rys. 8). Drugim był brak detekcji fragmentów długich wiórów, na których powstawały refleksy światła o stosunkowo dużej jasności zbliżonej do jasności tła (rys. 7). Problemy te nie wpłynęły negatywnie na efekt działania algorytmu za sprawą składowej kryterium oceny zależnej od tego, jak często wykrywane były obiekty wiórów. Przyczyną opisanych problemów było niewłaściwe ustawienie układu oświetleniowego.

3. WNIOSKI Z BADAŃ

Wyniki pracy dowiodły, że możliwe jest rozpoznawanie postaci wióra z wykorzystaniem metod wizyjnych. Opracowany algorytm uzyskał ponad 83% skuteczności w rozpoznawaniu typu wióra przy podziale na wióry akceptowalne i nieakceptowalne. Co ważne przyczyną niewykrycia przypadków występowania wiórów akceptowalnych był fakt, że w danych operacjach kierunek przemieszczania się wiórów nie przecinał rejestrowanego obszaru. Poprawę skuteczności można więc uzyskać poprzez monitorowanie dodatkowej strefy obrabiarki dzięki zastosowaniu drugiego układu wizyjnego lub modyfikacji bieżącego pola widzenia.

Skutecznym rozwiązaniem okazało się zastosowanie kryterium rozpoznawania typu wiórów łączącego częstość ich występowania w monitorowanej strefie i średniego rozmiaru pojedynczych obiektów. Należałoby jednak przeprowadzić badania, których celem byłoby określenie częstotliwości występowania wiórów akceptowalnych np. w zależności od prędkości skrawania. W kolejnej wersji systemu powinno się również opracować metodę dokładnego wyznaczania długości obiektów reprezentujących wióry.

W pracy odnotowano dwa przypadki błędów działania algorytmu, które jednak nie wpływały negatywnie na rozpoznawanie typu wiórów. Pierwszym była detekcja fragmentów długich wiórów jako wiele mniejszych obiektów. Przyczyną tego problemu były refleksy światła na powierzchni wiórów. Drugim rodzajem błędów była z kolei detekcja cienia wióra jako oddzielnego obiektu. W obydwu przypadkach było to spowodowane niewłaściwym kierunkiem padania światła. Oświetlacze powinny być ustawione pod większym kątem względem osi optycznej obiektywu kamery i co więcej powinny zapewnić równomierny rozkład natężenia światła na rejestrowanych powierzchniach obrabiarki.

W zaprezentowanym rozwiązaniu zastosowano stałe wartości parametrów przy operacji progowania oraz eliminacji obiektów niepożądanych. W ramach dalszego rozwoju projektu konieczne byłoby zaprojektowanie bardziej zautomatyzowanych algorytmów, umożliwiających prawidłową pracę układu na różnych obrabiarkach. W tym celu konieczne jest przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań.

W celu przygotowania wersji przemysłowej systemu należałoby zaprojektować układ akwizycji obrazu odpowiednio zabezpieczony przed szkodliwym wpływem chłodziwa i wiórów. Co więcej układ akwizycji obrazu oraz precyzyjne określenie monitorowanych obszarów obrabiarki powinny zapewnić większą rozdzielczość rejestrowanego obrazu tak, by uzyskać większą dokładność pomiarów.

LITERATURA

- [1] Norma PN-ISO 3685:1995. *Badanie trwałości noży tokarskich punktowych.*
- [2] FELDSZTEIN F.E., 2000, *Podstawy teorii obróbki skrawaniem – Tworzenie wióra w obróbce metali skrawaniem*, Komisja Budowy Maszyn PAN, Oddział w Poznaniu.
- [3] GRZESIK W., 1998, *Podstawy skrawania materiałów metalowych*, WNT.
- [4] ASTAKHOV V.P., SHVETS S.V., OSMAN M., 1997, *Chip structure classification based on mechanism of its formation*, Journal of Materials Processing Technology, 71, 247-257.
- [5] BUDA J., LIPTAK J. ABEL M., MANKOVA I., MODRAK V., STOVCIK M., *Chip state monitorization in flexible manufacturing systems*, In: Proceedings of the 18th CIRP Manufacturing Systems Seminar, Research & Design on the Way to CIM, June, Stuttgart, Germany.
- [6] GOVEKAR E., MUZIC P., GRABEC I., 1996, *Classification of chip form based on AE analysis*, Ultrasonics 34/2-5, 467-469.
- [7] INASAKI I., 1998, *Application of acoustic emission sensor for monitoring machining processes*, Elsevier, Ultrasonics 36/1-5, 273-281.
- [8] UEHARA K., 1984, *Identification of chip formation mechanism through acoustic emission measurements*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 33/1, 71-74.
- [9] ANDREASEN J.L., CHIFFRE L.D.E., 1993, *Automatic chip – breaking detection in turning by frequency analysis of cutting force*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 42/1, 45-48.
- [10] TETI R., JAWAHIR I.S., JEMIELNIAK K., SEGRETO T., CHEN S., KOSSAKOWSKA J., 2006, *Chip form monitoring through advanced processing of cutting force sensor signals*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 55/1, 75-80.
- [11] TETI R., JEMIELNIAK K., KOSSAKOWSKA J., SEGRETO T., 2006, *Innovative Signal processing for cutting force based chip form prediction*, 2nd Virtual Int. Conf. on Intelligent Production Machines and Systems, IPROMS, <http://conference.iproms.org/>.
- [12] JEMIELNIAK K., KOSSAKOWSKA J., 2006, *Chip form recognition in turning based on wavelet transform of cutting force signals*, 1st Jubilee Conf. Manufacturing Engineering in Time of Information Society.

THE AUTOMATIC CHIP TYPE RECOGNITION BASED ON A MACHINE VISION SYSTEM

Effective cutting process monitoring system could provide wide variety of benefits connected with broadly defined optimization of manufactured goods quality and with cost minimization as well. One of the information sources of current cutting process parameters is the chip form. The correlations between chip form and cutting parameters are well documented by much research. So far there was no automatic diagnosis system based on an information from a chip image. In present paper a machine vision solution for chip form diagnosis was presented. The vision hardware for image acquisition was mounted directly on the CNC lathe. The developed algorithm analyses images of machine region where chips appeared. The solution performance verification based on images from the experiment with 60 trials of cutting process showed effectiveness at 83% level. The majority of the solution improper diagnosis was caused by monitoring only one from two different regions where chips could appear.

Keywords: *vision system, diagnostics, monitoring, turning, image analysis, chip type recognition*