

**Borys STORCH, Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ, Łukasz ŻURAWSKI**  
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

## Wspomaganie kształtowania ostrzy narzędzi skrawających systemem wizyjnym

**Prof. nadzw. dr hab. inż. Borys STORCH**

Prof. nadzw. dr hab. inż. Borys Storch jest zatrudniony od 1992 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Obecnie zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Monitorowania Procesów Technologicznych Politechniki Koszalińskiej. Przez dwie kadencje na Wydziale Mechanicznym sprawował funkcję prodziekana do spraw nauki i współpracy z przemysłem. Zainteresowania naukowe autora to obróbka skrawaniem, monitorowanie zużycia ostrza i jakości powierzchni obrobionych oraz ergonomia.



e-mail: borys.storch@tu.koszalin.pl

**Dr inż. Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ**

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 przedstawia sposób modyfikacji ostrza skrawającego w postaci niewielkiej fazy na narożu ostrza od strony pomocniczej powierzchni przyłożenia. Ze względu na małe rozmiary przeprowadzonej modyfikacji autorzy zaproponowali metodykę kontroli wielkości modyfikacji z podglądem strefy skrawania. W artykule przedstawiono układ wizyjny podglądu strefy skrawania oraz oceniono zdolność pomiarową tego układu w aspekcie przeprowadzonego skrawania. Badania potwierdziły przydatność proponowanej metodyki.

**Słowa kluczowe:** monitorowanie, zmiana geometrii ostrza, narzędzie ściernie.

### Computer-aided generation of cutting tool geometry using vision system

#### Abstract

Cutting tool inserts have well-defined geometry [1, 3, 4, 5, 6]. Companies producing tools try to develop tool geometry adapted to different types of cutting conditions [2]. Specifically, a cutting wedge is changed by creating a tiny chamfer on the flank within the rounded cutting wedge from the minor flank side. It is a small shortening of the wedge and allows avoiding the wearing-out of the cutting edge in the initial phase of its work while favourable distribution of irregularities on the edge is created [3, 4, 5, 6]. Modification of cutting tool geometry is performed on a stand constructed specially for this project. Due to the small depth of cut, in tens of micrometers, the control of grinding tool displacement was realised with use of a vision system. A camera was located perpendicularly to the cutting zone. It enables the grinding tool displacement to be observed on the screen. The measurement capacity test performed took into account the linear stage measurement uncertainty and the uncertainty of scene object edge identification by an operator. The carried out tool wedge modification both for milling and turning operations proved the usability of the proposed methodology of visual control in practice.

**Keywords:** visual inspection, modification of cutting wedge, grinding tool.

**Mgr inż. Łukasz ŻURAWSKI**

Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej w roku 2003. W latach 2003 – 2007 r. był słuchaczem studiów doktoranckich, a od 2007 r. jest pracownikiem Zakładu Monitorowania Procesów Technologicznych Politechniki Koszalińskiej. Zainteresowania naukowe to: techniki wytwarzania, optyczne systemy wizyjne, metrologia, przetwarzanie i analiza obrazu.



e-mail: lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl

### 1. Wstęp

W przemyśle stosuje się płytki skrawające wymienne o różnym kształcie, wielkości, ukształtowaniu geometrii krawędzi skrawającej i powierzchni natarcia [1, 2, 4, 5, 6, 7]. Płytki do toczenia mają zazwyczaj naroża zaokrąglone promieniem  $r_c$  oraz z przejściową pomocniczą powierzchnią przyłożenia do frezowania. Istnieje możliwość, aby w płytkach wymiennych do toczenia i frezowania uzyskać powtarzalną geometrię i poprawić jakość ostrza. Modyfikacja kształtu ostrza w postaci pojedynczego łuku o bardzo dużym promieniu zaokrąglenia lub kilku łuków tworzy tak zwane ostrza dogładzające, które wprowadza się w płytkach wymiennych typu Wiper. Dzięki powierzchni dogładzającej w tych ostrzach istnieje możliwość skrawania z większymi posuwami [2].

Rozwiązanie, zaproponowane przez autorów dotyczy takiej modyfikacji geometrii ostrza, która w istotny sposób wpływa na wynik obróbki wykończeniowej [3, 6, 11]. Ostrze skrawające modyfikowane jest tak, że na powierzchni przyłożenia, w otoczeniu naroża lub powierzchni dogładzającej wykonana jest dodatkowa powierzchnia równoległa do zamierzonego kierunku posuwu, prostopadła w kierunku skrócenia ostrza. Tak zmodyfikowany geometryczny kształt ostrza, pozostaje niezmienny przez określony czas podczas obróbki.

Głównym problemem przy modyfikacji ostrza jest określenie chwili punktu styku narzędzia ściernego z powierzchnią szlifowaną. O ile kontrola dosuwu narzędzia nie stanowi problemu, o tyle największą trudnością jest taka kalibracja układu, aby dokładnie wyznaczyć punkt rozpoczęcia szlifowania.

Autorzy w artykule zaproponowali układ wizyjny do identyfikacji pierwszego kontaktu ostrza z narzędziem ściernym oraz sposób monitorowania przebiegu modyfikacji. Artykuł opisuje metodykę tworzenia modyfikacji na ostrzu, stanowisko obróbkowe oraz sposób przeprowadzenia modyfikacji z wykorzystaniem układu wizyjnego. Pracę kończy dyskusja wyników modyfikacji ostrza do obróbki toczeniem i frezowaniem.

### 2. Stanowisko do zmiany geometrii ostrza

Modyfikacja ostrzy, wykonana zgodnie z patentem nr 173536 [3], dotyczy pomocniczej powierzchni przyłożenia. W strefie wierzchołka wykonuje się niewielką powierzchnię styczną, która w czasie pracy jest równoległa do zamierzonego kierunku posuwu. Można ją traktować jako skrócenie na głębokość 0,015-0,020 mm w kierunku prostopadłym do posuwu. Obrobiona pomocnicza powierzchnia przyłożenia ma kształt wycinka elipsy. Modyfikację wykonano dla płytek wymiennych do toczenia i frezowania.

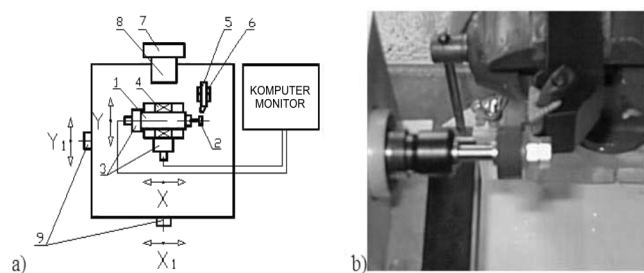
Do wykonania stanowiska i modyfikacji ostrza w oprawkach do toczenia zastosowano szlifierkę typu GGS 27 LC o mocy 600W firmy Bosch (1).

Możliwa prędkość obrotowa wrzeciona wynosiła od 12000 do 27000 obr/min. Podczas modyfikacji ustawiono prędkość obrotową na 16000 obr/min. Ze względu na jakość powierzchni ostrza po modyfikacji należało dobrać wielkość i rodzaj ziaren ściernicy. Wybrano ściernicę walcową (2) z ziarnem diamentowym typu D1A120-10-8 o nasypie D151 (koncentracja ziarna 151).

Przebieg procesu monitorował układ wizyjny, który zbudowano w oparciu o komputer z kartą akwizycji obrazu NI-PCI 1409 wraz z oprogramowaniem w LabView. Zastosowano kamerę Ikegami ICD – 47E B/W (8) zamocowaną na statywie (7) oraz zestaw obiektywów i pierścieni dystansowych. Powierzchnię ostrza oświetlano przy zastosowaniu układu diod LED.

Modyfikacja ostrza przebiegała w kilku etapach. Etap pierwszy dotyczył ustawienia stanowiska do modyfikacji. Płytkę skrawającą (5) z ostrzem przeznaczonym do modyfikacji mocowano w oprawce, którą umieszczono w imadle stołowym (6). Na stoliku przesuwu X Y (3) w specjalnie wykonanym uchwycie (4) zamocowano szlifierkę, którą ustawiono tak, aby oś oprawki i oś obrotu ściernicy były ustawione względem siebie o kąt  $90^\circ$ .

Całość została zamocowana na sztywnej płycie i przytwierdzona do stołu mikroskopu (9), co pozwoliło na swobodne ustawienie stanowiska pod obiektywem kamery. Umożliwiło to obserwację przesuwu ściernicy na monitorze oraz ustalenie ruchu stolika.

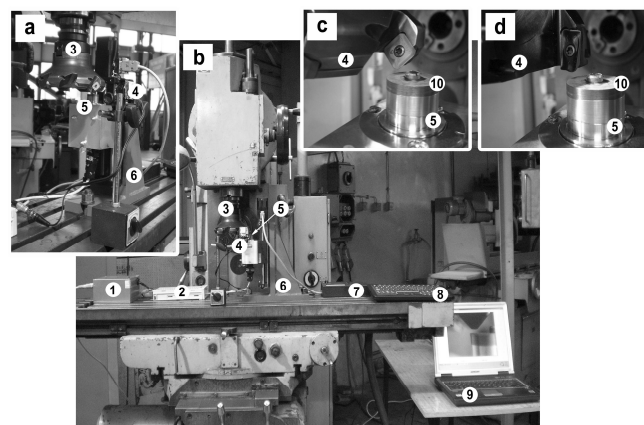


Rys. 1. Stanowisko do modyfikacji zmiany geometrii ostrza w nożu tokarskim [7]

Fig. 1. Set-up for geometry modification of a turning tool

Przesuwając stolik w kierunku ostrza wychwytywano moment kontaktu ostrza z ściernicą („pierwsze iskrzenie”). Od tej chwili następowało trwałe usuwanie fragmentu ostrza i modyfikacja jego geometrii. Szlifowanie ostrza następowało w zakresie żądanej głębokości od  $150\ \mu\text{m}$  do  $200\ \mu\text{m}$ .

Na rysunku 2 pokazano stanowisko do modyfikacji geometrii ostrzy w głowicach frezowych.



Rys. 2. Stanowisko do modyfikacji zmiany geometrii ostrza w głowicy frezowej

Fig. 2. Set-up for the face milling tool geometry

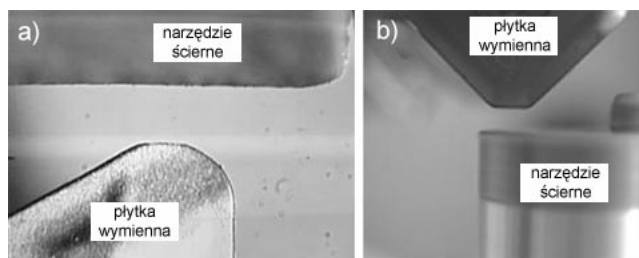
Do budowy układu wykorzystano sztywną stalową konstrukcję ze stolikiem mikrometrycznym sterowanym silnikiem krokowym do precyzyjnych ruchów ustawczych. Aluminiowy uchwyt (6)

pozwoił na zamontowanie silnika krokowego (5) z maksymalnymi obrotami do 5400 obr/min. Do sterowania prędkością obrotową zastosowano sterownik z komputerowego dysku twardego HDD (2) i zasilacza (1). W części czołowej silnika liniowego zamocowano szlifowaną tarczę żeliwną (10) na którą nanoszono warstwę luźnego ścierniwa diamentowego. Stolik mikrometryczny sterowany był za pomocą cyfrowego sterownika (7), gdzie komendy były zadawane z klawiatury przemysłowej (8).

Przebieg modyfikacji ostrzy monitorowano z wykorzystaniem kamery cyfrowej CCD (4) z przetwarzaniem sygnałów przez kartę akwizycji i komputera przenośnego (9).

### 3. Układ monitorowania skrócenia ostrza

Bezpośrednia kontrola modyfikacji była przeprowadzona metodą optyczną. System pomiarowy składał się z kilku elementów, jak na rysunku 3. Cyfrowa kamera ICD – 47E B/W była pozycjonowana w ten sposób, aby jej oś była prostopadła do płaszczyzny przesuwu stolików liniowych X-Y. System pomiarowy, oparty o komputer z kartą akwizycji obrazu NI-PCI 1409, pracował w środowisku LabView.



Rys. 3. Wizyjny podgląd strefy modyfikacji ostrza dla płytek wymiennych

a) tokarskich, b) frezarskich

Fig. 3. Visual control of the cutting zone for wedge modification of a) turning insert, b) face milling insert

Zdolność pomiarową układu oceniono na podstawie [8, 9, 10]. Niepewność wzorca pomiarowego wynosiła do  $100\ \mu\text{m}$  (rys. 4). Podana przez producenta niepewność stolików przesuwu liniowego była równa  $2,5\ \mu\text{m}$ . Matryca kamery CCD wynosiło  $\frac{1}{2}$  cala. Pole obserwacji dla pierwszego powiększenia wynosiło  $1,47\ \text{mm} \times 1,13\ \text{mm}$ , a dla drugiego  $0,84\ \text{mm} \times 0,65\ \text{mm}$ . Obraz był zapisywany z rozdzielczością  $576 \times 768$ . Wszystkie pomiary były powtarzane 30-krotnie.

Elementy sceny na monitorze były identyfikowane przez operatora. W ten sposób decydował on, w którym momencie będzie następował kontakt narzędzia ściernego z ostrzem. Kalibracja w tym przypadku polegała na przesuwie stolików o daną wartość i odczytaniu wartości przesunięcia. Różnica między długością wzorca i przesunięciem stolika stanowiła błąd systematyczny pomiaru (bias).

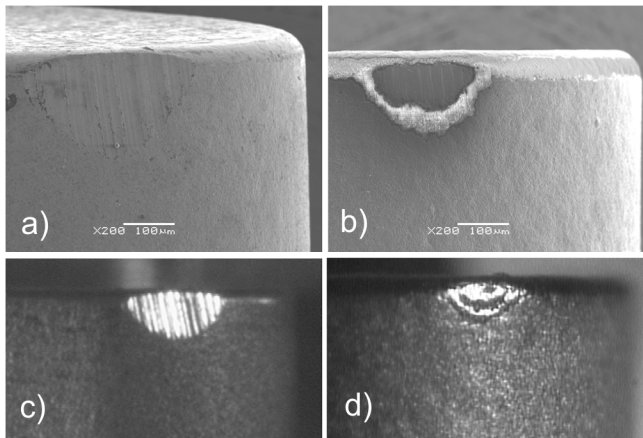
Dla pierwszego powiększenia błąd systematyczny pomiaru oszacowano jako  $2,267\ \mu\text{m}$ , a odchylenie standardowe  $1,502\ \mu\text{m}$ . Dla drugiego powiększenia bias wynosił  $3,31\ \mu\text{m}$ , natomiast odchylenie standardowe  $1,49\ \mu\text{m}$ .

Podsumowując zebrane wyniki kalibracji układu można stwierdzić, że operator korzystając z systemu wizyjnego miał możliwość ustawienia strefy obróbki z tolerancją  $\pm 30\ \mu\text{m}$  dla obu powiększeń. Precyzja wynosiła w tym przypadku  $11\ \mu\text{m}$ .

### 4. Geometria ostrza po obróbce. Dyskusja wyników badań

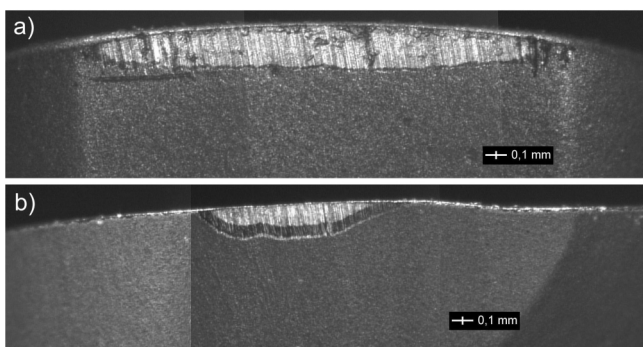
Szlifowanie jest złożonym procesem ściernym z geometrycznie niezdefiniowanymi ostrzami skrawającymi. Powierzchnia rozdziału w szlifowaniu tworzy się przez usuwanie materiału między ściernicą z losowo rozłożoną topografią, a przedmiotem obrabianym. Każde ziarno ścierni tworzy lokalnie powierzchnię obrobioną.

W badaniach wykorzystano płytki wymienne z węglików spiekanych niepowlekanych i powlekanych warstwą ochronną TiN. W szlifowaniu takich materiałów narzędziowych jest bardzo trudno uzyskać powierzchnię obrobioną o bardzo małej chropowatości. Węglik spiekany są materiałami trudnymi do obróbki ze względu na ich wysokie właściwości mechaniczne. Dlatego zdecydowano się, zastosować diamentowe ziarna ściernie, które posiadają wystarczającą twardość i odporność na zużycia i z powodzeniem używane są w szlifowaniu twardych i kruchych materiałów.



Rys. 4. Zdjęcia powierzchni modyfikacji wykonane mikroskopem skaningowym i optycznym  
Fig. 4. Microphotography of the modified wedge taken by SEM and optical microscopes

Rysunek 4 przedstawia zdjęcia SEM obszaru modyfikacji dla ostrzy powlekanego i niepowlekanego. W celu zidentyfikowania mechanizmu usuwania materiału powierzchni po szlifowaniu były obserwowane przy użyciu mikroskopu skaningowego (rys. 4 a, b). Na ostrzach bez pokrycia (rys. 4a) widoczna jest jednolita struktura materiału. Granice obszaru modyfikacji są lekko wyszczerbione. Dla ostrzy powlekanych zaobserwowano ścieranie się warstwy zewnętrznej, podczas gdy warstwa wewnętrzna pozostawała nienaruszona. Modyfikacja nie powodowała rozdzielania się warstwy lub poszarpania na jej granicy. Pokrycie było zeszlifowane w sposób równy, jednorodny, a powstała powierzchnia pozostała gładka (rys. 4 c, d).



Rys. 5. Obrazy cyfrowe po modyfikacji ostrza o różnej geometrii w głowicy frezowej  
Fig. 5. Digital images of modified wedges of different geometry fastened in a face milling cutter

Przykładowy obraz cyfrowy zmiany geometrii na powierzchni dogłędzającej w ostrzach typu Wiper do frezowania pokazano na rysunku 5a. Mimo zbliżonej wartości szerokości wytarcia modyfikacja obejmuje prawie całą krawędź dogłędzającą. Na ostrzu

widoczne są ślady obróbki po szlifowaniu, tam gdzie wpływ miała ziarnistość ścierniwa. Powierzchnia po szlifowaniu była w postaci rozciągniętej elipsy, a średnie poprzeczne starcie wynosiło około 0,15 mm. Dla ostrza do frezowania z narożem zaokrąglonym ślad modyfikacji jest zbliżony do śladu modyfikacji ostrza tokarskiego z widocznym starciem powłoki (rys. 4d i 5b).

Wyniki modyfikacji ostrza wskazują na użyteczność zaprezentowanego w rozdz. 3 układu monitorującego. Dzięki możliwości podglądu strefy obróbki możliwe było bazowanie elementów sceny, a następnie sterowanie przesuwem narzędzia ściernego. Zaprezentowane zdjęcia pomocniczej powierzchni przyłożenia ze śladem modyfikacji potwierdzają przydatność zastosowanego układu.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Wykorzystanie układu wizyjnego do kontroli strefy kontaktu ostrza z narzędziem ściernym potwierdziły jego przydatność.

Niepewność odczytu położenia elementów sceny, a następnie sterowanie dosuwem narzędzia ściernego, były utrzymywane w zakresie  $\pm 30\mu\text{m}/\text{mm}$ . Wartość niepewności pozwoliła na wykonanie modyfikacji zmiany geometrii na ostrzu w założonej tolerancji.

Układ składał się z kamery, karty akwizycji obrazów oraz oprogramowania pracującego w środowisku LabView.

## 6. Literatura

- [1] Cichosz P.: Narzędzia skrawające. WNT, Warszawa, 2006.
- [2] Katalog główny Sandvik. Narzędzia skrawające firmy Sandvik Coromant. 2006.
- [3] Storch B.: Patent nr PL 173536 B1, Geometria ostrza skrawającego. WUP 03/98.
- [4] Storch B.: Podstawy obróbki skrawaniem. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2001.
- [5] Storch B.: Zjawiska przykrawędziowe i monitorowanie chropowatości powierzchni po obróbce jednoostrzowej. Monografia Wydziału Mechanicznego, nr 124, Koszalin, 2006.
- [6] Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.: Efektywność procesu toczenia ostrzami o zmodyfikowanej geometrii, Obróbka skrawaniem. Tom 1. Wysoka produktywność pod red. Piotra Cichosza, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.
- [7] Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.: Modyfikowanie geometrii ostrza skrawającego przy zastosowaniu obróbki ścierniej - Wybrane problemy obróbki ścierniej. Pod red. Cz. Niżankowskiego, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008.
- [8] Tyka A., Góralczyk A.: Możliwości oceny i korekty błędów systemów wizyjnych w pomiarach wielkości geometrycznych elementów maszyn dla realizacji kontroli jakości w procesie produkcji. Metrologia w technikach wytwarzania, Kraków, 2003.
- [9] Kamińska-Krzowska B., Domińczuk J., Kuczmazewski J.: Ocena przydatności toru pomiarowego z systemem „MicroScan” do analizy wielkości geometrycznych. Metrologia w technikach wytwarzania, Częstochowa, 2001.
- [10] Kamińska-Krzowska B., Domińczuk J.: Dokładność toru pomiarowego z komputerową analizą obrazu. Metrologia w technikach wytwarzania, Kraków, 2003.
- [11] Grzesik W., Brol S., Żak K.: Ocena chropowatości powierzchni 2D i 3D po toczeniu różnych materiałów konstrukcyjnych. PAK, nr 1, 2010.