

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
KATEDRA INŻYNIERII PRODUKCJI

dr inż. Krzysztof Nadolny

## Autoreferat

---

Załącznik do wniosku o przeprowadzenie postępowania  
habilitacyjnego w dziedzinie Nauk Technicznych w dyscyplinie  
Budowa i Eksploatacja Maszyn

Koszalin, 21.11.2012

## Spis treści

1. CHARAKTERYSTYKA HABILITANTA.....	5
1.1. Uzyskane stopnie i tytuły naukowe.....	5
1.2. Przebieg pracy zawodowej.....	5
2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO .....	6
2.1. Syntetyczny opis osiągnięć naukowych zawartych w monografii.....	6
2.2. Znaczenie naukowe i uytylitarne osiągnięcia.....	10
3. OPIS OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH W ZAKRESIE PODSTAW BUDOWY I EKSPLOATACJI MODYFIKOWANYCH ŚCIERNIC Z ZIARNAMI MIKROKRystalicznego KORUNDU SPIEKANEGO W PROCESACH SZLIFOWANIA OTWORÓW .....	11
3.1. Określenie dominujących zjawisk zużycia ziaren ściernych mikrokrystalicznego korundu spiekanego na podstawie analizy materiałów źródłowych oraz badań własnych.....	11
3.2. Wyznaczenie zakresu modyfikacji budowy ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego, które mogą istotnie wpływać na stopień wykorzystania potencjału skrawnego tych ziaren ściernych i w efekcie znacząco zwiększyć efektywność procesów szlifowania otworów .....	12
3.3. Opracowanie podstaw budowy małogabarytowych ściernic o strefowo zróznicowanej budowie oraz wyznaczenie zakresu efektywnego stosowania tych ściernic w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów.....	14
3.4. Opracowanie podstaw budowy ściernic ze zmodyfikowanym spoiwem ceramicznym o strukturze szkalnokrystalicznej przeznaczonym do wiązania ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego.....	21
3.5. Opracowanie podstaw budowy ściernic z mikronieciągłościami czynnej powierzchni oraz wyznaczenie wpływu takiej modyfikacji ściernicy na jej właściwości eksploatacyjne.....	24
3.6. Opracowanie podstaw budowy małogabarytowych ściernic składanych oraz systemów odśrodkowego doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego do strefy szlifowania.....	28
3.7. Opracowanie podstaw budowy małogabarytowych ściernic impregnowanych pierwiastkami niemetalicznymi i wyznaczenie zakresu ich efektywnego stosowania	32
3.8. Opracowanie podstaw eksploatacji ściernic integrujących w swojej konstrukcji dwie lub więcej modyfikacje elementarne .....	36
3.9. Wyznaczenie zbioru kryteriów oceny efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego .....	38

3.10. Opracowanie metodyki monitorowania procesów szlifowania otworów ściernicami modyfikowanymi z zastosowaniem bezstykowego systemu emisji akustycznej.....	40
3.11. Opracowanie syntetycznego wskaźnika wydajności ubytkowej szlifowania przypadającej na pojedynczy wierzchołek skrawający $SI_Q$ .....	43
3.12. Określenie wpływu czasu szlifowania na cechy stereometryczne powierzchni ściernicy oraz powierzchni przedmiotu obrobionego w procesie szlifowania wgłębnego ściernicami o specjalnie ukształtowanej makrogeometrii powierzchni czynnej.....	45
3.13. Wyznaczenie rozkładów temperatury w strefie styku ściernicy z przedmiotem obrabianym oraz na określonych głębokościach pomiarowych ścian specjalnie ukształtowanej tulei pomiarowej, z zastosowaniem termowizji w podczerwieni.....	48
3.14. Opracowanie metodyki analizy danych pochodzących z obrazów mikroskopowych SEM czynnej powierzchni ściernicy .....	49
3.15. Określenie możliwości i zakresu zastosowania skaterometrii laserowej wspomaganej technikami przetwarzania i analizy obrazu do oceny stanu czynnej powierzchni ściernicy .....	50
4. CHARAKTERYSTYKA DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ .....	53
4.1. Syntetyczna charakterystyka dorobku naukowego .....	53
4.2. Wykaz prac opublikowanych w czasopiśmie wyróżnionych w <i>Journal Citation Reports</i> <sup>®</sup> .....	57
4.3. Wykaz publikacji w porządku chronologicznym.....	58
4.4. Autorstwo i redakcja monografii.....	66
4.5. Recenzowanie prac naukowych .....	66
4.6. Praca w wydawnictwach naukowych.....	66
4.7. Patenty i zgłoszenia patentowe.....	67
4.8. Realizacja międzynarodowych projektów badawczych.....	68
4.9. Realizacja projektów badawczych MNiSW .....	68
4.10. Uczestnictwo w międzynarodowych konferencjach naukowych.....	68
4.11. Uczestnictwo w krajowych konferencjach naukowych .....	69
4.12. Zleczone prace badawcze.....	72
4.13. Stypendia naukowe.....	72
4.14. Zagraniczne staże naukowe.....	72
4.15. Opieka nad doktorantami .....	73
4.16. Współpraca z przemysłem.....	73
4.17. Uzyskane nagrody i wyróżnienia .....	73
5. CHARAKTERYSTYKA DZIAŁALNOŚCI DYDAKTYCZNEJ.....	74
5.1. Prowadzone kursy i formy dydaktyczne .....	74
5.2. Opracowania dla potrzeb dydaktyki.....	75

---

5.3. Projekty europejskie .....	75
5.4. Prace dyplomowe .....	75
5.5. Studenckie Koło Naukowe Logistyki LOGTECH.....	76
6. CHARAKTERYSTYKA DZIAŁALNOŚCI ORGANIZACYJNEJ.....	77
6.1. Pełnione funkcje organizacyjne.....	77
6.2. Organizacja konferencji i kongresów naukowych .....	77
6.3. Popularyzacja nauki .....	77
6.4. Praca w organizacjach naukowych.....	77

# 1. Charakterystyka habilitanta

## 1.1. Uzyskane stopnie i tytuły naukowe

- **2006 – stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn**  
Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Plichta, temat pracy doktorskiej: „*Badania efektywności procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*”. Rozprawa doktorska **obroniona z wyróżnieniem**.
- **2001 – tytuł magistra inżyniera kierunku Mechanika i Budowa Maszyn**  
Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność Inżynierskie Zastosowania Komputerów, profil dyplomowania Komputerowe Wspomaganie Wytwarzania, promotor: prof. dr inż. Tadeusz Karpiński, tytuł pracy dyplomowej: „*Modelowanie w obszarze budowy maszyn z użyciem programu I-DEAS*”.

## 1.2. Przebieg pracy zawodowej

01.03.2007 – do dziś	Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Produkcji. Praca na stanowisku <b>adiunkta</b> w zakresie Technik Komputerowych w Inżynierii Produkcji.
01.05.2006 – 28.02.2007	Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Produkcji. Praca na stanowisku <b>asystenta</b> w zakresie Technik Komputerowych w Inżynierii Produkcji.
01.10.2001 – 30.04.2006	Politechnika Koszalińska. Pełnienie obowiązków <b>doktoranta</b> w Katedrze Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego.
23.07.2001 – 30.09.2001	PUF Michalik, Loos S.C. w Koszalinie. Praca na stanowisku <b>technologa stolarki aluminiowej</b> .
12.2000 – 06.2001	Politechnika Koszalińska. Pełnienie obowiązków <b>asystenta stażysty</b> w Katedrze Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego.

## 2. Wskazanie osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie, wynikające z artykułu 16. ustęp 2. ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, wskazuję monografię:

NADOLNY K.: *Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów*. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 227, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012, ISSN 0239-7129.

Wskazana autorska monografia uzyskała pozytywne recenzje wydawnicze dr. hab. inż. Mieczysława Marciniaka, profesora Politechniki Warszawskiej, oraz prof. dr. hab. inż. Andrzeja Gołąbczaka z Politechniki Łódzkiej. Zawiera ona ogółem 318 stron druku zwartego, w tym 23 tabele, 143 rysunki oraz wykaz literatury liczący 422 pozycje (bibliografia zawiera **84 pozycje własne, w tym 15 samodzielnych**).

### 2.1. Syntetyczny opis osiągnięć naukowych zawartych w monografii

1. Określenie **dominujących zjawisk zużycia ziaren ściernych mikrokrystalicznego korundu spiekanego** na podstawie analizy materiałów źródłowych oraz badań własnych.
2. Wyznaczenie zakresu **modyfikacji budowy ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego**, które mogą istotnie wpływać na stopień wykorzystania potencjału skrawnego tych ziaren ściernych i w efekcie znacząco zwiększyć efektywność procesów szlifowania otworów.
3. Opracowanie **podstaw budowy małogabarytowych ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie** oraz wyznaczenie zakresu efektywnego stosowania tych ściernic w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów. Opracowanie przyrządu do precyzyjnego kształtowania nakroju stożkowego na czynnej powierzchni ściernicy (CPS) w zakresie 0-1,5°. Opracowanie empirycznych modeli matematycznych określających wpływ głównych parametrów obróbkowych na chropowatość powierzchni obrobionej oraz moc szlifowania w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów w stali 100Cr6. Wyznaczenie wpływu parametrów kondycjonowania czynnej powierzchni poszczególnych stref funkcjonalnych ściernicy na ich cechy stereometryczne oraz przebieg i wyniki obróbki. Wyznaczenie okresu trwałości ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie. Określenie rozkładu oraz opracowanie modelu powstawania naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotów obrobionych ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie w procesie szlifowania jednoprzęściowego stali 100Cr6.
4. Opracowanie **podstaw budowy ściernic ze zmodyfikowanym spoiwem ceramicznym o strukturze szkalnokrystalicznej** przeznaczonym do wiązania ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego. Wyznaczenie wpływu opracowanych modyfikacji strukturalnych spoiwa na chropowatość powierzchni obrobionej, moc szlifowania, okres trwałości ściernicy, wskaźnik szlifowania  $G$  oraz błędy okrągłości ściernicy w procesie szlifowania wgłębnego z oscylacjami stali 100Cr6. Przeprowadzenie analiz stanu czynnej powierzchni ściernicy po kondycjonowaniu oraz po pracy, a także analizy wiórów materiału obrabianego z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM). Określenie składu pierwiastkowego charakterystycznych elementów zaobserwowanych na CPS z użyciem metody dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS) w celu ich jednoznacznej identyfikacji.

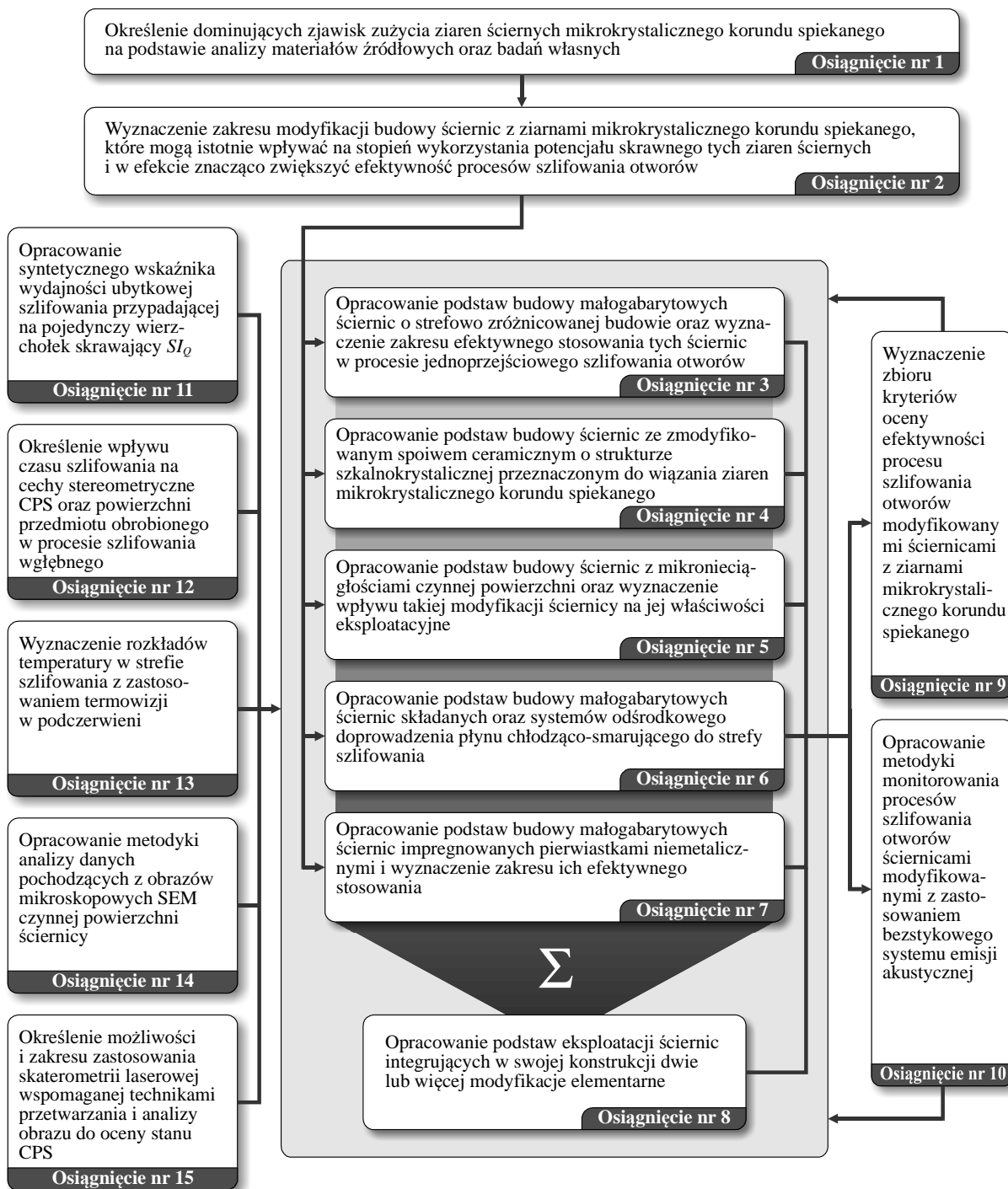
5. Opracowanie **podstaw budowy ściernic z mikronieciągłościami czynnej powierzchni** oraz wyznaczenie wpływu takiej modyfikacji ściernicy na jej właściwości eksploatacyjne w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów w stali 100Cr6. Opracowanie metody kształtowania mikronieciągłości na CPS za pomocą obciążacza diamentowego. Opracowanie urządzenia do precyzyjnego kształtowania makro- i mikrogeometrii czynnej powierzchni ściernicy. Wyznaczenie wpływu mikronieciągłości na cechy stereometryczne CPS. Określenie wpływu mikronieciągłości na okres trwałości ściernic, chropowatość powierzchni obrobionej oraz moc szlifowania w procesie szlifowania jednoprzęściowego stali 100Cr6.
6. Opracowanie **podstaw budowy małogabarytowych ściernic składanych oraz systemów odśrodkowego doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego (PCS)** do strefy szlifowania. Wyznaczenie zakresu efektywnego ograniczenia wydatku PCS w procesie szlifowania jednoprzęściowego otworów w stali 100Cr6. Opracowanie modeli symulacyjnych wpływu wariantów doprowadzenia PCS oraz prędkości obwodowej ściernicy na prędkość wylotową cieczy w strefie szlifowania. Wyznaczenie empirycznych modeli matematycznych opisujących wpływ minimalizacji wydatku PCS na chropowatość powierzchni obrobionej oraz moc szlifowania w procesie szlifowania stali 100Cr6.
7. Opracowanie **podstaw budowy małogabarytowych ściernic impregnowanych pierwiastkami niemetalicznymi** (siarką oraz alotropowymi odmianami węgla). Wyznaczenie zakresu efektywnego stosowania impregnacji ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi w procesie szlifowania węgłnego oraz szlifowania prostoliniowo-zwrotnego otworów w stopie Titanium Grade 2<sup>®</sup>. Wyznaczenie wpływu impregnacji na cechy stereometryczne CPS. Przeprowadzenie analiz stanu czynnej powierzchni ściernic impregnowanych przed i po procesie szlifowania stopu Titanium Grade 2<sup>®</sup>. Wyznaczenie wpływu impregnacji ściernicy na chropowatość powierzchni obrobionej oraz moc szlifowania. Określenie wpływu wydajności ubytkowej szlifowania na warunki szlifowania ściernicami impregnowanymi. Wyznaczenie wpływu rodzaju impregnatu na intensywność zalepiania czynnej powierzchni ściernicy produktami szlifowania, w tym głównie wiórami materiału obrabianego.
8. Opracowanie **podstaw eksploatacji ściernic integrujących w swojej konstrukcji dwie lub więcej modyfikacje** elementarne. Wyznaczenie wpływu łączenia modyfikacji ściernicy na chropowatość powierzchni obrobionej i moc szlifowania w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów w stali 100Cr6.
9. Wyznaczenie **zbioru kryteriów oceny efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami** z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekane, umożliwiających ocenę przydatności badanych modyfikacji w realizacji konkretnego zadania obróbkowego. Przeprowadzenie analiz porównawczych efektywności procesów szlifowania otworów prowadzonych z użyciem ściernic modyfikowanych w odniesieniu do wyników uzyskanych ściernicami referencyjnymi – pozbawionymi modyfikacji.
10. Opracowanie **metodyki monitorowania procesów szlifowania otworów ściernicami modyfikowanymi** z zastosowaniem bezstykowego systemu emisji akustycznej. Określenie możliwości zastosowania metody śledzenia zmian zachodzących w obrazie do analizy sygnału emisji akustycznej.

Ze względu na specyfikę ściernic modyfikowanych, opracowano również kilka oryginalnych osiągnięć w zakresie metod badawczych oraz pomiarowych. Dotyczą one zarówno metodyki badań doświadczalnych, jak i metod oceny przebiegu i efektów procesu szlifowania, w tym w szczególności oceny stanu czynnej powierzchni ściernicy.

11. Opracowanie **syntetycznego wskaźnika wydajności ubytkowej szlifowania przypadającej na pojedynczy wierzchołek skrawający  $SI_Q$** , umożliwiającego porównanie obciążenia ziaren aktywnych w różnych odmianach kinematycznych procesu szlifowania otworów (szlifowaniu jednoprzęściowym, prostoliniowo-zwrotnym, wgłębnym oraz wgłębnym z oscylacjami) z uwzględnieniem różnic w strukturze geometrycznej czynnej powierzchni ściernicy.
12. Określenie **wpływu czasu szlifowania na cechy stereometryczne powierzchni ściernicy oraz powierzchni przedmiotu obrobionego** w procesie szlifowania wgłębnego ściernicami o specjalnie ukształtowanej makrogeometrii powierzchni czynnej (ściernica stożkowa i ściernica ze strefami o różnej średnicy). Przeprowadzenie analizy stanu CPS oraz określenie dominujących zjawisk zużycia ściernicy w takim teście, na podstawie obrazów mikroskopowych SEM oraz wyników analizy EDS.
13. Wyznaczenie **rozkładów temperatury w strefie styku ściernicy z przedmiotem obrabianym** oraz na określonych głębokościach pomiarowych ścian specjalnie ukształtowanej tulei pomiarowej, z zastosowaniem termowizji w podczerwieni.
14. Opracowanie **metodyki analizy danych pochodzących z obrazów mikroskopowych SEM** czynnej powierzchni ściernicy. Przeprowadzenie statystycznej oceny ilościowej obiektów geometrycznych w obrazach mikroskopowych CPS z użyciem komputerowej analizy obrazów, uzupełniającej ocenę wizualną stanu powierzchni ściernicy.
15. Określenie **możliwości i zakresu zastosowania skaterometrii laserowej wspomaganej technikami przetwarzania i analizy obrazu do oceny stanu czynnej powierzchni ściernicy**. Przeprowadzenie analiz obrazów skaterometrycznych zarejestrowanych dla ściernic impregnowanych oraz nieimpregnowanych i określenie na tej podstawie wpływu impregnacji na stan CPS po szlifowaniu stopu Titanium Grade 2®.

Na rysunku 1 przedstawiono powiązania przyczynowo-skutkowe pomiędzy wymienionymi wyżej osiągnięciami naukowymi.





Rys. 1. Schemat prezentujący powiązania przyczynowo-skutkowe pomiędzy zdefiniowanymi osiągnięciami naukowymi

## 2.2. Znaczenie naukowe i użyteczne osiągnięcia

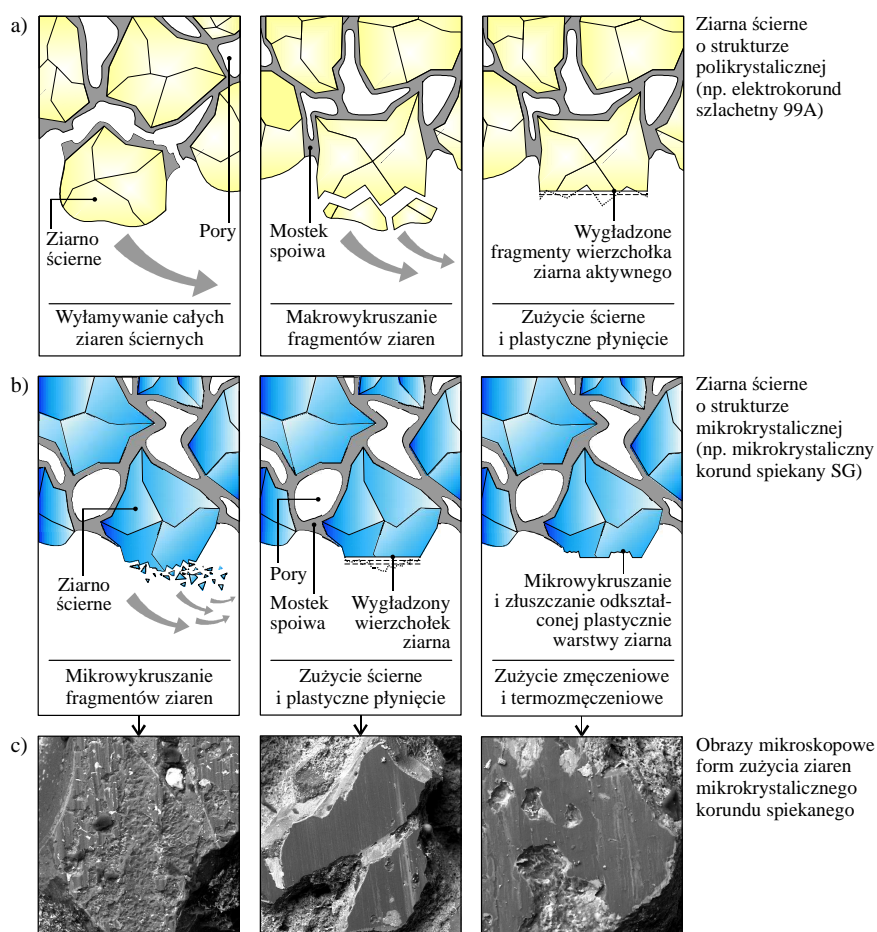
- Problemy dotyczące stosowania ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego stanowią, od momentu pojawienia się tego ścierniwa, znaczący udział w światowych badaniach procesu szlifowania ściernicowego. Jednak dopiero ostatnie odkrycia dotyczące procesu zużywania się tych ziaren dały podstawę do rozwoju ściernic, które byłyby modyfikowane w sposób uwzględniający te specyficzne zjawiska. Badania własne autora pozwoliły na szczegółową analizę warunków pracy ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów i określenie dominujących zjawisk ich zużycia.
- Zagadnienia poruszone w niniejszej pracy mają znaczenie poznawcze w zakresie wpływu wytypowanych modyfikacji budowy ściernicy na:
  - jakość powierzchni obrabianej,
  - moc szlifowania,
  - możliwość zwiększenia wydajności ubytkowej szlifowania,
  - ograniczenie zużycia i związane z nim wydłużenie okresu trwałości ściernicy,
  - stan czynnej powierzchni ściernicy (w szczególności intensywność zalepiania jej wiórami materiału obrabianego) w procesach szlifowania otworów ze stali 100Cr6 oraz ze stopu Titanium Grade 2<sup>®</sup>,
  - zwiększenie stopnia wykorzystania potencjału skrawnego ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego.
- W pracy opisano oraz zastosowano i zweryfikowano przydatność kilku nowatorskich metod badawczych, opracowanych na potrzeby oceny warunków procesu szlifowania ściernicami modyfikowanymi oraz oceny stanu ich czynnej powierzchni. Rozszerzają one zakres możliwych do zastosowania metod analitycznych i doświadczalnych stosowanych w procesach szlifowania, przyczyniając się do rozwoju metodyki badawczej w tym zakresie.
- Praca posiada również aspekty praktyczne:
  - opracowane modyfikacje ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego badane były z uwzględnieniem warunków produkcyjnych, stosowanych m.in. w przemyśle łożyskowym, dzięki czemu mogą być z powodzeniem wdrożone w praktyce przemysłowej,
  - przedstawiona metodyka oceny efektywności procesu szlifowania otworów ściernicami modyfikowanymi daje podstawy do oceny przydatności wdrożenia badanych modyfikacji w praktyce przemysłowej, zarówno przez wytwórców narzędzi ściernych, jak i ich użytkowników,
  - opracowana metoda analizy sygnału emisji akustycznej metodą śledzenia zmian zachodzących w obrazie, zastosowana do monitorowania procesów szlifowania otworów, pozwala na jej łatwą implementację w warunkach produkcyjnych, ponieważ odbywa się na poziomie programowym, nie ingerując w wyposażenie sprzętowe przemysłowego systemu monitorowania.

### 3. Opis osiągnięć naukowo-badawczych w zakresie podstaw budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów

Poniżej opisano skrótowo najważniejsze wyniki analiz i prac badawczych zawartych we wskazanym osiągnięciu naukowym, tj. monografii pt.: *Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów*.

#### 3.1. Określenie dominujących zjawisk zużycia ziaren ściernych mikrokrystalicznego korundu spiekanego na podstawie analizy materiałów źródłowych oraz badań własnych

Ziarna mikrokrystalicznego korundu spiekanego odznaczają się korzystniejszymi właściwościami w porównaniu z ziarnami elektrokorundowymi, i mimo wyższej ceny wynikającej z bardziej energochłonnego i skomplikowanego procesu wytwarzania, są coraz szerzej stosowane. Jednak prognozy dotyczące upowszechnienia tego typu ziaren, formułowane jeszcze kilka lat temu, nie sprawdziły się. W głównej mierze wynika to ze specyficznego procesu zużywania się ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego (rys. 2).



Rys. 2. Formy zużycia czynnej powierzchni ściernicy z ziarnami polikrystalicznego (a) i mikrokrystalicznego (b, c) tlenku glinu (na podstawie rysunków Rappold Winterthur Group i materiałów własnych)

Dominującym zjawiskiem zachodzącym w strefie styku wierzchołków aktywnych ziaren z materiałem obrabianym nie jest, jak dotąd sądzono, wykruszanie mikrokryształów i ciągle samoostrzenie, ale deformacja plastyczna i wygładzanie wierzchołków. Specyficzne właściwości tribologiczne cienkiej warstwy tlenków tworzących się na wygładzonej powierzchni ziarna sprawiają, że znacząco obniżają one zarówno zużycie, jak i współczynnik tarcia w strefie styku. Jak wykazały prace autora, okresowo dochodzi do złuszczenia uplastycznionej warstwy wierzchniej i odsłaniania ostrych naroży mikrokryształów. Taki proces zużycia sprawia, że nie w każdych warunkach można w pełni wykorzystać potencjał skrawny ziaren mikrokrystalicznego  $Al_2O_3$ . Należy przypuszczać, że właśnie trudności z uzyskaniem zakładanego wzrostu efektywności szlifowania sprawiają, że ściernice z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego nie są powszechnie stosowane.

Najważniejszy wniosek wynikający z analizy stanu wiedzy oraz badań własnych w zakresie zjawisk zużycia ziaren ściernych mikrokrystalicznego korundu spiekanego jest następujący:

- w celu zwiększenia efektywności szlifowania otworów ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego  $Al_2O_3$  należy uwzględnić najnowszą wiedzę dotyczącą dominujących zjawisk zużycia tych ziaren.

### Publikacje

1. **NADOLNY K.:** *Analiza zużycia czynnej powierzchni ściernicy z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesie szlifowania wgłębnego walcowych powierzchni wewnętrznych.* Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 69-80.
2. **NADOLNY K., SŁOWIŃSKI B.:** *The effects of wear upon the axial profile of a grinding wheel in the construction of innovative grinding wheels for internal cylindrical grinding.* Advances in Tribology, Volume 2011, Article ID 516202, 11 pages, DOI:10.1155/2011/516202.
3. **NADOLNY K.:** *Wytwarzanie, właściwości i zastosowanie ziaren ściernych z mikro- i submikrokrystalicznego korundu spiekanego.* Mechanik. 85(2012)10, s. 850-857.

### 3.2. Wyznaczenie zakresu modyfikacji budowy ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego, które mogą istotnie wpływać na stopień wykorzystania potencjału skrawnego tych ziaren ściernych i w efekcie znacząco zwiększyć efektywność procesów szlifowania otworów

Ściernice z ziarnami mikrokrystalicznego  $Al_2O_3$  wytwarzane są najczęściej z użyciem spoiwa ceramicznego. Poza dużą wytrzymałością, zdolnością wiązania ziaren oraz łatwością kształtowania czynnej powierzchni ściernicy, cechuje się ono również możliwością budowy narzędzi o wysokiej stabilności termicznej i relatywnie dużych przestrzeniach międzyziarnowych. Prace badawcze w zakresie spoiw ceramicznych ukierunkowane są na otrzymywanie tworzyw szklanokrystalicznych. Poprzez odpowiedni dobór składu chemicznego szkła i precyzyjną obróbkę termiczną możliwe jest otrzymanie zaprogramowanych cech spoiwa w celu tworzenia ściernic o coraz większej porowatości struktury oraz dopasowanie intensywności zużycia mostków spoiwa do zużycia ziaren mikrokrystalicznego  $Al_2O_3$ .

Trudności z pełnym wykorzystaniem potencjału skrawnego ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego dotyczą również procesów szlifowania otworów, które odznaczają się szczególnie trudnymi warunkami realizacji. Proces zużywania ziaren polegający na tworzeniu relatywnie dużych płaskich powierzchni kontaktu z materiałem obrabianym sprawia, że kluczową rolę dla uniknięcia

defektów cieplnych przedmiotu obrobionego odgrywa skuteczne doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego (PCS) do strefy szlifowania. Niezwykle istotne jest również efektywne usuwanie z niej produktów szlifowania, w szczególności wiórów materiału obrabianego, które przy długiej strefie styku powodują ryzyko powstawania zalepień CPS. Dotyczy to w największym stopniu procesów szlifowania otworów prowadzonych z podwyższoną i wysoką wydajnością ubytkową.

Spośród scharakteryzowanych w pracy 19 modyfikacji budowy ściernicy, jedynie 7 znajduje zastosowanie w procesach szlifowania otworów. W związku z powyższym uzasadnione jest przeprowadzenie badań teoretycznych i doświadczalnych, mających na celu opracowania podstaw stosowania ściernic modyfikowanych w procesach szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych. Z przeglądu znanych rozwiązań wynika, że najbardziej korzystny wpływ na warunki opisywanego procesu mają modyfikacje konstrukcyjne polegające na strefowym zróżnicowaniu budowy ściernicy, stosowanie systemu odśrodkowego doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego oraz modyfikacja kształtu CPS. Ze względu na ich zalety, wydaje się również zasadne rozwijanie prac nad modyfikacjami strukturalnymi, w szczególności spoiwami o strukturze amorficzno-krystalicznej oraz ściernicami impregnowanymi substancjami smarnymi i obniżającymi adhezję wiórów. Jedną z możliwości zwiększenia efektywności jest również uzyskanie efektu synergii poprzez integrację kilku modyfikacji w jednej ściernicy.

Z analizy stanu wiedzy w zakresie modyfikacji budowy ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego i spoiwa ceramicznego, wynika, co następuje:

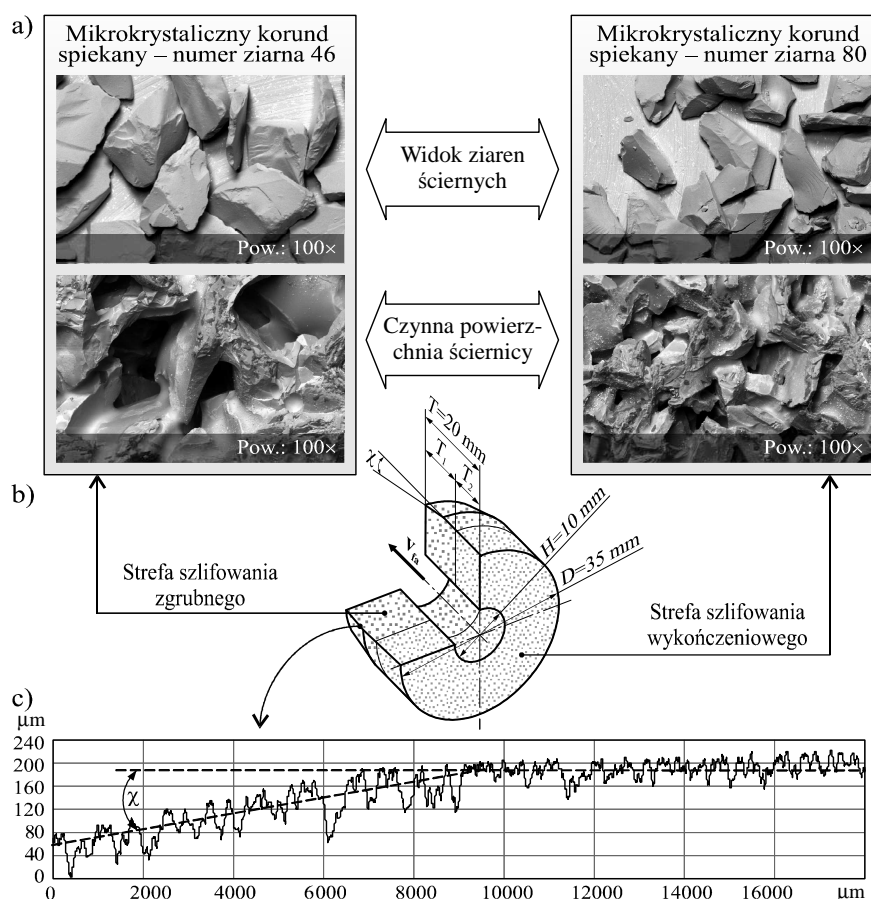
- spoiwo ceramiczne daje szerokie możliwości modyfikacji struktury ściernic i przez to wpływania na warunki szlifowania otworów i efektywność tego procesu;
- najistotniejsze problemy w szlifowaniu otworów dotyczą skutecznego doprowadzenia PCS do strefy szlifowania oraz efektywnego usuwania z niej produktów szlifowania i wynikają z kinematyki tego procesu charakteryzującego się długą drogą styku ściernicy z materiałem obrabianym;
- najbardziej skutecznym i najbardziej uzasadnionym ekonomicznie sposobem poprawy efektywności szlifowania otworów jest modyfikacja budowy ściernicy w celu zniwelowania zdefiniowanych wyżej problemów dotyczących tego procesu;
- z porównania cech znanych w literaturze modyfikacji budowy ściernicy wynika, że najbardziej korzystny wpływ na warunki opisywanego procesu mają modyfikacje konstrukcyjne polegające na strefowym zróżnicowaniu budowy ściernicy, modyfikacje mikrostruktury spoiwa ceramicznego, modyfikacje kształtu CPS, stosowanie systemu odśrodkowego doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego oraz impregnowanie ściernicy substancjami smarnymi i obniżającymi adhezję wiórów;
- należy przypuszczać, że integracja kilku modyfikacji w jednej ściernicy pozwoli na uzyskanie efektu synergicznego wzmocnienia efektu ich pozytywnego oddziaływania na proces szlifowania.

Wobec powyższego można stwierdzić, że zakres tematyczny monografii znajduje głębokie uzasadnienie naukowe i poznawcze, dając podstawy teoretyczne i doświadczalne do podnoszenia efektywności procesów szlifowania otworów ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego  $Al_2O_3$ , na drodze modyfikacji ich budowy.

### 3.3. Opracowanie podstaw budowy małowabarytowych ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie oraz wyznaczenie zakresu efektywnego stosowania tych ściernic w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów

#### Istota modyfikacji

Ściernice o strefowo zróżnicowanej budowie opracowane zostały na potrzeby procesów szlifowania jednoprzęściowego, w których cały naddatek obróbkowy usuwany jest w jednym przejściu ściernicy. Ściernice takie charakteryzują się tym, że strefa szlifowania zgrubnego zbudowana jest z ziaren o relatywnie dużych wymiarach, zaś walcowa strefa szlifowania wykończeniowego posiada ziarna o mniejszych wymiarach. Zadaniem strefy szlifowania zgrubnego jest usuwanie naddatku, natomiast zadaniem strefy szlifowania wykończeniowego jest wyiskrzanie i wygładzanie powierzchni. Decydujące znaczenie dla przebiegu procesu szlifowania zgrubnego ma kąt nakroju stożkowego  $\chi$ , który uzależniony jest od szeregu parametrów, takich jak wybieg ściernicy, wielkość usuwanego naddatku, wysokość ściernicy, a także od wymagań dotyczących jakości powierzchni. Te ostatnie determinują szerokość strefy szlifowania wykończeniowego i wyiskrzania (rys. 3).

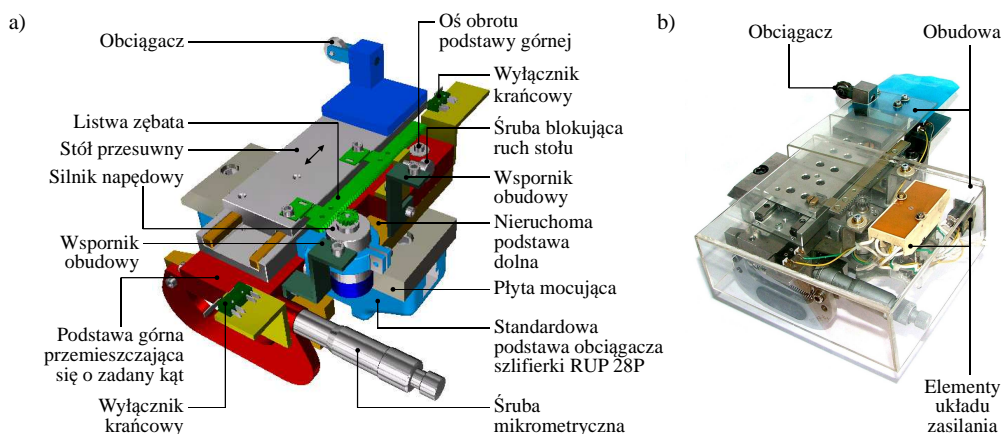


Rys. 3. Ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie do jednoprzęściowego szlifowania otworów:

- a) widoki mikroskopowe SEM ziaren ściernych i CPS; b) schemat konstrukcyjny;  
c) profil mikrogeometrii CPS z zaznaczonym kątem nakroju stożkowego  $\chi$

## Opracowanie przyrządu do precyzyjnego kształtowania nakroju stożkowego na czynnej powierzchni ściernicy (CPS) w zakresie $0-1,5^\circ$

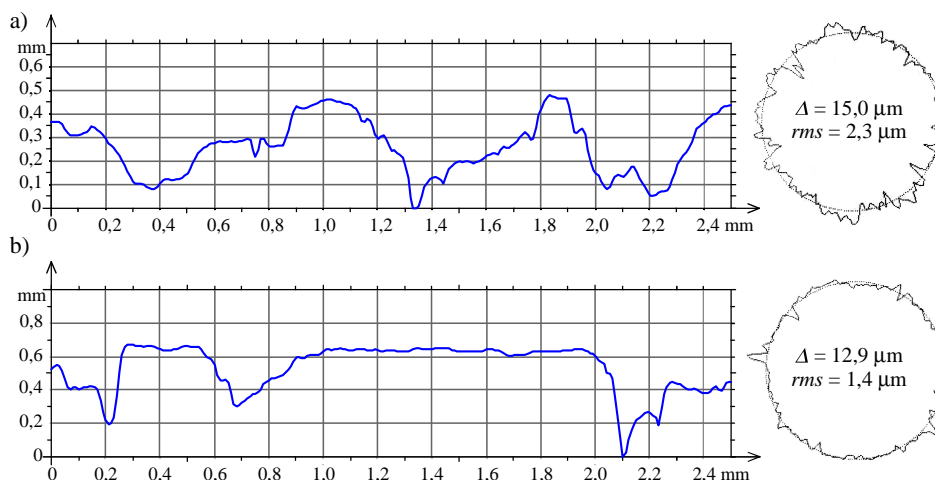
Aby umożliwić szybkie kształtowanie nakroju stożkowego o określonych parametrach geometrycznych na czynnej powierzchni ściernicy, konieczne było opracowanie specjalnego przyrządu. Składa się on ze stołu przesuwnego na prowadnicach tocnych, do którego przytwierdzona została tarczowa oprawa jednoziarnistego obciążacza diamentowego oraz śruba mikrometryczna, dzięki której można z wysoką precyzją zadawać żądane wartości kąta nakroju (rys. 4). Przyrząd wyposażono w układ napędu stołu.



Rys. 4. Przyrząd do kształtowania makrogeometrii ściernicy: a) elementy funkcjonalne; b) widok urządzenia w stanie gotowym do pracy

## Wyznaczenie wpływu parametrów kondycjonowania czynnej powierzchni poszczególnych stref funkcjonalnych ściernicy na ich cechy stereometryczne oraz przebieg i wyniki obróbki

Przy użyciu opracowanego przyrządu przeprowadzono badania mające na celu wyznaczenie najkorzystniejszych parametrów kształtowania czynnej powierzchni ściernicy o strefowo zróżnicowanej budowie. Porównanie mikrogeometrii poszczególnych stref funkcjonalnych ściernicy przedstawione na rysunku 5 wskazuje, że istnieje możliwość dostosowania stanu poszczególnych stref CPS do realizowanych przez nie różnych funkcji obróbkowych.



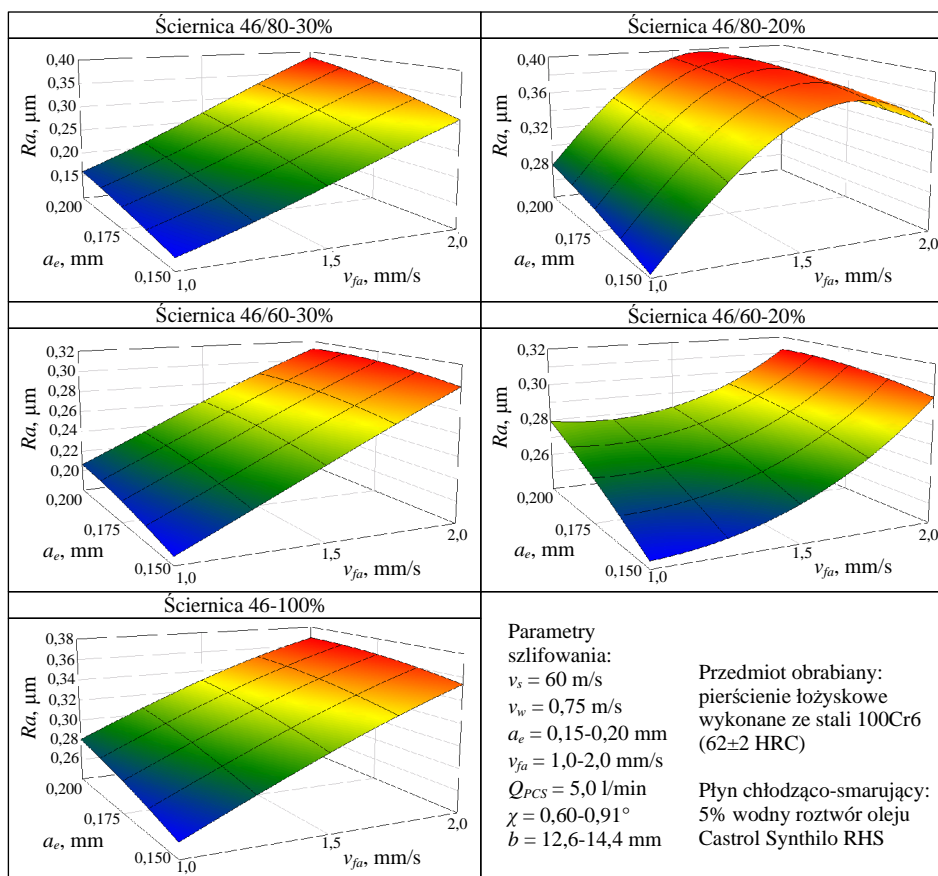
Rys. 5. Przykładowe profile osiowe mikrogeometrii oraz zarysy obwodowe ściernicy 46-100% po obciążaniu z prędkością  $v_{sd} = 10 \text{ m/s}$ : a) strefa stożkowa ( $v_{fd(stożek)} = 280 \text{ mm/s}$ ;  $k_d = 0,10$ ); b) część walcowa ( $v_{fd(walec)} = 10 \text{ mm/s}$ ;  $k_d = 2,75$ )

Odpowiedni dobór  $v_{sd}$  oraz wysokie prędkości kształtowania strefy stożkowej  $v_{fd}$  (stożek) pozwalają na znaczną redukcję mocy szlifowania przy niewielkim wzroście chropowatości powierzchni szlifowanej. Natomiast na jakość przedmiotu obrobionego w największym stopniu wpływa struktura geometryczna powierzchni strefy walcowej ściernicy, którą należy ukształtować, stosując niewielką prędkość posuwu obciążacza  $v_{fd}$  (walec).

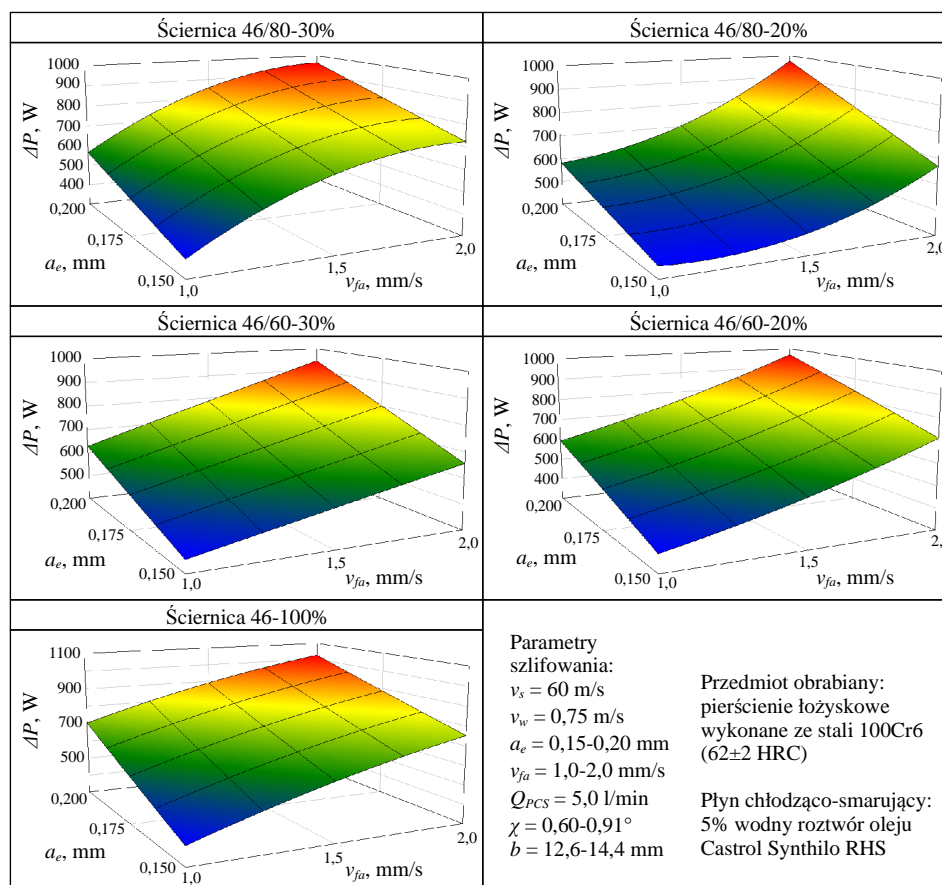
### Opracowanie empirycznych modeli matematycznych wpływu głównych parametrów obróbkowych na chropowatość powierzchni obrabianej oraz moc szlifowania w procesie jednoprzeciowego szlifowania otworów w stali 100Cr6

W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych wyznaczono modele matematyczne opisujące zmiany chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego (dla parametrów  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Sm$  i  $\Delta a$ ) oraz przyrostu mocy szlifowania  $\Delta P$ . W tabeli 1 i 2 przedstawiono przykładowe wyniki analiz dla pięciu badanych ściernic różniących się wielkością ziaren ściernych w strefie szlifowania zgrubnego i wykończeniowego oraz procentowym udziałem tych stref w ściernicy.

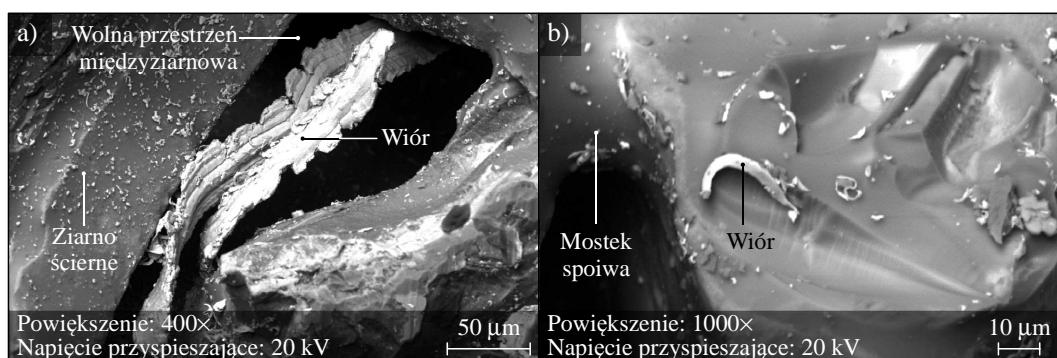
Tab. 1. Zmiany chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego wyrażone parametrem  $Ra$  w funkcji głębokości szlifowania  $a_e$  i prędkości posuwu osiowego stołu  $v_{fa}$





Tab. 2. Przyrost mocy szlifowania  $\Delta P$  w funkcji głębokości szlifowania  $a_e$  i prędkości posuwu osiowego stołu  $v_{fa}$ 

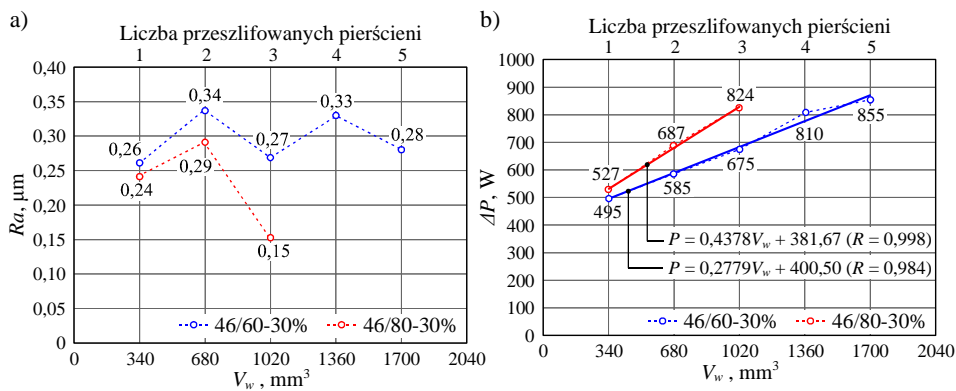
W analizie wyznaczonych modeli empirycznych uwzględniono obserwacje mikroskopowe SEM śladów zużycia oraz produktów szlifowania na czynnej powierzchni ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie (rys. 6).



Rys. 6. Porównanie wielkości wiórów zaobserwowanych na czynnej powierzchni ściernicy 46/80-30%: a) strefa szlifowania zgrubnego (pow. 400×); b) strefa szlifowania wykończeniowego (pow. 1000×)

### Wyznaczenie okresu trwałości ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie

Przeprowadzone badania doświadczalne pozwoliły na wyznaczenie okresu trwałości narzędzi ściernych o strefowo zróżnicowanej budowie w procesie jednaprzejściowego szlifowania otworów. Najważniejsze wyniki tej części badań przedstawiono na rysunku 7.

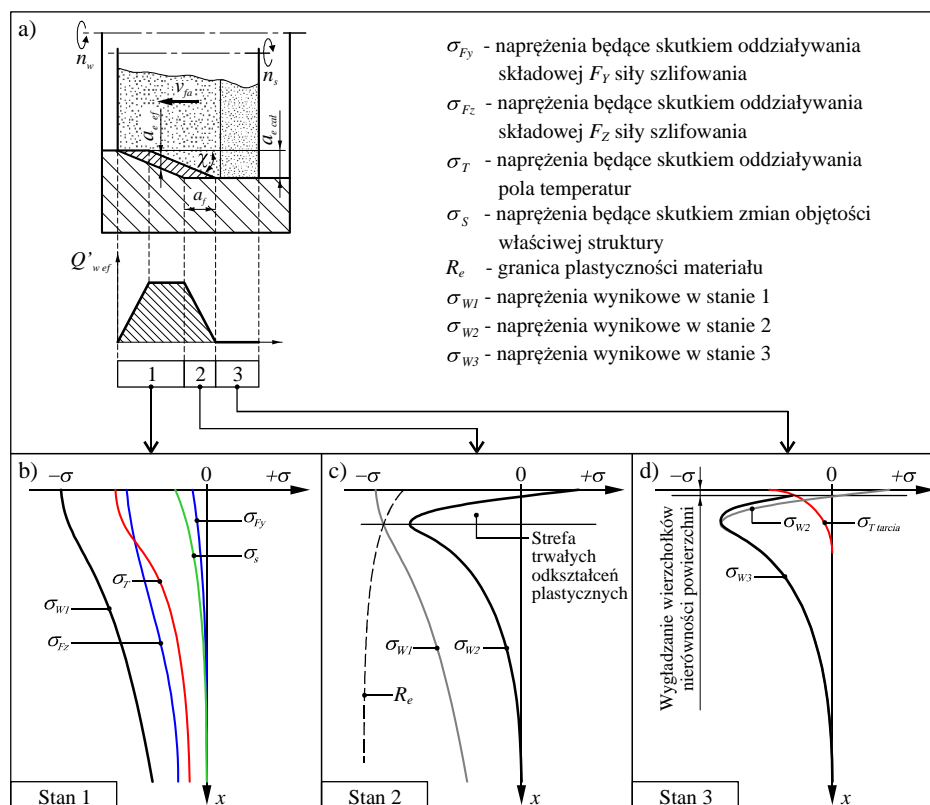


Parametry szlifowania:  
 $v_s = 60 \text{ m/s}$ ;  $v_w = 0,75 \text{ m/s}$ ;  $a_e = 0,15 \text{ mm}$ ;  $v_{fa} = 1,5 \text{ mm/s}$ ;  $Q_{PCS} = 5,0 \text{ l/min}$ ;  $\chi = 0,68^\circ$ ;  $b = 12,6 \text{ mm}$   
 Przedmiot obrabiany: pierścienie łożyskowe wykonane ze stali 100Cr6 ( $62 \pm 2 \text{ HRC}$ )  
 Płyn chłodziwo-smarujący: 5% wodny roztwór oleju Castrol Synthilo RHS

Rys. 7. Zmiany wartości średniego arytmetycznego odchylenia profilu powierzchni szlifowanej  $Ra$  (a) oraz przyrostu mocy szlifowania  $\Delta P$  (b) w funkcji objętości usuwanego materiału  $V_w$

### Określenie rozkładu oraz opracowanie modelu powstawania naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotów obrobionych ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie w procesie szlifowania jednoprzęciowego stali 100Cr6

Oceniono także stan naprężeń oraz opracowano model powstawania naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotu obrabianego (rys. 8). Zastosowano w tym celu metodę usuwania kolejnych warstw materiału w procesie elektrolitycznego trawienia (Weismana-Philipsa).



Rys. 8. Model powstawania naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotu szlifowanego w procesie jednoprzęciowym z wykorzystaniem ściernicy o strefowo zróżnicowanej budowie (wykonanej z ziaren mikrokrystalicznego  $Al_2O_3$ ): a) schemat procesu szlifowania; b-d) stan naprężeń w kolejnych etapach kształtowania warstwy wierzchniej

### Najważniejsze wnioski

Zrealizowany zakres badań symulacyjnych i doświadczalnych przeprowadzonych dla procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie pozwolił na sformułowanie następujących wniosków:

- uzyskane wyniki badań umożliwiły ocenę wpływu poszczególnych wielkości nastawczych badanego procesu na jego efekty i wyznaczenie najkorzystniejszych wartości podstawowych parametrów szlifowania oraz kształtowania CPS;
- strefowe zróżnicowanie budowy ściernic pozwoliło uzyskać znacznie niższą chropowatość powierzchni obrobionej w porównaniu ze ściernicą referencyjną w całości wykonaną z ziaren jednego rozmiaru, co wynika z drobnoziarnistej budowy strefy walcowej ściernicy;
- największy wpływ na osiągnięte wartości parametrów chropowatości miała wysokość strefy szlifowania wykończeniowego  $T_2$ ;
- wielkość ziaren w strefie wykończeniowej odgrywała mniejszą rolę niż udział stref  $T_1 / T_2$ ;
- zwiększenie wydajności ubytkowej wpływa na zmniejszenie pozytywnego wpływu drobnoziarnistej strefy szlifowania wykończeniowego na chropowatość powierzchni przedmiotu obrobionego, co wynika z malejącej liczby ziaren aktywnych kształtujących powierzchnię obrobioną. Obniżenia chropowatości otworów po obróbce należy się spodziewać poprzez podniesienie prędkości szlifowania  $v_s$ ;
- z analizy stanu warstwy wierzchniej w przedmiotach po szlifowaniu w procesie jednoprzęściowym wynika, że naprężenia ostateczne przedmiotu obrobionego mają charakter ścisakający.

### Najważniejsze publikacje

1. **NADOLNY K.**, HERMAN D., PLICHTA J.: *New generation of zonal diversified structure grinding wheels with microcrystalline aluminium oxide grains (SG) for single-pass internal grinding process*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 30(2006)1, s. 5-12.
2. HERMAN D., PLICHTA J., **NADOLNY K.**: *New ceramic abrasive tools for rough and finishing grinding in one pass*. Materials Science Forum, Vol. 526 (2006), s. 163-168.
3. **NADOLNY K.**, BAŁASZ B.: *Modelowanie i symulacja procesu jednoprzęściowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 26(2006)2, s. 67-76.
4. **NADOLNY K.**: *Kształtowanie właściwości skrawnych ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie do jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Mechanik, 80(2007)2, s. 99-105.
5. SŁOWIŃSKI B., **NADOLNY K.**: *Effective manufacturing method for automated inside diameter grinding*. The Japan Society of Mechanical Engineers, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 1, No. 4 (2007), s. 472-480.
6. **NADOLNY K.**, PLICHTA S., PLICHTA J.: *Model powstawania naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotu obrobionego w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicą o strefowo zróżnicowanej budowie*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 27(2007)2, s. 25-32.
7. **NADOLNY K.**, PLICHTA J.: *Possibilities of development in the single-pass internal cylindrical grinding*. 19th International Conference on Systems Engineering - ICSENG 2008, August 19-21, University of Nevada, Las Vegas, pp. 230-235.
8. **NADOLNY K.**, PLICHTA J., HERMAN D., SŁOWIŃSKI B.: *Single-pass grinding – an effective manufacturing method for finishing*. 19th International Conference on Systems Engineering - ICSENG 2008, August 19-21, University of Nevada, Las Vegas, pp. 236-241.

9. **NADOLNY K.:** *Klasyfikacja procesów szlifowania jednoprzęściowego*. Mechanik, 81(2008)5-6, s. 450-455.
10. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
11. **NADOLNY K., SŁOWIŃSKI B.:** *Retificação de desbaste e acabamento em passe único*. Máquinas e Metais, Vol. 45, No. 520, 2009, p. 8-9.
12. **NADOLNY K.:** *Oszacowanie dokładności kształtowania nakroju stożkowego na czynnej powierzchni ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie*. Pomiary Automatyka Kontrola, 56(2010)5, s. 499-502.
13. **NADOLNY K., PLICHTA B., BAŁASZ B.:** *Application of computer modeling and simulation for designing of grinding wheels with zone-diversified structure*. Management and Production Engineering Review, 1(2010)4, pp. 38-45.
14. **NADOLNY K., KAPŁONEK W.:** *Web application used for multi-criterion optimized selection of most important parameters of single-pass internal cylindrical grinding process*. Measurement Automation and Monitoring, 57(2011)5, s. 528-530.
15. **NADOLNY K.:** *Durability of  $Al_2O_3$  grinding wheels with zone-diversified structure in single-pass internal cylindrical grinding*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 35(2011)3, pp. 39-53.
16. **NADOLNY K., KAPŁONEK W., VALIČEK J.:** *Pneumatic method used for fast non-contact measurements of axial contour of grinding wheel active surface*. Measurement Automation and Monitoring, 57(2011)9, s. 1071-1074.
17. **NADOLNY K., KAPŁONEK W.:** *Design of a device for precision shaping of the grinding wheel macro- and microgeometry*. Journal of Central South University of Technology, 19(2012)1, pp. 135-143.
18. **NADOLNY K.:** *A review on single-pass grinding processes*. Journal of Central South University of Technology, (in press, article no. e122427, submitted: 17.06.2012, accepted: 19.09.2012).

### Patenty

1. HERMAN D., PLICHTA J., **NADOLNY K.:** *Ceramiczne narzędzie ściernic do jednoprzęściowego szlifowania powierzchni walcowych i sposób jego wytwarzania*. Patent Nr 204902 (decyzja UP z dnia 10.09.2009 r.).

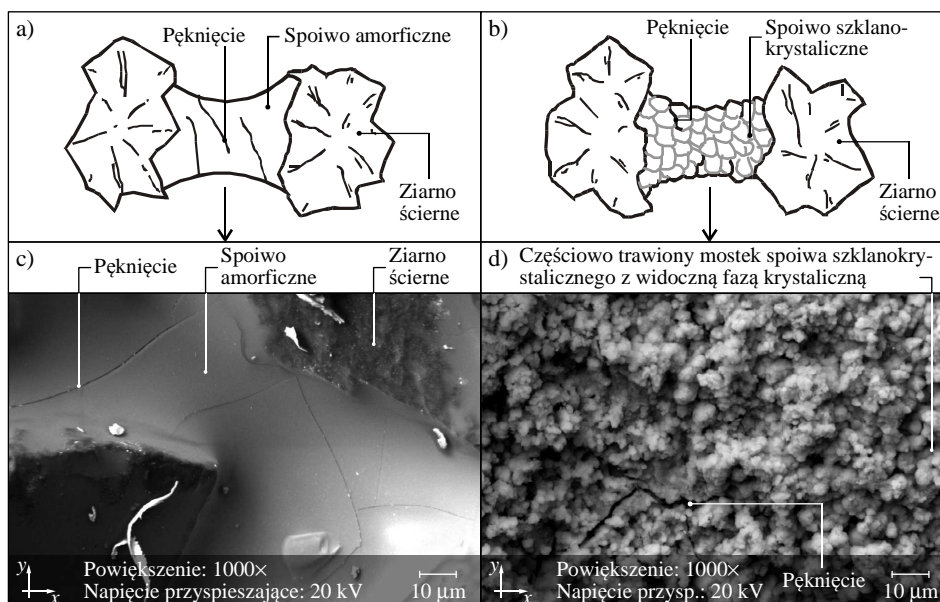
### Zgłoszenia patentowe

1. **NADOLNY K.:** *Przyrząd do kształtowania nakroju stożkowego na powierzchni ściernic w zakresie małych wartości kątowych*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 388765 z 10.08.2009 r.

### 3.4. Opracowanie podstaw budowy ściernic ze zmodyfikowanym spoiwem ceramicznym o strukturze szklanokrystalicznej przeznaczonym do wiązania ziaren mikrokryształicznego korundu spiekane

#### Istota modyfikacji

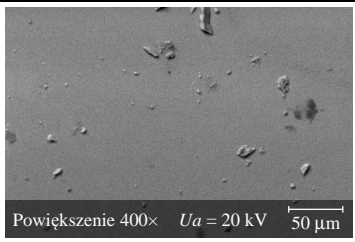
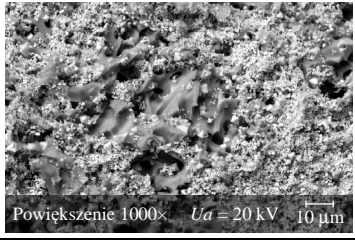
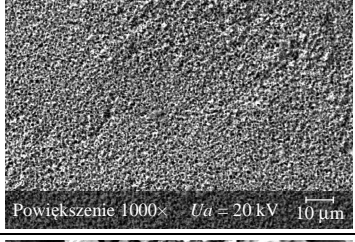
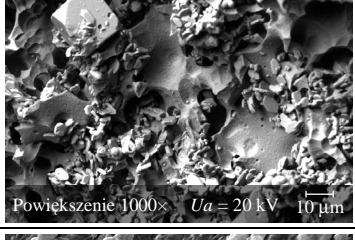
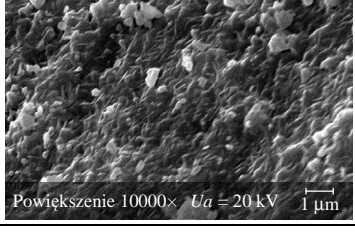
W ostatnich latach dokonał się istotny postęp w zakresie spoiw ceramicznych stosowanych w spojonych narzędziach ściernych, w tym w ściernicach. Takie cechy spoiwa ceramicznego, jak znaczna twardość i kruchość, w porównaniu z innymi typami spoiw, zapewniają łatwość kształtowania profilu ściernicy oraz jej obciążanie bezpośrednio w obszarze roboczym szlifierki. Spoiwa ceramiczne pozwalają również na uzyskiwanie narzędzi o dużej porowatości. Wszystkie te zalety powodują, że stosowane są one w niemal połowie produkowanych obecnie ściernic ze ścierniwami konwencjonalnymi. Klasyczne spoiwa szklane, charakteryzujące się strukturą amorficzną, są jednak coraz częściej zastępowane tworzywami szklanokrystalicznymi o różnej mikrostrukturze i stopniu krystaliczności. Pozwalają one na ograniczenie propagacji kruchego pęknięcia (rys. 9) i w efekcie zmianę procesu zużywania mostków spoiwa w trakcie pracy ściernicy.



Rys. 9. Schematy (a, b) i widoki mikroskopowe (c, d) przedstawiające porównanie procesu propagacji pęknięć w spoiwie amorficznym (a, c) i spoiwie szklanokrystalicznym (b, d)

W tabeli 3 zestawiono najważniejsze właściwości strukturalne i fizyko-chemiczne opracowanych spoiw (spoiwo A, B i C) oraz ziaren mikrokryształicznego korundu spiekane.

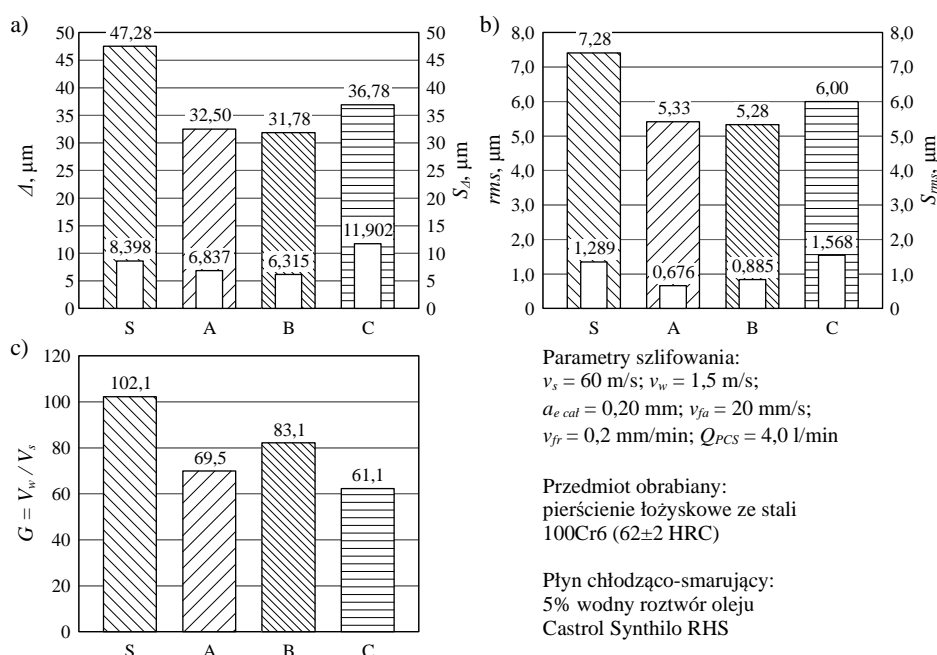
Tab. 3. Charakterystyka badanych spoiw oraz ziaren mikrokryształicznego korundu spiekaneego SG<sup>TM</sup>

Rodzaj tworzywa	Struktura	Rodzaj i udział fazy krystalicznej	Średni wymiar ziarna, $\mu\text{m}$	$K_{IC}$ , $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$	Widok mikroskopowy SEM struktury (tworzywo A, B i C – próbka częściowo trawiona w 10% roztworze HF)
szkło (S)	amorficzna	–	–	0,91	 Powiększenie 400× $U_a = 20 \text{ kV}$ 50 $\mu\text{m}$
szkłano-krystaliczne (A)	polimikrokrystaliczno-amorficzna	gahnit i willemmit 40,65%	>1	1,72	 Powiększenie 1000× $U_a = 20 \text{ kV}$ 10 $\mu\text{m}$
szkłano-krystaliczne (B)	polimikrokrystaliczno-amorficzna	willemmit 55,36%	<1	1,19	 Powiększenie 1000× $U_a = 20 \text{ kV}$ 10 $\mu\text{m}$
szkłano-krystaliczne (C)	polimikrokrystaliczno-amorficzna	augit i diposyd 29,02%	>5	1,15	 Powiększenie 1000× $U_a = 20 \text{ kV}$ 10 $\mu\text{m}$
spiekany $\text{Al}_2\text{O}_3$	polimikrokrystaliczna	$\text{Al}_2\text{O}_3$	<1	2,7	 Powiększenie 10000× $U_a = 20 \text{ kV}$ 1 $\mu\text{m}$

### Wyniki przeprowadzonych badań i analiz

W badaniach doświadczalnych określono wpływ modyfikacji mikrostruktury spoiwa na chropowatość powierzchni obrobionej, moc szlifowania, okres trwałości ściernicy, wskaźnik szlifowania  $G$  oraz błędy okrągłości ściernicy w procesie szlifowania w głębnego z oscylacjami stali 100Cr6. Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły na określenie dominujących zjawisk zużywania się czynnej powierzchni ściernicy w szlifowaniu w głębnym z oscylacjami – odmianie kinematycznej szlifowania otworów powszechnie stosowanej m.in. w przemyśle łożyskowym. W badaniach tych, jako referencyjną, uwzględniono dodatkowo ściernicę ze spoiwem szklanym o strukturze amorficznej.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe wyniki badań doświadczalnych procesu szlifowania w głębnego z oscylacjami z użyciem ściernic ze zmodyfikowaną mikrostrukturą spoiwa ceramicznego.



Rys. 10. Wartości maksymalnej odchyłki okrągłości  $\Delta$  (a) i średniego kwadratowego odchylenia od okręgu średniego  $r_{ms}$  (b) badanych ściernic oraz wskaźnika szlifowania  $G$  (c), stanowiące średnią z wyników dla 85 pierścieni ( $V_w = 39440 \text{ mm}^3$ ): S – odchylenie standardowe

Przeprowadzono również szczegółowe analizy stanu czynnej powierzchni ściernicy po kondycjonowaniu oraz po pracy, a także analizy wiórów materiału obrabianego z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM). Natomiast w celu jednoznacznej identyfikacji charakterystycznych elementów zaobserwowanych na CPS określono ich skład pierwiastkowy z użyciem metody dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS).

### Najważniejsze wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań procesu szlifowania otworów ściernicami ze spoiwem o różnej mikrostrukturze sformułowano następujące wnioski:

- możliwe jest znaczące wydłużenie okresu trwałości ściernicy poprzez modyfikację mikrostruktury spoiwa ceramicznego. Podczas obróbki 100 otworów w warunkach zbliżonych do stosowanych w przemyśle łożyskowym, praca ściernic o najkorzystniejszej budowie nie była przerywana zabiegami obciążania. Uzyskana w tym procesie chropowatość powierzchni obrobionej wyrażona parametrem  $Ra$  nie przekroczyła wartości granicznej  $0,63 \mu\text{m}$ . Wynika to z odmiennego mechanizmu zużywania się mostków spoiwa szklano-ceramicznego, zbliżonego do zużywania ziaren mikrokryształicznego korundu spiekanego.
- odmienna budowa mikrostrukturalna badanych spoiw spowodowała znaczące różnice w uzyskanych wartościach badanych parametrów procesu szlifowania. Uwzględniając otrzymane rezultaty badań, można wytypować ściernice S i A jako narzędzia zapewniające żądaną jakość powierzchni obrobionej ( $Ra < 0,63 \mu\text{m}$ ) oraz najniższą moc szlifowania. Jednak odmienny charakter zużywania się spoiwa szklanokryształicznego odmiany A spowodował, że ściernica zbudowana z jego udziałem odznaczała się znacznie niższymi wartościami błędów kształtu, które decydują o trwałości ściernicy w długich okresach jej pracy. Oznacza to, że odpowiednia modyfikacja mikrostruktury spoiwa znacząco wpływa na procesy zużywania się składników CPS i zjawiska je wywołujące.
- przy zastosowaniu spoiwa szklanokryształicznego odmiany A uzyskano żądaną chropowatość powierzchni obrobionej, niską moc szlifowania oraz niewielką odchyłkę okrągłości ściernicy. Zaobserwowano w tym przypadku proces postępującego równomiernego odnawiania zdolności

skrawnej ściernicy na skutek mikrowykruszania fragmentów ziaren ściernych i spoiwa, wynikający z budowy mikrostrukturalnej tego tworzywa. Rezultatem tego było nieco wyższe zużycie objętościowe ściernicy A i wynikająca z niego niższa wartość wskaźnika szlifowania  $G$ , w porównaniu ze ściernicą ze spoiwem szklanym (S). Jednak z punktu widzenia praktyki szlifowania, najbardziej istotna wydaje się bardzo stabilna praca ściernicy ze spoiwem A, która zachowywała swoją zdolność skrawną na podobnym poziomie w bardzo długim czasie pracy.

### Publikacje

1. **NADOLNY K.**, OKUPSKI T.: *Wpływ udziału objętościowego i mikrostruktury spoiwa szklanokrystalicznego na efektywność jednoprzęściowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w Inconelu 600*. Podstawy i technika obróbki ścierniej, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 279-288.
2. OKUPSKI T., HERMAN D., WALKOWIAK W., **NADOLNY K.**: *Wpływ fazy spinelowej na wybrane właściwości cieplne tworzywa szkło-krystalicznego z układu ZAS*. Materiały Ceramiczne, 64(2012)1, s. 71-77.

### Zgłoszenia patentowe

1. HERMAN D., WALKOWIAK W., OKUPSKI T., **NADOLNY K.**: *Sposób wytwarzania ceramicznych narzędzi ściernych*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 393462 z 29.12.2010 r.
2. **NADOLNY K.**, PLICHTA J.: *Próbka pomiarowa do badania zużycia ziaren ściernych lub spoiwa*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 398237 z 27.02.2012 r.

## 3.5. Opracowanie podstaw budowy ściernic z mikronieciągłościami czynnej powierzchni oraz wyznaczenie wpływu takiej modyfikacji ściernicy na jej właściwości eksploatacyjne

### Istota modyfikacji

Nieciągłości kształtowane na czynnej powierzchni ściernicy można podzielić na makro- i mikronieciągłości. Nieciągłości rozumiane w skali makro to takie, które wpływają na zmianę kształtu czynnej powierzchni narzędzia ściernego. Występują one najczęściej w postaci lokalnych wybrań, przesunięć powierzchniowych i uskoków. Nieciągłości typu mikro wprowadzają jedynie lokalne nieciągłości w strukturze powierzchniowej narzędzia, bez ingerencji w jego makrogeometrię. Mają one najczęściej kształt rowków i wgłębień o regularnym rozmieszczeniu.

### Opracowanie metody kształtowania mikronieciągłości na CPS za pomocą obciążacza diamentowego oraz opracowanie urządzenia do precyzyjnego kształtowania makro- i mikrogeometrii CPS

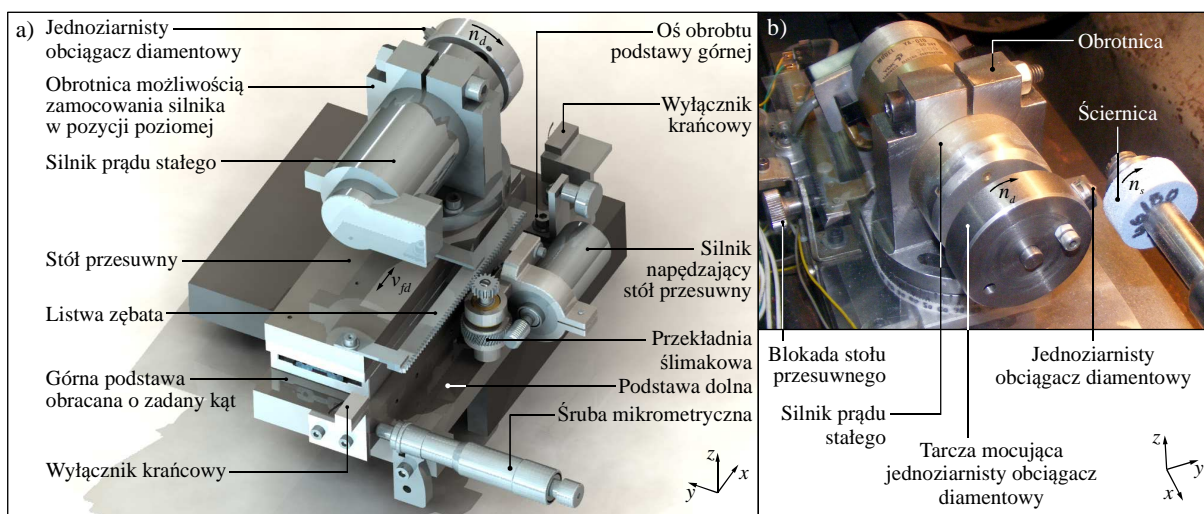
Ukształtowanie mikronieciągłości na czynnej powierzchni ściernic poprzedzono wyznaczeniem zbioru parametrów zabiegu obciążania diamentowym obciążaczem jednoziarnistym oraz wyznaczono wartości parametrów geometrycznych mikronieciągłości (tab. 4).



Tab. 4. Parametry zabiegu obciągania wraz z wyznaczonymi wartościami parametrów geometrycznych mikronieciągłości

Schemat kinematyki obciągania	Parametry obciągania	Wyznaczone parametry mikronieciągłości
	$a_d = 0,5 \text{ mm}$ $c = 0,1 \text{ mm}$ $d_s = 35 \text{ mm}$ $d_d = 68 \text{ mm}$ $i = 1$ $k = 0,8$ $n_d = 6450 \text{ obr./min}$ $n_s = 5900 \text{ obr./min}$ $T = 20 \text{ mm}$ $v_d = 23 \text{ m/s}$ $v_{fd} = 0,025 \text{ m/s}$ $v_s = 10,8 \text{ m/s}$ $\epsilon_d = 45^\circ$	$L_R \approx 2d_d \sqrt{\left(1 - \frac{v_s}{v_d}\right)^2 + \left(\frac{v_{fd} \cdot n_d}{v_d}\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{d_s \cdot a_d}{d_d(d_s + d_d)}} = 6,43 \text{ mm}$ $t_{cir} = \pi d_s - \pi d_d \frac{v_s}{v_d \cdot i} = 9,38 \text{ mm}$ $t_{ax} = \frac{v_{fd}}{n_d \cdot i} = 0,23 \text{ mm}$ $b_R = c + 2a_d \cdot \text{tg} \epsilon_d = 1,72 \text{ mm}$ $r = \frac{\pi D}{T} = 11,73$ $z = \frac{t_{cir}}{T} = 7,33$ <p>Względna powierzchnia mikronieciągłości:</p> $A_R = \frac{L_R \cdot b_R \cdot k \cdot r \cdot z}{\pi \cdot d_s \cdot T} = 34,61\%$

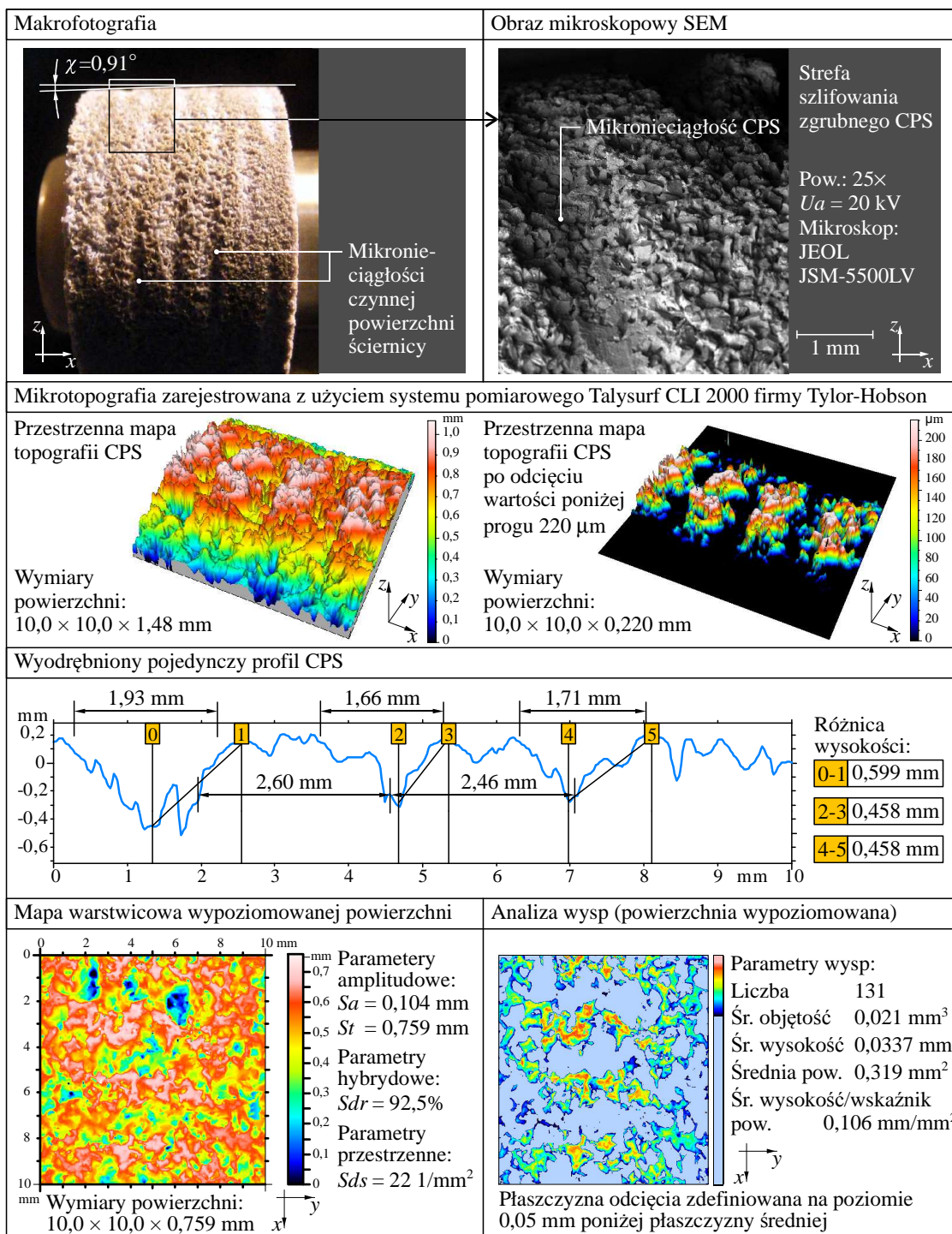
W celu precyzyjnego kształtowania na CPS mikronieciągłości konieczne było opracowane specjalnego przyrządu, który umożliwiałby jednocześnie kształtowanie makrogeometrii ściernicy – zarysu stożkowo-walcowego wymaganego w procesie jednoprzęciowego szlifowania otworów (rys. 11). W wyniku przeprowadzonych analiz teoretyczno-doświadczalnych ustalono, że błąd kształtowania nakroju stożkowego w zakresie  $\chi = 0\text{--}1,5^\circ$ , przy użyciu opracowanego urządzenia, wynosi w przybliżeniu  $\pm 3\%$ . Potwierdzono również poprawność działania urządzenia przy kształtowaniu mikronieciągłości CPS.



Rys. 11. Model (a) i widok wykonanego urządzenia do precyzyjnego kształtowania makro- i mikrogeometrii ściernicy (b)

### Wyznaczenie wpływu mikronieciągłości na cechy stereometryczne CPS

Na rysunku 12 przedstawiono strukturę geometryczną oraz parametry chropowatości czynnej powierzchni ściernicy z ukształtowanymi mikronieciągłościami.



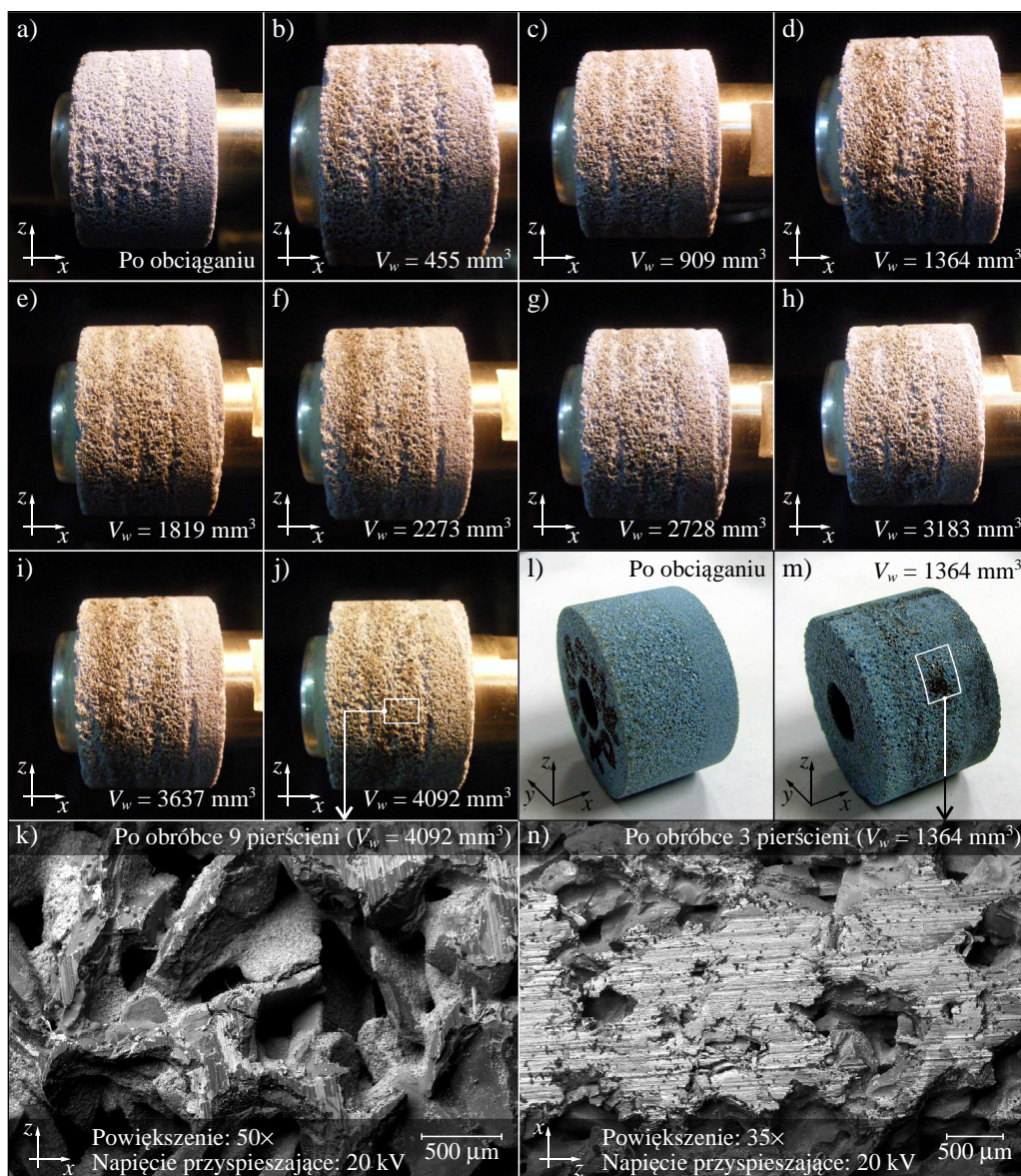
Rys. 12. Struktura geometryczna czynnej powierzchni ściernicy o strefowo zróżnicowanej budowie, z mikronieciągłościami

### Określenie wpływu mikronieciągłości na okres trwałości ściernic, chropowatość powierzchni obrobionej oraz moc szlifowania w procesie szlifowania jednaprzejściowego stali 100Cr6

W celu sprawdzenia wpływu mikronieciągłości czynnej powierzchni ściernicy na przebieg i rezultaty jednaprzejściowego szlifowania otworów, przeprowadzono badania doświadczalne z użyciem ściernicy 1-35×20×10-SG/F46K7VDG70% / SG/F80I7VDG30% z i bez mikronieciągłości. Zbadano

wpływ zużycia CPS na chropowatość powierzchni przedmiotu obrabianego wyrażoną parametrem  $Ra$  oraz na przyrost mocy szlifowania  $\Delta P$ .

Na rysunku 13 przedstawiono makrofotografie obrazujące stan czynnej powierzchni ściernicy bez i z mikronieciągłościami po kolejnych przejściach roboczych.



Rys. 13. Stan czynnej powierzchni ściernicy bez (l-n) i z mikronieciągłościami (a-k): a) po obciążeniu; b)  $V_w = 455 \text{ mm}^3$ ; c)  $V_w = 909 \text{ mm}^3$ ; d)  $V_w = 1364 \text{ mm}^3$ ; e)  $V_w = 1819 \text{ mm}^3$ ; f)  $V_w = 2273 \text{ mm}^3$ ; g)  $V_w = 2728 \text{ mm}^3$ ; h)  $V_w = 3183 \text{ mm}^3$ ; i)  $V_w = 3637 \text{ mm}^3$ ; j)  $V_w = 4092 \text{ mm}^3$ ; k)  $V_w = 4092 \text{ mm}^3$  – pow. 50 $\times$ ; l) po obciążeniu; m)  $V_w = 1364 \text{ mm}^3$ ; n)  $V_w = 1364 \text{ mm}^3$  – pow. 35 $\times$

### Najważniejsze wnioski

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań procesu szlifowania ściernicami z mikronieciągłościami CPS są następujące:

- wprowadzenie dodatkowych przestrzeni wolnych i nieciągłości wpływa na lepsze odprowadzenie ciepła, produktów zużycia i wiórów poza strefę szlifowania, przy jednoczesnym wzroście efektywności chłodzenia;

- mikronieciągłości CPS przyczyniły się do zmniejszenia obciążeń cieplno-mechanicznych ziaren aktywnych i w konsekwencji do znaczącego zmniejszenia zużycia ściernego i wytrzymałościowego elementów ściernicy, co umożliwiło trzykrotne wydłużenie okresu trwałości ściernicy;
- zastosowanie ściernic z mikronieciągłościami w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów pozwoliło na trzykrotne wydłużenie okresu trwałości tego narzędzia, w porównaniu ze ściernicą bez mikronieciągłości;
- mikronieciągłości ukształtowane w realizującej szlifowanie zgrubne stożkowej strefie ściernicy, nie wpłynęły znacząco na podwyższenie chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego. Wynika to ze specyficznej konstrukcji ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie, które charakteryzują się drobnoziarnistą walcową strefą szlifowania wykończeniowego i wyiskrzania.

### Publikacje

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Wpływ mikronieciągłości CPS na efektywność jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie.* Wybrane Problemy Obróbki Ściernej, pod redakcją Cz. Niżankowskiego, Bochnia 2008, s. 109-118.
2. **NADOLNY K., PLICHTA J., BUKOWIECKI M.:** *Możliwości poprawy warunków procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów.* W: Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie, s. 157-174, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
3. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Mikronieciągłości czynnej powierzchni jako metoda wydłużenia okresu trwałości ściernic.* Mechanik, 82(2009)8-9, s. 701-706.
4. **NADOLNY K., KAPLONEK W.:** *Confocal laser scanning microscopy for characterization of surface microdiscontinuities of vitrified bonded abrasive tools.* International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1(2012)1, pp. 14-29.
5. **NADOLNY K.:** *Microdiscontinuities of the grinding wheel and their effects on its durability during internal cylindrical grinding.* Machining Science and Technology, (in press, article no. LMST-2011-0082.R1, submitted: 18.06.2011, accepted: 16.08.2012).

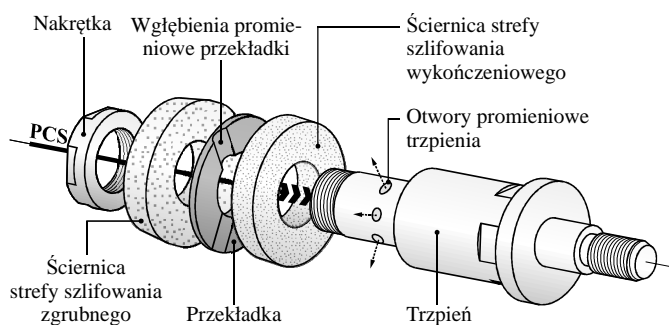
### Zgłoszenia patentowe

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Przyrząd do kształtowania makro- i mikrogeometrii powierzchni ściernicy.* Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 388766 z 10.08.2009 r.

## 3.6. Opracowanie podstaw budowy małogabarytowych ściernic składanych oraz systemów odśrodkowego doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego do strefy szlifowania

### Istota modyfikacji

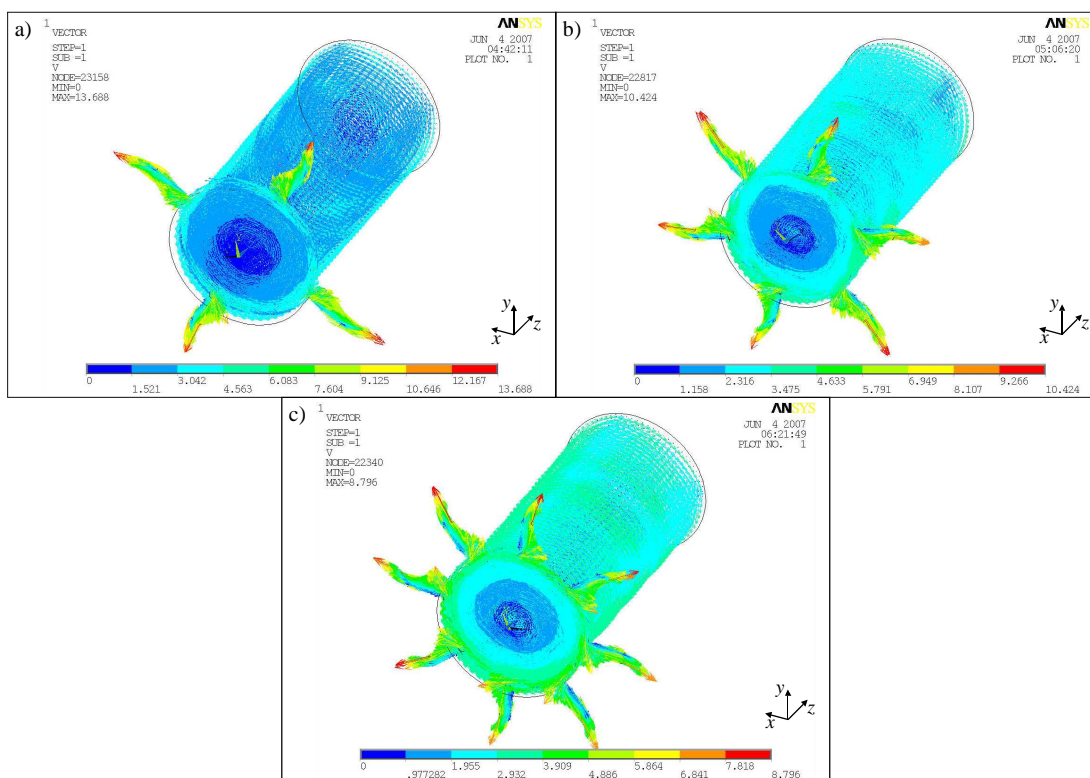
Opracowane rozwiązania zakładają możliwość doprowadzania płynu chłodząco-smarującego od wewnątrz trzpienia szlifierskiego, przez specjalne kanały, bezpośrednio w strefę kontaktu ściernicy z materiałem obrabianym. Stworzono dwa warianty konstrukcyjne ściernicy składanej. Pierwszy z nich przewiduje doprowadzenie płynu chłodząco-smarującego poprzez kanały ukształtowane w ściernicy elementarnej realizującej szlifowanie zgrubne. W drugim wariantcie zastosowano przekładkę pomiędzy ściernicami elementarnymi, w której ukształtowano kanały doprowadzające PCS (rys. 14).



Rys. 14. Schemat budowy ściernicy składanej z systemem odśrodkowego doprowadzenia PCS poprzez kanały ukształtowane w przekładce pomiędzy ściernicami elementarnymi

### Opracowanie modeli symulacyjnych wpływu wariantów doprowadzenia PCS oraz prędkości obwodowej ściernicy na prędkość wylotową cieczy w strefie szlifowania

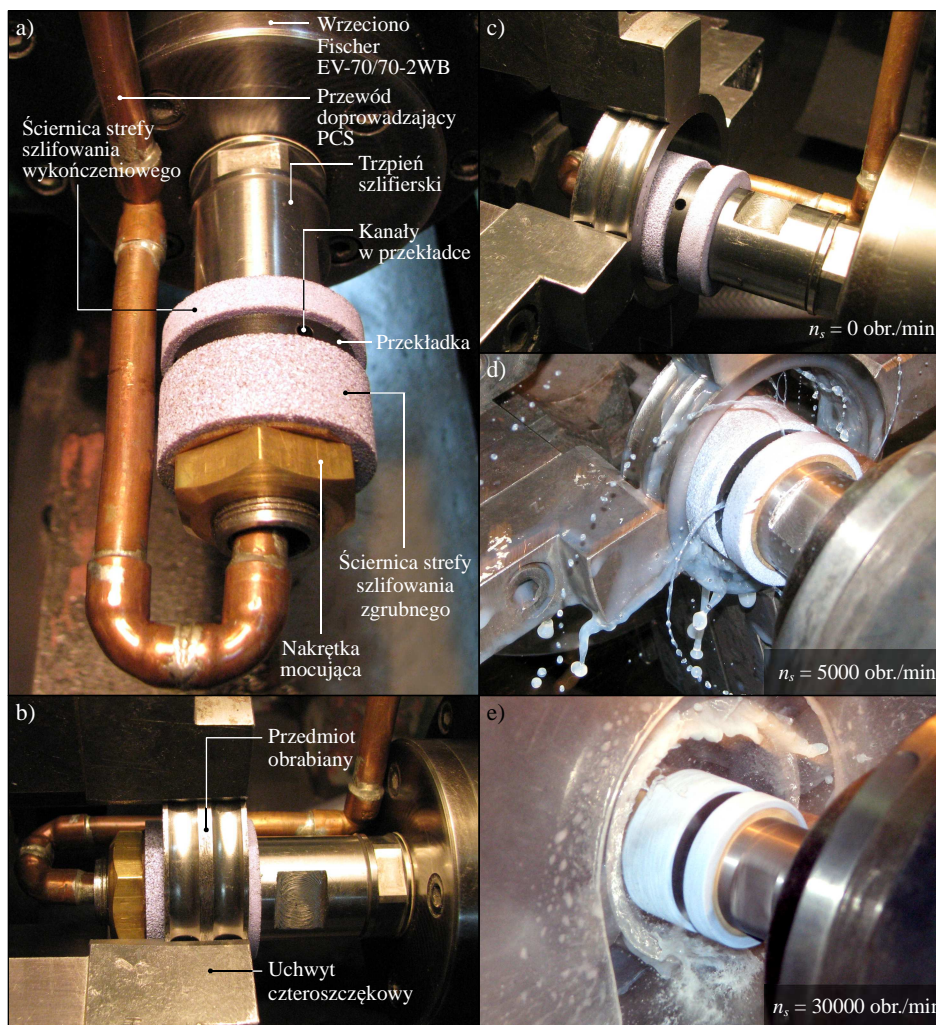
W celu określenia zależności między liczbą i średnicą kanałów doprowadzających PCS a prędkością jego wypływu opracowano model symulacyjny odśrodkowego doprowadzenia PCS do strefy szlifowania (rys. 15). Wyniki symulacji uwzględniono przy wykonaniu prototypu ściernicy.



Rys. 15. Przykładowe wyniki symulacji dla 4 (a), 6 (b) i 8 (c) kanałów doprowadzających PCS – system Ansys 10.0

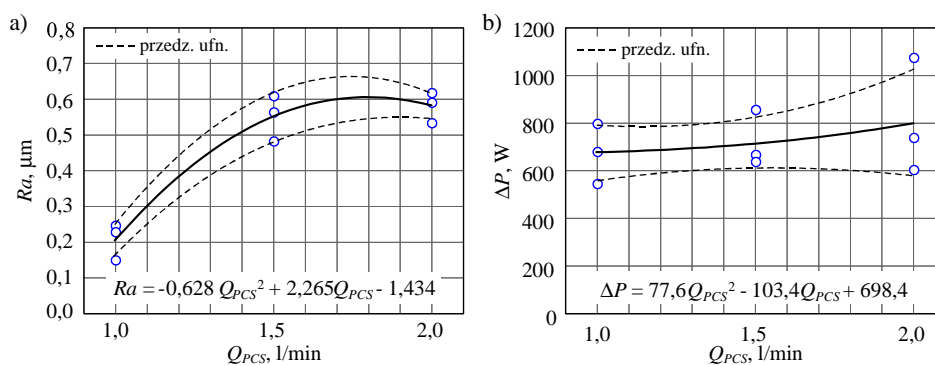
### Wyznaczenie empirycznych modeli matematycznych opisujących wpływ minimalizacji wydatku PCS na chropowatość powierzchni obrobionej oraz moc szlifowania w procesie szlifowania stali 100Cr6

W badaniach doświadczalnych zastosowano ściernicę składaną zbudowaną według schematu przedstawionego na rysunku 14 o oznaczeniu: 1-35×20×10-SG/F46K7VDG70% / SG/F80I7VDG30% (rys. 16). W przekładce rozdzielającej ściernice elementarne wykonano cztery kanały doprowadzające PCS o średnicy  $d_k = 3,0$  mm.



Rys. 16. Ściernica składana z systemem odśrodkowego doprowadzenia PCS bezpośrednio do strefy obróbki: a) najważniejsze elementy ściernicy; b) strefa szlifowania – widok z boku; c) ściernica przed wprawieniem w ruch ( $n_s = 0$  obr./min); d) widok wypływającego PCS podczas ruchu obrotowego ściernicy z prędkością  $n_s = 5000$  obr./min; e) widok wypływającego PCS podczas ruchu obrotowego ściernicy z prędkością  $n_s = 30000$  obr./min

Na rysunku 17 przedstawiono przykładowe wyniki badań doświadczalnych.



Parametry szlifowania:  $v_s=60$  m/s;  $v_w=0,75$  m/s;  $a_e=0,15$  mm;  $v_{a0}=2,0$  mm/s;  $b=12,6$  mm;  $\chi=0,68^\circ$   
 Ściernica: 1-35×20×10-SG/F46K7VDG70% / SGF80I7VDG30%  
 Przedmiot obrabiany: pierścienie łożyskowe ze stali 100Cr6 ( $62\pm 2$  HRC)  
 Płyn chłodziwo-smarujący: 5% wodny roztwór oleju Castrol Synthilo RHS podawany metodą odśrodkową

Rys. 17. Wpływ wydatku płynu chłodziwo-smarującego  $Q_{PCS}$  na wartości średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości  $Ra$  (a) oraz na przyrost mocy szlifowania  $\Delta P$  (b)

## Najważniejsze wnioski

Przeprowadzone badania jednoprzęściowego szlifowania otworów z zastosowaniem ściernicy składanej, pozwalającej na doprowadzenie płynu chłodząco-smarującego od wewnątrz ściernicy bezpośrednio do strefy obróbki, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- zaproponowany system doprowadzenia PCS do strefy styku ściernicy z materiałem obrabianym nie wpłynął na intensywność zjawiska zalepiania CPS produktami szlifowania;
- zastosowanie odśrodkowego doprowadzenia PCS spowodowało, że znacznie większa część PCS trafiła bezpośrednio w strefę szlifowania, w efekcie czego możliwe było pięciokrotne zredukowanie wydatku PCS z 5,0 l/min do 1,0 l/min, bez ujemnego wpływu na parametry energetyczne i jakościowe obróbki;
- odniesienie wyników obróbki uzyskanych ściernicą składaną, dla wydatku PCS wynoszącego 1,0 l/min, do rezultatów szlifowania ściernicą niemodyfikowaną (w całości wykonaną z ziaren SG<sup>TM</sup> o numerze 46) oraz ściernicą o strefowo zróżnicowanej budowie, przy zalewowym sposobie podawania PCS z wydatkiem 5,0 l/min, wykazało, że możliwe jest znaczące (ponad 30%) zmniejszenie chropowatości powierzchni obrobionej przy niewielkim (7-11%) spadku mocy szlifowania;
- pięciokrotne zredukowanie wydatku PCS stanowi ważny efekt ekologiczny i ekonomiczny, wynikający ze zmniejszenia objętości odpadów w postaci zużytych płynów chłodząco-smarujących, których utylizacja jest procesem kosztownym i uciążliwym dla środowiska naturalnego.

## Publikacje

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Koncepcja inteligentnego systemu narzędziowego do realizacji jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Podstawy i technika obróbki ściernic, pod redakcją Kazimierza E. Oczosia i Jana Burka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 203-208.
2. **BUKOWIECKI M., NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Innowacyjna metoda chłodzenia wewnętrznego w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Podstawy i technika obróbki ściernic, pod redakcją Kazimierza E. Oczosia i Jana Burka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 271-278.
3. **NADOLNY K., BAŁASZ B., PLICHTA J.:** *Wykorzystanie symulacji komputerowej do projektowania składanych narzędzi ściernych*. Wybrane Problemy Obróbki Ściernic, pod redakcją Cz. Niżankowskiego, Bochnia 2008, s. 385-394.
4. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Koncepcja inteligentnego systemu obróbki składanymi narzędziami ściernymi*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 28(2008)2, s. 37-42.
5. **NADOLNY K., PLICHTA J., BUKOWIECKI M.:** *Możliwości poprawy warunków procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie, s. 157-174, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
6. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Kierunki rozwoju jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie, s. 231-236, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.

## Patenty

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Narzędzie ściernie składane z chłodzeniem odśrodkowym i ściernica do tego narzędzia.* Patent Nr 209013 (decyzja UP z dnia 23.02.2011 r.).
2. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Narzędzie ściernie składane z chłodzeniem odśrodkowym i element tego narzędzia.* Patent Nr 209014 (decyzja UP z dnia 23.02.2011 r.).

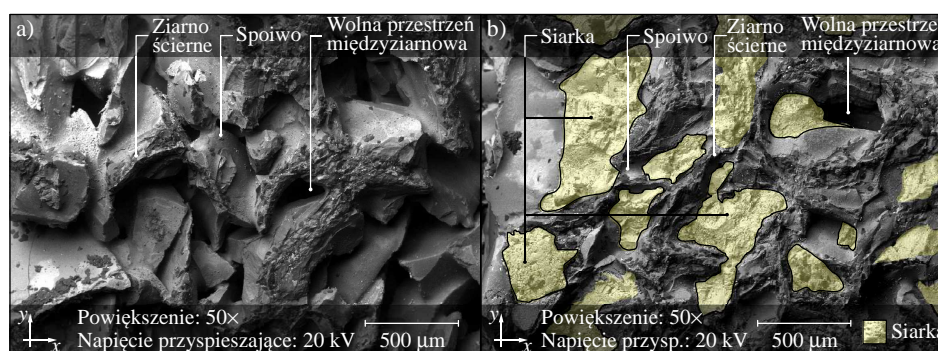
### 3.7. Opracowanie podstaw budowy małowabarytowych ściernic impregnowanych pierwiastkami niemetalicznymi i wyznaczenie zakresu ich efektywnego stosowania

#### Istota modyfikacji

Jednym z istotnych problemów w szlifowaniu materiałów trudno skrawalnych jest intensywne zalepianie czynnej powierzchni ściernicy ciągliwymi wiórami. Stąd niezwykle istotną kwestią jest poszukiwanie sposobów przeciwdziałania ich powstawaniu na CPS. Efekt taki można osiągnąć poprzez obniżenie adhezji produktów szlifowania, w tym głównie wiórów materiału obrabianego, do czynnej powierzchni ściernicy, na skutek wprowadzenia do masy ściernicy impregnatu w postaci siarki oraz alotropowych odmian węgla.

#### Impregnowanie ściernic siarką

Zastosowanie znanych z literatury metod nasiarczania ściernic w warunkach grawitacyjnych lub podwyższonego ciśnienia, powoduje często nierównomierne rozłożenie siarki w objętości ściernicy oraz całkowite wypełnienie wolnych przestrzeni międzyziarnowych. W przypadku szlifowania materiałów trudno skrawalnych ważne jest stosowanie ściernic o dużej porowatości w celu zapewnienia skutecznego transportu długich i ciągliwych wiórów poza strefę obróbki. Impregnowanie tego typu ściernic siarką w sposób tradycyjny spowodowałoby utratę dużej otwartości struktury CPS. Dlatego też opracowano i zastosowano metodę nasiarczania, w której odwirowywano nadmiar siarki. Na rysunku 18 przedstawiono porównanie widoków mikroskopowych CPS przed (rys. 18a) i po procesie nasiarczania (rys. 18b).



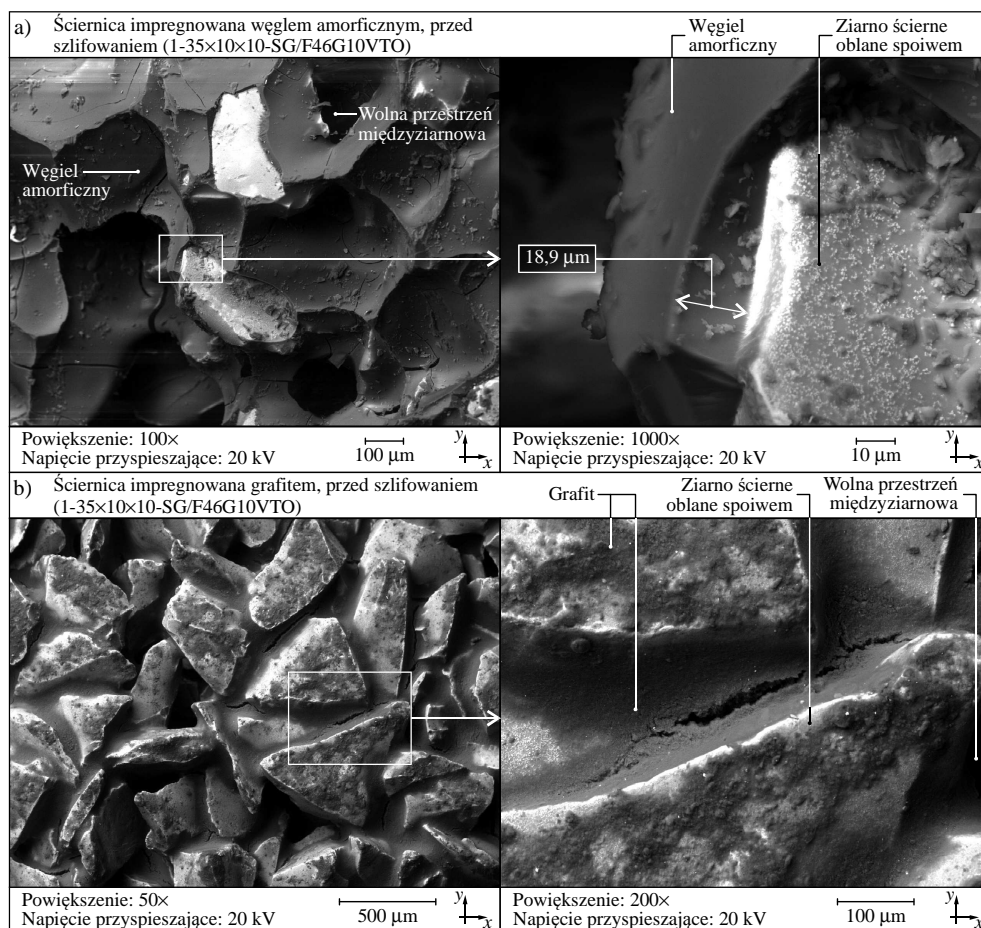
Rys. 18. Obrazy mikroskopowe CPS z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekane o rozmiarze 46, wykonane z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego: a) CPS przed nasiarciem; b) CPS po nasiarciu z zaznaczonymi obszarami, na których widoczna jest siarka

#### Impregnowanie ściernic alotropowymi odmianami węgla

W opisywanych badaniach grafit został wprowadzony poprzez zanurzenie ściernic w roztworze koloidalnym proszku grafitowego. Duża porowatość stosowanych ściernic umożliwiła wniknięcie roztworu do całej objętości narzędzia i równomierne rozprowadzenie grafitu. Przeprowadzono



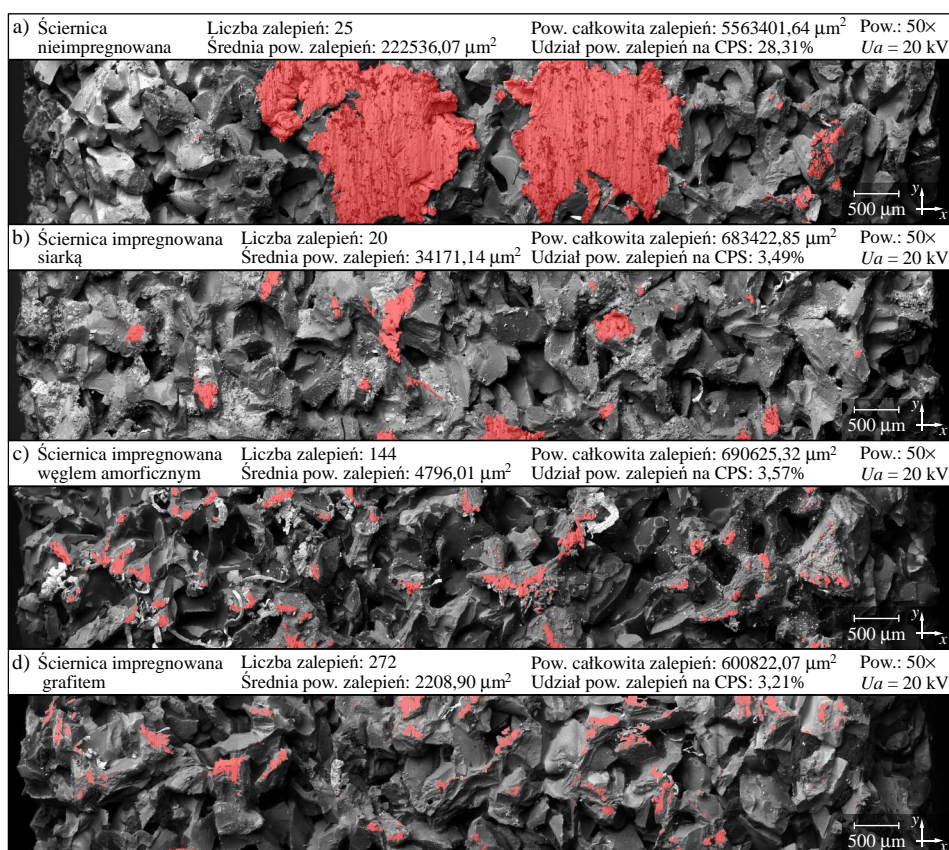
również próby ze ściernicami impregnowanymi węglem bezpostaciowym, który podobnie jak grafit, charakteryzuje się małą reaktywnością. Węgiel w postaci amorficznej wprowadzono do objętości ściernicy na drodze termicznego rozkładu związków organicznych, w tym przypadku węglowodanów. Na rysunku 19 zamieszczono obrazy mikroskopowe czynnej powierzchni ściernic po impregnowaniu węglem amorficznym (rys. 19a) i grafitem (rys. 19b).



Rys. 19. Obrazy mikroskopowe SEM czynnej powierzchni ściernicy przed szlifowaniem, po impregnowaniu: a) węglem amorficznym; b) grafitem

Przeprowadzone analizy oraz prace badawcze dotyczące ściernic impregnowanych pierwiastkami niemetalicznymi umożliwiły wyznaczenie zakresu efektywnego stosowania impregnacji siarką oraz alotropowymi odmianami węgla w procesie szlifowania wglębnego oraz szlifowania prostoliniowo-zwrotno otworów w stopie Titanium Grade 2<sup>®</sup>. Ponadto wyznaczono wpływ impregnacji na cechy stereometryczne CPS oraz przeprowadzono analizy stanu czynnej powierzchni ściernic impregnowanych przed i po procesie szlifowania stopu Titanium Grade 2<sup>®</sup>. Badania doświadczalne pozwoliły na określenie wpływu impregnacji ściernicy na chropowatość powierzchni obrabianej, moc szlifowania oraz intensywność zalepiania czynnej powierzchni ściernicy produktami szlifowania, w tym głównie wiórami materiału obrabianego (rys. 20).

W badaniach określono również wpływ wydajności ubytkowej szlifowania na warunki szlifowania ściernicami impregnowanymi.



Rys. 20. Porównanie obszarów zalepionych (kolor czerwony) zidentyfikowanych na czynnych powierzchniach ocenianych ściernic, wraz z wartościami wybranych parametrów geometrycznych opisujących zaznaczone obszary (zalepienia CPS): a) ściernica nieimpregnowana; b) ściernica impregnowana siarką; c) ściernica impregnowana węglem amorficznym; d) ściernica impregnowana grafitem

### Najważniejsze wnioski

Przeprowadzone badania, których celem było określenie wpływu impregnowania CPS siarką na wyniki szlifowania stopu Titanium Grade 2<sup>®</sup>, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- impregnacja ściernicy siarką w znaczący sposób zmniejsza intensywność zalepiania CPS co tłumaczyć można spowodowanym przez impregnat zmniejszeniem adhezji produktów szlifowania do powierzchni ściernicy;
- impregnacja CPS siarką w największym stopniu ogranicza powstawanie rozległych zalepień międzyziarnowych, które są najbardziej niekorzystne technologicznie;
- nie zaobserwowano istotnego wpływu impregnacji CPS siarką na intensywność powstawania zalepień w mikroobszarach wierzchołków ziaren aktywnych ściernicy.
- przy zastosowaniu ściernic nasiarczanych istnieje ryzyko zanieczyszczenia powierzchni obrabianej siarką, która na skutek nadmiernego wzrostu temperatury w strefie szlifowania może przejść w stan płynny; z tego względu bardzo istotny jest dobór parametrów szlifowania oraz optymalizacja sposobu doprowadzenia i wydatku cieczy chłodzącej;
- wykazano, że skaterometria laserowa z powodzeniem może być zastosowana do szybkiego bezstykowego wykrywania zalepień na CPS i stanowi skuteczną alternatywę dla innych stosowanych w tym celu metod pomiarowych.
- podwojenie wydajności ubytkowej szlifowania spowodowało proporcjonalny wzrost wartości parametrów SGP obrabionych zarówno ściernicą nieimpregnowaną, jak i nasiarczoną.

- uzyskane wyniki eksperymentów wskazują, że kolejne prace powinny obejmować badania prowadzące do wyznaczenia optymalnego stopnia nasiarczenia CPS, uwzględniającego strukturę ściernicy.

Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń wpływu impregnowania ściernic alotropowymi odmianami węgla na proces szlifowania otworów w stopie Titanium Grade 2<sup>®</sup> sformułowano następujące wnioski:

- uzyskane wyniki szlifowania wskazują na możliwość zredukowania chropowatości powierzchni przedmiotu obrobionego poprzez zastosowanie impregnacji CPS alotropowymi odmianami węgla. Wartości parametru  $Ra$  maleją od około 10% dla ściernicy nasiarczanej, do około 20% w przypadku ściernicy impregnowanej węglem amorficznym i ściernicy impregnowanej grafitem;
- rodzaj impregnatu nie wpłynął znacząco na zmiany przyrostu mocy szlifowania  $\Delta P$ ;
- impregnacja CPS przyczyniła się do uzyskania wysokiego poziomu rozwinięcia CPS po obróbce oraz zredukowania udziału powierzchniowego wysp o około 30% w porównaniu z wartościami wyznaczonymi dla ściernicy nieimpregnowanej;
- porównanie obrazów mikroskopowych czynnych powierzchni badanych ściernic wykazało, że zjawisko zalepiania wystąpiło w przypadku wszystkich badanych ściernic ze zróżnicowaną intensywnością. Najbardziej zalepiona okazała się czynna powierzchnia ściernicy nieimpregnowanej. W przypadku wszystkich ściernic impregnowanych zaobserwowano znacznie mniejszy udział zalepień na czynnej powierzchni wynikający z antyadhezyjnego oddziaływania impregnatów;
- porównanie wartości wybranych parametrów geometrycznych analizowanych powierzchni pozwoliło na wytypowanie grafitu, jako impregnatu wpływającego w największym stopniu na ograniczenie zjawiska zalepiania CPS materiałem obrabianym. Obecność grafitu spowodowała niemal dziesięciokrotne zmniejszenie udziału obszarów zalepionych (w porównaniu ze ściernicą nieimpregnowaną) oraz spowodowała najkorzystniejszy sposób rozłożenia zalepień na CPS – w postaci wielu zalepień o małej powierzchni.

## Publikacje

1. WOJTEWICZ M., SIENICKI W., NADOLNY K.: *Ściernice impregnowane siarką do szlifowania otworów w materiałach trudnoobrabialnych*. Materiały VII Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki Wydziału Mechanicznego oraz III Ogólnopolskiej Konferencji Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych pod red. M. Fligla i L. Kukielki, Koszalin 2010, s. 217-224.
2. NADOLNY K., KAPŁONEK W., WOJTEWICZ M., SIENICKI W.: *Ocena wpływu nasiarczenia ściernicy na jej zdolność skrawną w procesie szlifowania otworów ze stopu Titanium Grade 2<sup>®</sup>*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 53-68.
3. WOJTEWICZ M., SIENICKI W., NADOLNY K.: *Możliwości modyfikacji narzędzi ściernych poprzez wprowadzenie pierwiastków niemetalicznych w procesie impregnacji*. Materiały VIII Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki Wydziału Mechanicznego oraz IV Ogólnopolskiej Konferencji Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych pod redakcją M. Fligla i L. Kukielki, Koszalin 2011, s. 339-350.
4. NADOLNY K., SIENICKI W., WOJTEWICZ M.: *Wpływ impregnacji ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi na intensywność zalepiania jej czynnej powierzchni*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 55-70.
5. NADOLNY K., SIENICKI W., WOJTEWICZ M.: *Wpływ impregnacji ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi na intensywność zalepiania jej czynnej powierzchni*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).

**Zgłoszenia patentowe**

1. SIENICKI W., WOJTEWICZ M., NADOLNY K.: *Sposób modyfikacji ceramicznych narzędzi ściernych przez impregnację*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 395441 z 27.06.2011 r.

**3.8. Opracowanie podstaw eksploatacji ściernic integrujących w swojej konstrukcji dwie lub więcej modyfikacje elementarne**

W celu określenia wpływu łączenia modyfikacji konstrukcji ściernicy przeprowadzono badania doświadczalne w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami z trzema modyfikacjami budowy, przedstawionymi w tabeli 5.

Tab. 5. Charakterystyka wybranych modyfikacji budowy ściernicy

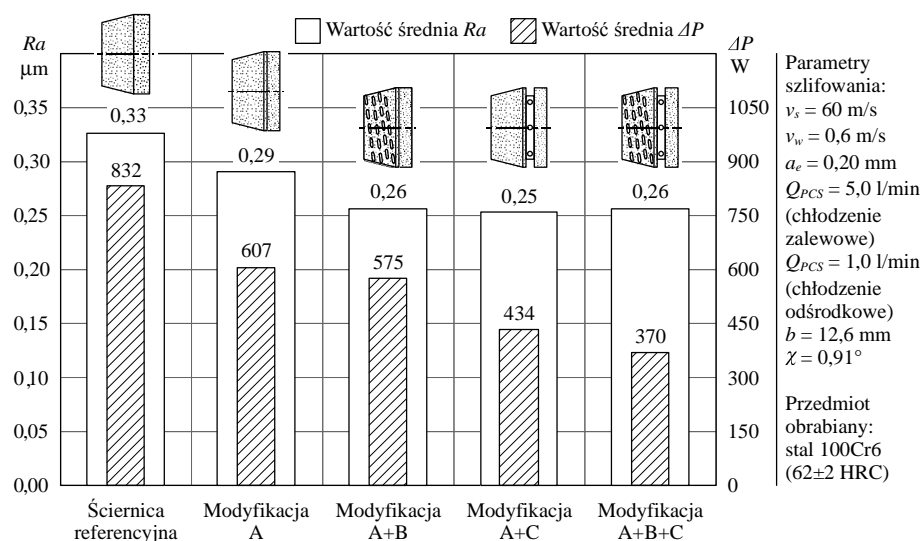
	Ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie (modyfikacja A)	Ściernica z mikronieciągłościami czynnej powierzchni (modyfikacja B)	Ściernica z systemem wewnętrznego doprowadzenia PCS (modyfikacja C)
<b>Schemat konstrukcji</b>	<p>Ściernica</p> <p>Przedmiot obrabiany</p> <p>Cross-section of machining layer</p>	<p>Ściernica</p> <p>Mikronieciągłości CPS</p> <p>Obciążacz jednoziarnisty</p>	<p>Przedmiot obrabiany</p> <p>PCS</p> <p>Trzpień szlifierski</p> <p>Ściernice elementarne</p>
<b>Makrofotografia</b>	<p>Strefa szlifowania zgrubnego</p> <p>Strefa szlifowania wykończeniowego</p>	<p>Mikronieciągłości CPS</p>	<p>Przekładka z kanałami doprowadzającymi PCS</p> <p>Ściernice elementarne</p>
<b>Cechy charakterystyczne</b>	<p>Strefa szlifowania zgrubnego</p> <p>Strefa szlifowania wykończeniowego</p> <p>Ua = 20 kV</p> <p>Pow.: 25x</p> <p>1 mm</p>	<p>Mikrotopografia CPS</p> <p>Parametry chropowatości CPS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- stan początkowy:                     <ul style="list-style-type: none"> <li><math>S_{mvr} = 0,198 \text{ mm}^3/\text{mm}^2</math></li> <li><math>S_{ds} = 44 \text{ mm}^2</math></li> </ul> </li> <li>- z mikronieciągłościami:                     <ul style="list-style-type: none"> <li><math>S_{mvr} = 0,428 \text{ mm}^3/\text{mm}^2</math></li> <li><math>S_{ds} = 22 \text{ mm}^2</math></li> </ul> </li> </ul>	<p>Uchwyt 4-szczękowy</p> <p>Przedmiot</p> <p>Ściernica</p> <p>PCS</p>
<b>Zalety</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wzrost efektywności szlifowania</li> <li>- podział szlifowania zgrubnego i wykończeniowego na dwie strefy funkcjonalne ściernicy</li> <li>- nakrój stożkowy umożliwia równomierne rozłożenie nadkładu obróbkowego na większej pow.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bardziej efektywne docieranie PCS do strefy szlifowania</li> <li>- lepsze usuwanie produktów zużycia ściernicy i wiórów ze strefy szlifowania</li> <li>- możliwość kształtowania na konwencjonalnych ściernicach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zwiększenie objętości PCS docierającego do strefy szlif.</li> <li>- zredukowanie wydatku PCS</li> <li>- możliwość regulowania wydatku PCS poprzez zmianę liczby i kształtu kanałów w przekładce</li> </ul>
<b>Wady</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ściernica wytwarzana na specjalne zamówienie</li> <li>- dodatkowy precyzyjny zabieg obciążania konieczny do ukształtowania nakroju stożkowego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dodatkowy precyzyjny zabieg obciążania konieczny do ukształtowania mikronieciągłości</li> <li>- wymaga możliwości precyzyjnej regulacji parametrów obciążania w szerokim zakresie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niekonwencjonalna konstrukcja trzpienia szlifierskiego</li> <li>- ograniczony zakres średnic przedmiotów obrabianych</li> </ul>

Badania przeprowadzono dla pięciu ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego i spoiwem szklanokrystalicznym (tab. 6).

Tab. 6. Ściernice zastosowane w badaniach doświadczalnych

Opis	Ściernica referencyjna	Ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie (modyfikacja A)	Ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie i z mikronieciągłościami CPS (modyfikacja A+B)	Ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie i z systemem wewnętrznego doprowadzenia PCS (modyfikacja A+C)	Ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie z mikronieciągłościami CPS i systemem wew. doprowadzenia PCS (mod. A+B+C)
Schemat konstrukcji					
Oznaczenie	1-35×20×10-SG/F46 K7VDG 100%	1-35×20×10-SG/F46 K7VDG70% / SG/F80I7VDG30%	1-35×20×10-SG/F46 K7VDG70% / SG/F80I7VDG30%	1: 1-35×14×10-SG/F46K7VDG 2: 1-35×6×10-SG/F80I7VDG	1: 1-35×14×10-SG/F46K7VDG 2: 1-35×6×10-SG/F80I7VDG

Na rysunku 21 przedstawiono średnie wartości chropowatości powierzchni obrabianej wyrażonej parametrem  $R_a$  oraz przyrostu mocy szlifowania  $\Delta P$  uzyskane w procesie szlifowania jednoprzęciowego stali 100Cr6.



Rys. 21. Średnie wartości chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego  $R_a$  i przyrostu mocy szlifowania  $\Delta P$  dla badanych ściernic

Przeprowadzone badania doświadczalne wykazały możliwość uzyskania efektu synergicznego wzmocnienia pozytywnego wpływu modyfikacji budowy ściernicy poprzez ich integrację. Najważniejsze wnioski szczegółowe wynikające z przeprowadzonych badań są następujące:

- zastosowanie systemu chłodzenia odśrodkowego oraz ukształtowanie mikronieciągłości na czynnej powierzchni strefy szlifowania zgrubnego ściernicy pozwoliło obniżyć moc szlifowania w zakresie od 31% do 56%;
- integracja modyfikacji budowy ściernicy wpływa korzystnie również na efekty szlifowania, obniżając chropowatość obrabianych powierzchni;
- w przypadku ściernic łączących w swojej budowie co najmniej dwie modyfikacje zarejestrowano spadek wartości chropowatości powierzchni przedmiotu po szlifowaniu o około 25%;

- najbardziej zaawansowanym z opisanych rozwiązań konstrukcyjnych była ściernica łącząca trzy modyfikacje: strefowe zróżnicowanie budowy i mikronieciągłości CPS wraz z systemem doprowadzenia PCS od wewnątrz ściernicy; zastosowanie takiego narzędzia pozwoliło na ponaddwukrotne zmniejszenie mocy szlifowania oraz zredukowanie chropowatości powierzchni obrobionej o około 20%, w porównaniu ze ściernicą niemodyfikowaną, co świadczy o wyraźnym korzystnym wpływie integracji modyfikacji budowy ściernicy na przebieg i wyniki rozpatrywanego procesu szlifowania.

### Publikacje

1. **NADOLNY K.:** *Synergiczne modyfikacje ściernic do procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Współczesne problemy obróbki ściernic, red. J. Plichta, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 167, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, s. 203-214.
2. **NADOLNY K.:** *The effect of integrating the structural modifications of the grinding wheel upon the internal cylindrical grinding process*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 12(2012)1, pp. 60-67.

### 3.9. Wyznaczenie zbioru kryteriów oceny efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spekanego

Efektywność szlifowania, rozumianą w kategoriach technologicznych i ekonomicznych, określa się jako relację uzyskanych efektów obróbki do nakładów poniesionych na ich osiągnięcie. W przypadku oceny efektywności obróbki ściernic zasadnicze znaczenie, w odniesieniu do efektów szlifowania, ma jakość powierzchni obrobionej oraz uzyskana wydajność ubytkowa. Natomiast najważniejszymi czynnikami opisującymi nakłady są moc szlifowania i czas obróbki, wpływające na koszty procesu.

Efektywność szlifowania można ocenić za pomocą kryteriów podzielonych na pięć grup. Są to wskaźniki jakościowe, wydajnościowe, kosztów szlifowania, przebiegu szlifowania i wskaźniki skojarzone, zwane również syntetycznymi. Można przyjąć, że najbardziej uniwersalne i najczęściej stosowane wskaźniki oceny zdolności skrawnych ściernic, i ściśle z nią związanej efektywności szlifowania, stanowią te wielkości, które zostały znormalizowane:

- $WJ_1 = Ra$ ,  $\mu\text{m}$  – średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości (PN-87/M-04256/02);
- $WJ_3 = \mu HV$ ,  $\text{N}/\text{mm}^2$  mikrotwardość w skali Vickersa (PN-87/M-04250);
- $WW_1 = Q_w$ ,  $\text{mm}^3/\text{s}$  – wydajność ubytkowa szlifowania (PN-92/M-01002/05);
- $WW_4 = v_{fr}$ ,  $\text{mm}/\text{s}$  – prędkość posuwu promieniowego stołu szlifierki (PN-92/M-01002/05);
- $WP_1 = F_n$ ,  $\text{N}$  – składowa normalna siły szlifowania (PN-92/M-01002/04);
- $WP_4 = P_c$ ,  $\text{kW}$  – moc szlifowania (PN-92/M-01002/04);
- $WS_1 = G = V_w / V_s$ ,  $\text{mm}^3/\text{mm}^3$  – wskaźnik szlifowania (PN-92/M-01002/05).

Przyjmując zaproponowaną klasyfikację kryteriów oceny, można założyć, że każda z kategorii powinna zostać wyrażona ilościowo jedną lub kilkoma wielkościami. Zrezygnowano jednak z uwzględnienia wskaźników związanych z kosztami szlifowania, z powodu utrudnionego szacowania poszczególnych ich składników, które odnoszą się do konkretnego stanowiska produkcyjnego i są aktualne tylko w ograniczonym przedziale czasu.

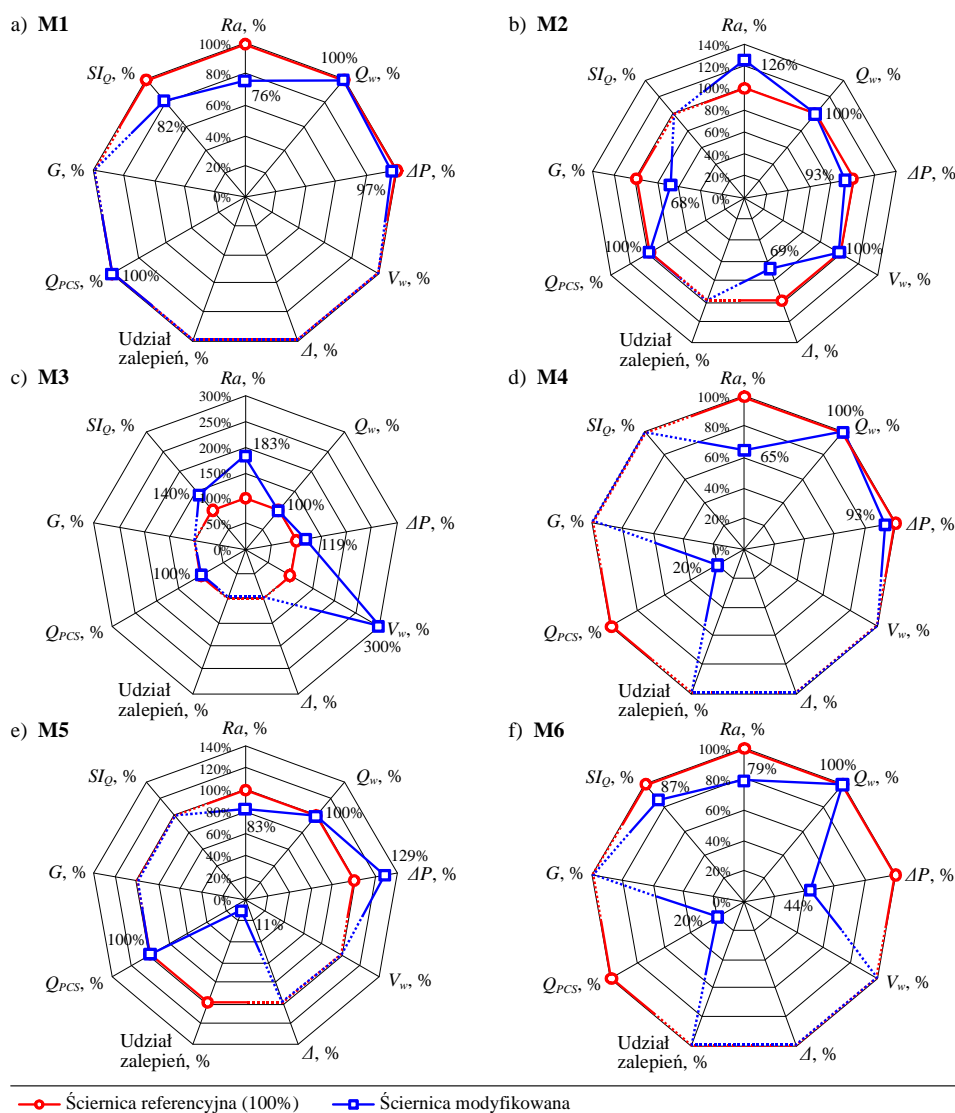
Do grupy wskaźników syntetycznych uwzględnionych w ocenie efektywności szlifowania ściernicami modyfikowanymi włączono wskaźnik szlifowania  $G$  definiowany ilorazem ubytku materiału obrabianego  $V_w$  (w  $\text{mm}^3$ ) i zachodzącego w tym samym czasie zużycia objętościowego ściernicy  $V_s$  (w  $\text{mm}^3$ ) oraz wskaźnik wydajności ubytkowej przypadającej na pojedynczy wierzchołek skrawający  $SI_Q$  (2).

Do grupy kryteriów włączono również wydatek płynu chłodząco-smarującego  $Q_{PCS}$ , jako wskaźnik określający jeden z aspektów ekologicznych procesu szlifowania, wynikający z konieczności utylizacji zużytych płynów obróbkowych.

Ostateczny zbiór kryteriów, zastosowany do oceny efektywności procesów szlifowania ściernicami modyfikowanymi zawiera następujące wskaźniki z pięciu grup:

- jakościowe:  $Ra$ ;
- wydajnościowe:  $Q_w$ ;
- przebiegu szlifowania:  $\Delta P$ ,  $V_w$ ,  $\Delta$ , powierzchniowy udział zalepień na CPS;
- ekologiczne:  $Q_{PCS}$ ;
- oraz syntetyczne:  $G$ ,  $SI_Q$ .

Na rysunku 22 przedstawiono wykresy zmian procentowych wartości poszczególnych wskaźników oceny efektywności szlifowania wyznaczonych dla sześciu rozpatrywanych modyfikacji budowy ściernicy, w odniesieniu do odpowiednich ściernic referencyjnych (pozbawionych modyfikacji). Zestawienie to pozwala na ocenę korzyści i wad, przydatności oraz możliwych zastosowań danej modyfikacji.



Rys. 22. Wskaźniki efektywności ściernic modyfikowanych w porównaniu ze ściernicami referencyjnymi: a) M1 – strefowo zróżnicowana budowa; b) M2 – modyfikacja mikrostruktury spoiwa; c) M3 – mikronieciągłości CPS; d) M4 – ściernica składana z systemem odśrodkowego doprowadzenia PCS; e) M5 – ściernica impregnowana; f) M6 – integracja modyfikacji

Wyznaczone wartości wskaźników efektywności pozwoliły na ocenę poszczególnych rozwiązań i wskazanie ich mocnych oraz słabych stron. Do najważniejszych zalet ocenianych modyfikacji należy zaliczyć:

- zmniejszenie chropowatości powierzchni po szlifowaniu wyrażonej parametrem  $Ra$  w zakresie od 17% do 35% (modyfikacje M1, M4, M5, M6);
- ograniczenie przyrostu mocy szlifowania  $\Delta P$  od 3% do 66% (modyfikacje M1, M2, M4, M6);
- trzykrotne wydłużenie okresu trwałości ściernicy, wyrażonego ubytkiem materiału obrabianego  $V_w$ , przy zastosowaniu mikronieciągłości CPS (modyfikacja M3);
- niemal 30% ograniczenie wielkości błędu okrągłości ściernicy  $\Delta$  przy zastosowaniu zmodyfikowanej mikrostruktury spoiwa (modyfikacja M2);
- zmniejszenie intensywności powstawania zalepień na CPS w procesach szlifowania materiałów trudno skrawalnych, wyrażone 89% redukcją udziału powierzchniowego zalepień, przy zastosowaniu ściernic impregnowanych grafitem (modyfikacja M5);
- możliwość osiągnięcia korzystnego efektu ekologicznego poprzez pięciokrotne zmniejszenie wydatku płynu chłodząco-smarującego  $Q_{PCS}$ , przy zastosowaniu systemu wewnętrznego doprowadzenia PCS (modyfikacja M3 i M6).

### Publikacje

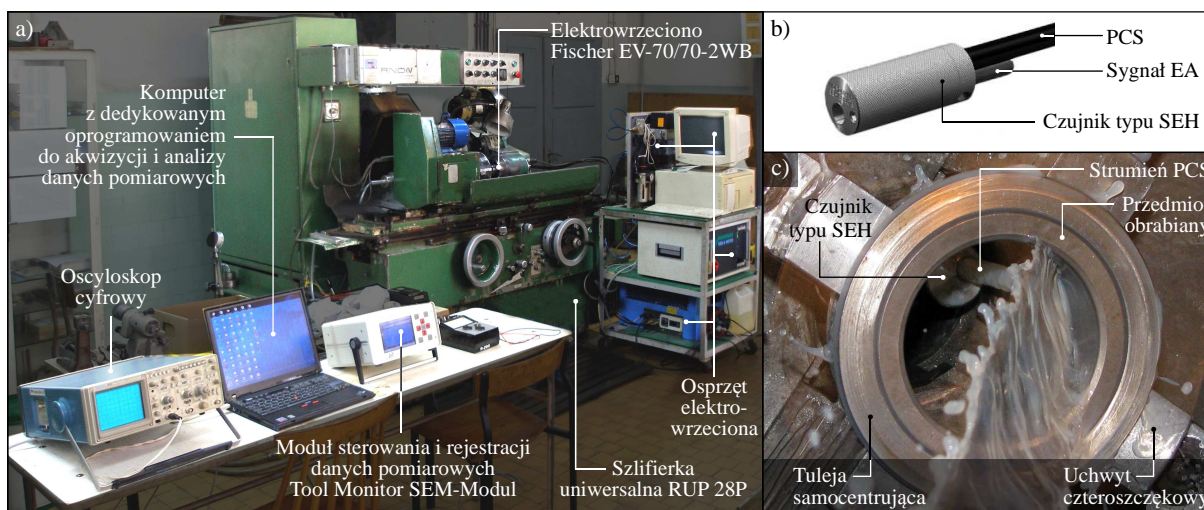
1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Ocena efektywności jednoprzęściowego procesu szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Materiały XXIX Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Gdańsk-Jurata, 2006, s. 181-184.
2. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Efektywność procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie, s. 145-156, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
3. **NADOLNY K., SŁOWIŃSKI B.:** *Potential for increasing the effectiveness of automated production systems due to application of single-pass grinding*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 34(2010)2, pp. 19-30.
4. **SŁOWIŃSKI B., NADOLNY K.:** *Metodologia para análise do potencial de otimização de processos*. Máquinas e Metais, Vol. 46, No. 536, 2010, p. 124-145.
5. **NADOLNY K.:** *Ocena efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekanego*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 415-428.
6. **NADOLNY K.:** *Ocena efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekanego*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).

### 3.10. Opracowanie metodyki monitorowania procesów szlifowania otworów ściernicami modyfikowanymi z zastosowaniem bezstykowego systemu emisji akustycznej

W warunkach produkcji seryjnej stosowanie ściernic z innowacyjnymi modyfikacjami w procesach szlifowania otworów wymaga monitorowania takiego procesu, głównie w celu wykrywania oznak zużycia składników CPS. W przypadku procesów szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych, do monitorowania należy stosować czujniki bezstykowe, dostarczające informacji o pojawieniu się



określonego zjawiska (np. ładunku elektrycznego) lub zmianach różnych wielkości fizycznych (np. temperatury, mocy lub siły), bez potrzeby bezpośredniego kontaktu z materiałem obrabianym lub ściernicą. Wśród wielu typów produkowanych czujników są również opatentowane czujniki emisji akustycznej (EA, emisja fal naprężeń – ang. *stress wave emission*). W trakcie badań użyto czujnika hydroakustycznego typu SEH (niem. *Schall-Emissions-Hydrophon*) firmy Nordmann GmbH & Co., w którym ośrodkiem przenoszenia fali sygnału akustycznego jest strumień płynu chłodząco-smarującego (rys. 23). Badania przeprowadzono w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicą o oznaczeniu technicznym 1-35×20×10-SG/F46G10VTO.



Rys. 23. Stanowisko badawcze do monitorowania procesu szlifowania ściernicami modyfikowanymi z użyciem sygnału emisji akustycznej: a) widok ogólny; b) czujnik emisji akustycznej typu SEH firmy Nordmann GmbH & Co.; c) widok strumienia PCS padającego na wewnętrzną powierzchnię walcową przedmiotu obrabianego

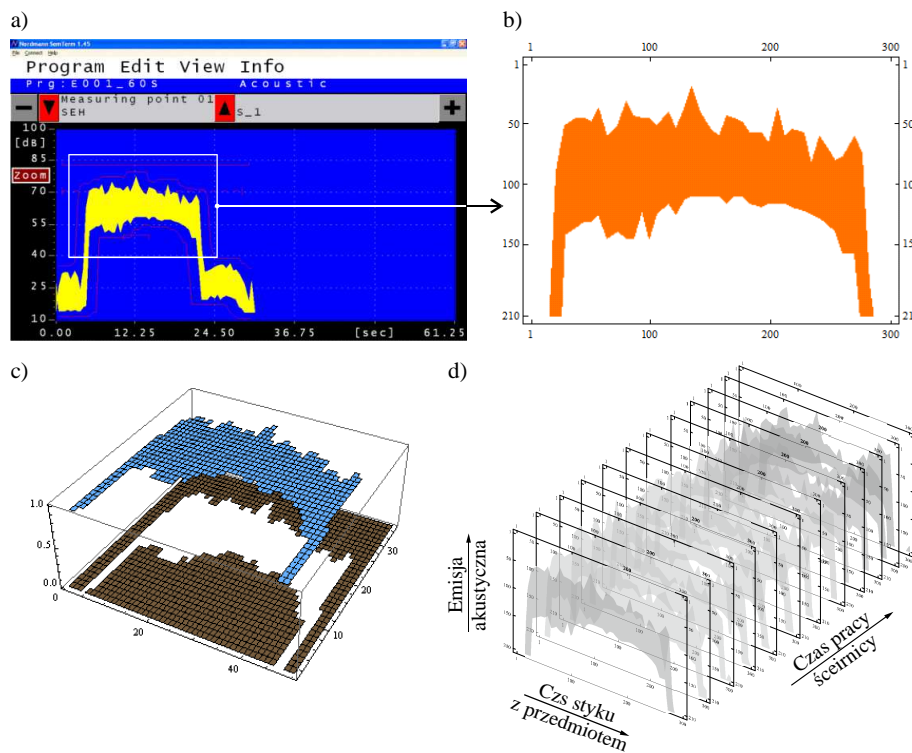
Działanie systemu monitorowania firmy Nordmann polega na pobraniu przez jednostkę monitorującą (Tool Monitor SEM-Modul) informacji o sygnale EA z procesora SEP, zapamiętując i wyświetlając jedynie wartość maksymalną i minimalną z częstotliwością 1 kHz. Dane te zapisywane są z rozdzielczością 12 bitów (gdzie 0 odpowiada 0 V, a 4096 – 10 V) w pamięci urządzenia i mogą być poddane wstępnemu przetwarzaniu w celu wyznaczenia wartości granicznych dla pojedynczego pomiaru lub całej serii pomiarów.

### Określenie możliwości zastosowania metody śledzenia zmian zachodzących w obrazie do analizy sygnału emisji akustycznej

Takie rozwiązanie, jak i zastosowane parametry pracy modułu SEM, pozwalają z łatwością określić kolejne etapy obróbki czy też gwałtowne zmiany głębokości szlifowania. Jednakże wstępne próby eksperymentalne wykazały, że zastosowany system nie wskazuje ani na przekroczenie przez rejestrowany sygnał wcześniej ustalonych granic, ani na znaczącą zmianę średniej wartości amplitudy, pomimo obniżania zdolności skrawnej ściernicy (wykrywane przez wzrost mocy szlifowania). W trakcie badań zaobserwowano, że kolejno rejestrowane pomiary sygnału EA różnią się znacząco pod względem kształtu (geometrii). Fakt ten był przesłanką do zaproponowania metody innej niż analiza graniczna – niekonwencjonalnej dla opisywanego układu pomiarowego, ale dobrze znanej i wykorzystywanej na przykład w przemysłowych systemach wizyjnej kontroli jakości – metody komputerowej analizy wyników badań opartej na śledzeniu zmian zachodzących w obrazie.

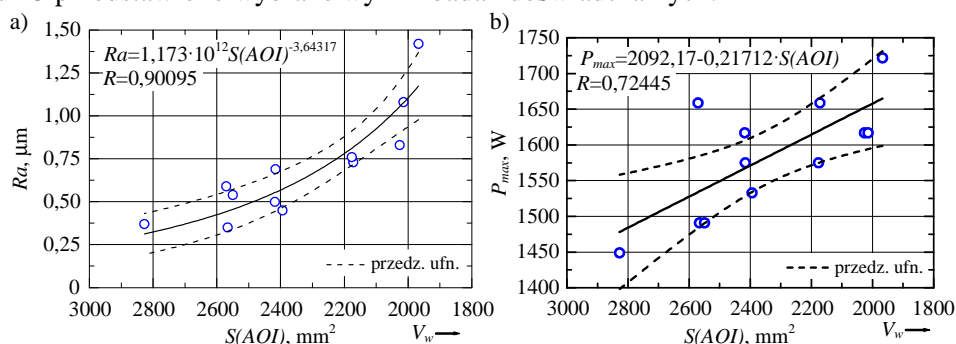
W pierwszym etapie zadaniem opracowanego systemu było pobranie obrazu oraz odszukanie określonego wzorca – krzywej reprezentującej sygnał EA. Po poprawnej lokalizacji wzorca, następo-

wało wyodrębnienie obszaru zainteresowania (AOI). Następnie wykonywane było jego przekształcenie punktowe – segmentacja. Jej wynik stanowi macierz zero-jedynkowa, reprezentująca wyłącznie strukturę zarejestrowanego sygnału EA. Ostatnim etapem było wyznaczanie pola powierzchni obszaru  $S$  zajmowanego przez jednolity (reprezentowany przez konkretny kolor, wartość) zbiór elementów w analizowanym obszarze. Procedurę należało powtarzać, charakteryzując sygnał w kolejnych chwilach czasu pracy ściernicy, a jej wynik, czyli wartość  $S(AOI)$ , zastosować do oceny zużycia ściernicy. Wybrane etapy wyznaczania powierzchni zajmowanej przez sygnał EA na ekranie jednostki Tool Monitor SEM-Modul przedstawiono na rysunku 24.



Rys. 24. Etapy wyznaczania powierzchni ograniczonej przez sygnał emisji akustycznej na ekranie jednostki Tool Monitor SEM-Modul: a) zarejestrowany obraz; b) wyznaczenie obszaru zainteresowania (AOI); c) binaryzacja oraz zliczenie obszaru  $S$  zajmowanego przez AOI; d) powtórzenie algorytmu dla kolejnych punktów pomiarowych w czasie

Na rysunku 25 przedstawiono wybrane wyniki badań doświadczalnych.



Parametry szlifowania:  $v_s=60$  m/s;  $v_{fa}=2,0$  mm/s;  $v_w=0,75$  m/s;  $Q_{PCS}=3$  l/min;  $a_c=0,20$  mm;  $b=16$  mm;  $\chi=0,72^\circ$   
 Ściernica: 1-35×20×10-SG/F46G10VTO  
 Przedmiot obrabiany: pierścienie łożyskowe ze stali 100Cr6 (62±2 HRC)  
 Płyn chłodziwo-smarujący: 5% wodny roztwór oleju Castrol Synthilo RHS

Rys. 25. Zmiany wartości średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości  $Ra$  powierzchni obrobionej (a) oraz maksymalnej mocy szlifowania  $P_{max}$  (b) w funkcji pola powierzchni obszaru zainteresowania  $S(AOI)$

### Najważniejsze wnioski

Przeprowadzone analizy wyników badań, w których zastosowano czujnik hydroakustyczny typu SEH w sprzężeniu z jednostką monitorującą SEM oraz zaproponowaną wizyjną metodą oceny cech sygnału, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- zaproponowana metoda pozwala na wykrywanie oznak zużycia składników CPS w trakcie procesu szlifowania i ocenę ich wpływu na moc oraz parametry chropowatości powierzchni obrabianej;
- przedstawione wyniki analizy korelacji wielorakiej wskazują, że zmiany pola powierzchni obszaru zainteresowania  $S(AOI)$  są w największym stopniu skorelowane ze zmianami parametru  $Ra$  ( $R = 0,90095$ ) oraz odpowiadają zmianom pozostałych ocenianych parametrów chropowatości ( $Rz$ ,  $Sm$ ,  $\Delta a$ ) z dokładnością na poziomie  $R \approx 0,73-0,88$ ;
- przeprowadzona analiza wykazała również względnie wysoką korelację ( $R = 0,72445$ ) zachodzącą między polem powierzchni obszaru zainteresowania  $S(AOI)$  a mocą szlifowania  $\Delta P$ ;
- przedstawiony sposób oceny stanu ściernicy daje znacznie więcej informacji w porównaniu z analizą graniczną, będącą podstawowym narzędziem diagnostycznym w systemie firmy Nordmann;
- opisana metodyka analizy cech sygnału EA metodą wizyjną stanowi uzupełnienie systemu monitorowania firmy Nordmann, przy czym zaproponowany sposób postępowania jest łatwy do zaimplementowania w warunkach produkcyjnych, ponieważ odbywa się na poziomie programowym opisanego systemu, nie ingerując w jego wyposażenie sprzętowe.

### Publikacje

1. PLICHTA J., NADOLNY K., SUTOWSKI P., MUSIAŁ W.: *Możliwości monitorowania jednoprzęściowego szlifowania otworów za pomocą sygnału emisji akustycznej (EA)*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją Kazimierza E. Oczosia i Jana Burka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 291-300.
2. SUTOWSKI P., NADOLNY K.: *Zastosowanie sygnału emisji akustycznej do oceny przebiegu procesu szlifowania otworów*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 269-278.
3. SUTOWSKI P., NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Monitoring of cylindrical grinding processes by use of a non-contact AE system*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(2012)10, pp. 1737-1743.

### 3.11. Opracowanie syntetycznego wskaźnika wydajności ubytkowej szlifowania przypadającej na pojedynczy wierzchołek skrawający $SI_Q$

W literaturze dotyczącej procesów szlifowania znaleźć można szereg wskaźników, które opisują warunki pracy ściernicy podczas obróbki. Do najczęściej wymienianych należy zaliczyć: równoważną grubość wióra  $h_{eq}$ , wydajność ubytkową  $Q_w$  i właściwą wydajność ubytkową szlifowania  $Q'_w$  oraz średni przekrój poprzeczny warstwy skrawanej  $A_D$ . Jednak żaden ze znanych wskaźników w swojej definicji nie uwzględnia wystarczającej liczby parametrów szlifowania, które pozwalałyby na porównywanie warunków pracy ziaren ściernych dla różnych ściernic oraz różnych parametrów szlifowania otworów z uwzględnieniem specyfiki różnych odmian kinematycznych tego procesu.

Wobec powyższego zdefiniowano nowy wskaźnik opisujący obciążenie ziaren aktywnych w procesie szlifowania otworów w sposób umożliwiający porównanie między sobą różnych odmian kinematycznych tego procesu, a także uwzględniający strukturę geometryczną powierzchni (SGP) ściernicy. W definicji nowego wskaźnika posłużono się znormalizowaną wydajnością ubytkową

szlifowania  $Q_w$  wyrażoną w  $\text{mm}^3/\text{s}$ , określającą ubytek materiału obrabianego  $V_w$  w jednostce czasu. Na podstawie tej wielkości, uwzględniając liczbę ziaren aktywnych biorących udział w usuwaniu materiału, opracowano wskaźnik syntetyczny wydajności ubytkowej przypadającej na ziarno aktywne, oznaczony jako  $SI_Q$  i wyrażony w  $\mu\text{m}^3/\text{s}$ .

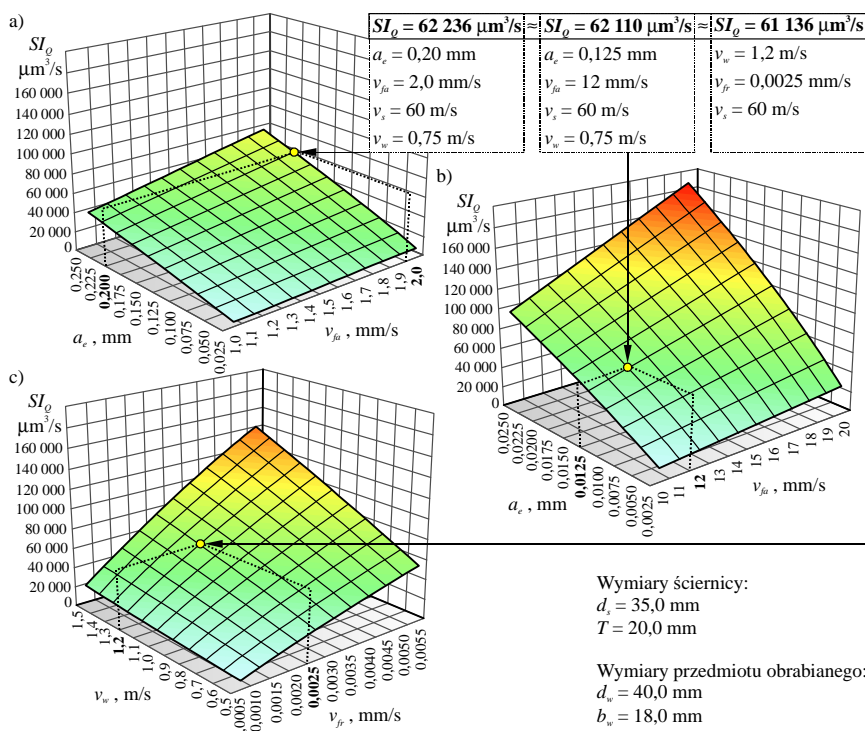
Syntetyczny wskaźnik  $SI_Q$  zdefiniowano jako skorygowaną wydajność ubytkową szlifowania  $Q_{w\text{kor}}$  podzieloną przez liczbę aktywnych wierzchołków skrawających znajdujących się na CPS  $N_{kin\text{ CPS}}$  oraz przez stosunek prędkości  $q$ , zgodnie z zależnością (1):

$$SI_Q = \frac{Q_{w\text{kor}}}{N_{kin\text{ CPS}} \cdot q}, \mu\text{m}^3/\text{s}. \tag{1}$$

Odniesienie wydajności ubytkowej  $Q_w$  do ilorazu prędkości  $q$  pozwoliło na uwzględnienie zmian przekroju poprzecznego wiórów wynikających z prędkości ściernicy i przedmiotu obrabianego. Ostateczny wzór na wskaźnik  $SI_Q$  przyjmuje następującą postać (2):

$$SI_Q = \frac{Q_{w\text{kor}} \cdot v_w}{N_{kin} \cdot \pi \cdot d_s \cdot T \cdot v_s}, \mu\text{m}^3/\text{s}. \tag{2}$$

Wskaźnik  $SI_Q$  w podanej formie (2) w przypadku szlifowania jednaprzęściowego i prostoliniowo-zwrotnego jest wrażliwy na zmiany następujących parametrów szlifowania:  $a_e, v_s, v_w, v_{fa}, N_{kin}, d_s, d_w, T$ . Natomiast w kinematyce szlifowania węgłnego oraz węgłnego z oscylacjami, wartości wskaźnika  $SI_Q$  zależą od:  $a_e, v_s, v_w, v_{fr}, N_{kin}, d_s, d_w$ , oraz  $T$ . Cecha ta czyni go niezwykle przydatnym przy doborze parametrów obróbki, w przypadku zmiany kinematyki procesu szlifowania otworów, przy konieczności zachowania obciążenia ziaren aktywnych na tym samym poziomie. Pokazuje również, jak zmienia się obciążenie aktywnych wierzchołków skrawających w funkcji wyżej wymienionych parametrów obróbkowych, co pozwala wstępnie optymalizować ich dobór. Na rysunku 26 przedstawiono przykład zastosowania wskaźnika  $SI_Q$  do określenia parametrów szlifowania, przy których w różnych odmianach kinematycznych tego procesu obciążenie ziaren kształtuje się na porównywalnym poziomie (np.:  $SI_Q \approx 62\,000 \mu\text{m}^3/\text{s}$ ).



Rys. 26. Zastosowanie wskaźnika  $SI_Q$  do określenia parametrów, przy których ziarna ściernic obciążone są na porównywalnym poziomie w szlifowaniu: a) jednaprzęściowym; b) prostoliniowo-zwrotnym; c) węgłnym

Zaprezentowany na rysunku 26 przykład ilustruje możliwości doboru parametrów szlifowania z użyciem wskaźnika  $SI_Q$ , dla różnej kinematyki procesu w taki sposób, aby zachować porównywalne obciążenie ziaren ściernych na czynnej powierzchni ściernicy. Opracowane wykresy dają podstawę do modyfikowania stosowanych parametrów obróbkowych, biorąc pod uwagę obciążenie ziaren aktywnych. Zastosowanie wskaźnika  $SI_Q$  pozwala również na predykcję warunków pracy ściernic różniących się między sobą liczbą ziaren aktywnych na CPS.

### Publikacje

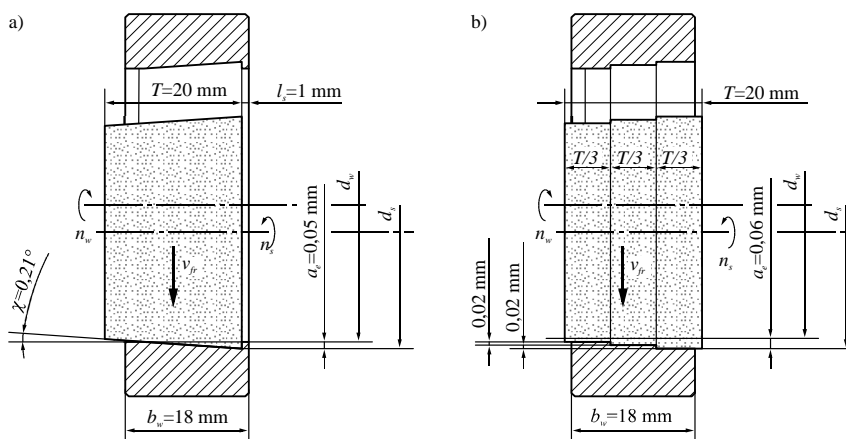
1. **NADOLNY K.:** *Analityczna metoda porównania warunków pracy ziaren ściernych w różnych odmianach kinematycznych procesu szlifowania otworów*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 265-276.
2. **NADOLNY K.:** *Analityczna metoda porównania warunków pracy ziaren ściernych w różnych odmianach kinematycznych procesu szlifowania otworów*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).

### 3.12. Określenie wpływu czasu szlifowania na cechy stereometryczne powierzchni ściernicy oraz powierzchni przedmiotu obrobionego w procesie szlifowania w głębnego ściernicami o specjalnie ukształtowanej makrogeometrii powierzchni czynnej

W celu wyznaczenia wpływu czasu szlifowania na cechy stereometryczne powierzchni ściernicy oraz powierzchni przedmiotu obrobionego opracowano nową metodę badawczą, polegającą na przeprowadzeniu krótkiego testu szlifowania, trwającego np. 3 sekundy, specjalnie ukształtowaną ściernicą, w kinematyce szlifowania w głębnego.

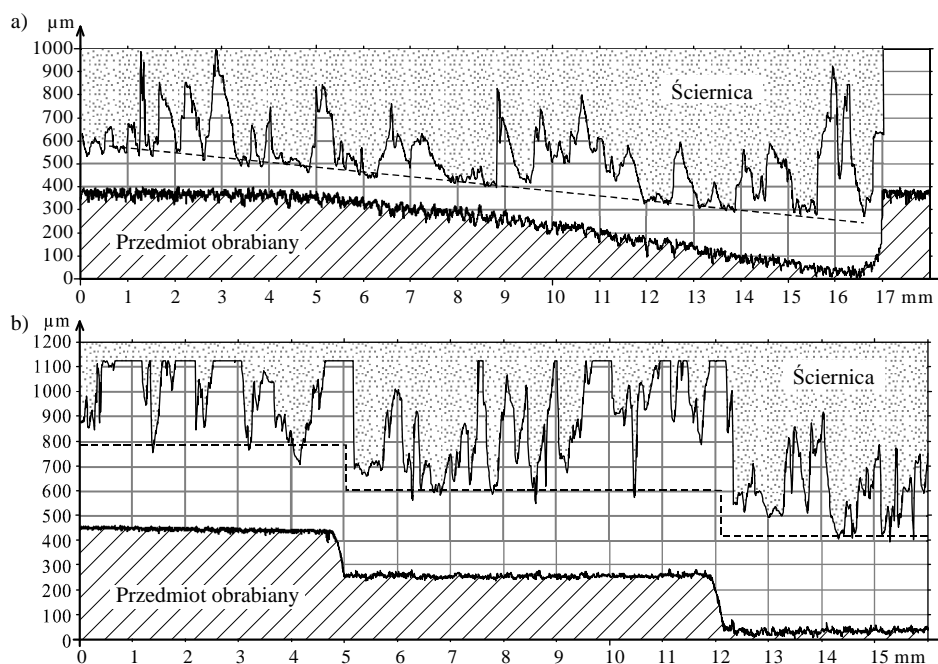
Istotną cechą metody jest pominięcie etapu szlifowania wykończeniowego i wyiskrzania. Ściernica wykonuje ruch roboczy z zadaną prędkością posuwu w głębnego  $v_{fr}$ , po czym niezwłocznie zostaje odsunięta od obrabianego materiału. Ma to na celu identyfikację procesów zużycia CPS, a także procesów usuwania materiału, formowania wióra, tworzenia wypływek, bruzdowania itp.

Zastosowana w opracowanej metodzie modyfikacja makrogeometrii ściernicy polega na uformowaniu na jej czynnej powierzchni stożka lub kilku, np. trzech, stref walcowych o różnej średnicy w zabiegu obciążania. Na rysunku 27 przedstawiono schemat kinematyki szlifowania w głębnego ściernicą stożkową (rys. 27a) i ściernicą ze strefami o różnych średnicach (rys. 27b) oraz geometrię dwóch opracowanych modyfikacji makrogeometrii CPS.



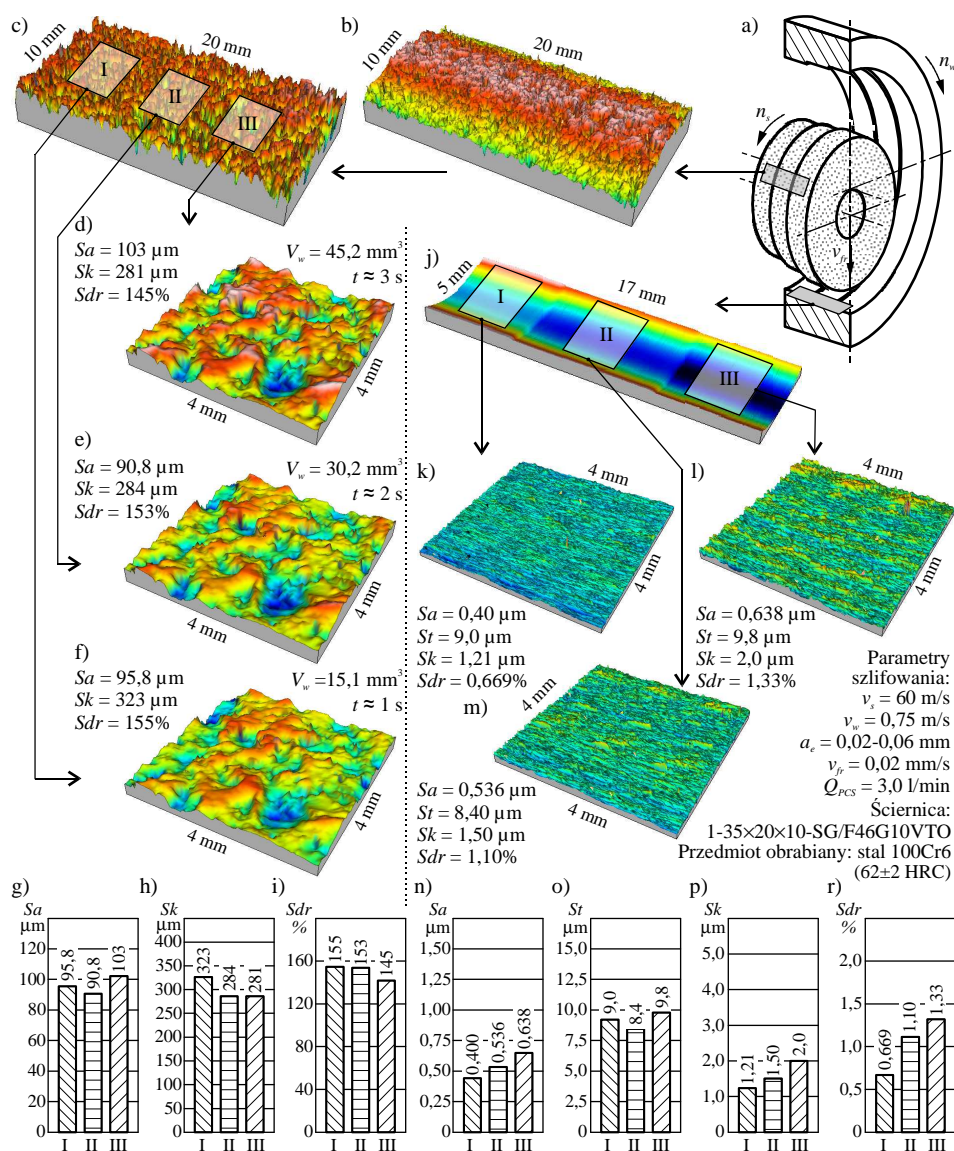
Rys. 27. Schemat kinematyki metody oceny warunków pracy składników CPS z użyciem ściernicy o specjalnie ukształtowanej makrogeometrii: a) ściernica z nakrojem stożkowym; b) ściernica ze strefami o różnej średnicy

Rezultatem tak przeprowadzonego szlifowania wgłębnego jest odwzorowanie makrogeometrii ściernicy na przedmiocie obrabianym, którego przykład pokazano na rysunku 28. Nałożono na nim profile osiowe ściernic zmierzone metodą profilometrii optycznej z profilami chropowatości powierzchni po szlifowaniu, zarejestrowanymi z użyciem profilometru stykowego.



Rys. 28. Zestawienie zmierzonych profili osiowych ściernicy i przedmiotu po szlifowaniu wgłębnym: a) ściernicą z nakrojem stożkowym; b) ściernicą ze strefami o różnej średnicy

Specjalne ukształtowanie makrogeometrii ściernicy powoduje, że poszczególne strefy jej czynnej powierzchni pracują z różnym czasem i usuwają różną objętość materiału. Co za tym idzie, w poszczególnych strefach CPS proces zużycia ziaren ściernych i spoiwa, zjawiska formowania wióra czy też zalepiania przestrzeni międzyziarnowych przebiegają z różną intensywnością i mogą przyjmować odmienne formy. W przypadku ściernicy stożkowej zmiany te następują bezstopniowo, w sposób ciągły, wynikający ze zmiany średnicy ściernicy (rys. 28a). Natomiast przy zastosowaniu ściernicy schodkowej, warunki i rezultaty obróbki są zbliżone w poszczególnych strefach ściernicy (rys. 28b). Na rysunku 29 przedstawiono przykład analizy cech stereometrycznych powierzchni ściernicy oraz powierzchni przedmiotu obrabianego po szlifowaniu z użyciem ściernicy ze strefami o różnej średnicy.



Rys. 29. Mikrotopografie i wybrane parametry stereometryczne CPS ze strefami o różnej średnicy oraz przedmiotu obrabionego: a) schemat procesu; b-i) mikrotopografie i parametry SGP trzech obszarów CPS; j-r) mikrotopografie i parametry SGP trzech obszarów pow. przedmiotu obrabionego

Opracowana metoda umożliwia ocenę warunków kształtowania powierzchni obrabianej, analizę zjawisk formowania wiórów oraz ocenę intensywności i form zużycia czynnej powierzchni ściernicy.

## Publikacje

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Analiza warunków pracy ziaren ściernych na czynnej powierzchni ściernicy metodą szlifowania węgłnego*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 165-176.
2. **NADOLNY K.:** *The method of assessment of the grinding wheel cutting ability in the plunge grinding*. Central European Journal of Engineering, 2(2012)3, pp. 399-409.

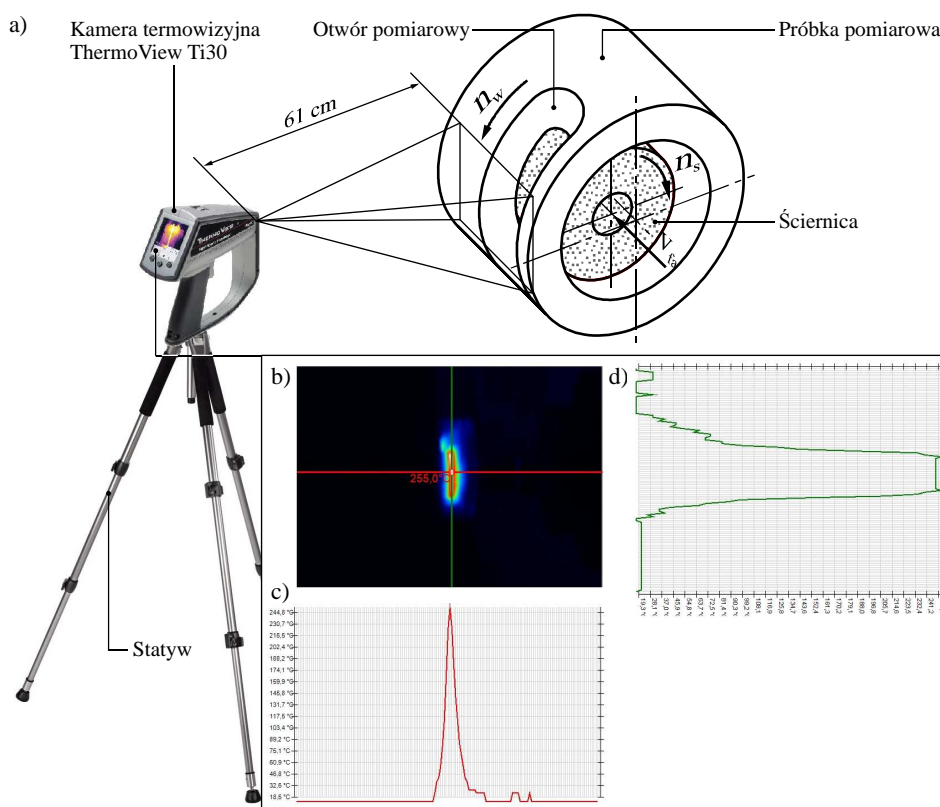
## Zgłoszenia patentowe

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Sposób badania zdolności skrawnej ściernicy*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 395409 z 22.06.2011 r.

### 3.13. Wyznaczenie rozkładów temperatury w strefie styku ściernicy z przedmiotem obrabianym oraz na określonych głębokościach pomiarowych ścian specjalnie ukształtowanej tulei pomiarowej, z zastosowaniem termowizji w podczerwieni

W celu wyznaczenia rozkładów temperatury w strefie styku ściernicy z przedmiotem obrabianym podczas szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych opracowano specjalną tuleję pomiarową, umożliwiającą wykorzystanie w pomiarach kamery termowizyjnej. W próbce pomiarowej wykonany został otwór o szerokości 5 mm na 1/3 długości obwodu. Ściany boczne otworu pomiarowego rozchylone zostały pod kątem  $\alpha = 45^\circ$  w celu umożliwienia rejestrowania temperatury w bezpośredniej bliskości strefy szlifowania. Geometria próbki pomiarowej wynikała z zastosowanej prędkości obrotowej przedmiotu obrabianego oraz prędkości transmisji danych użytej kamery.

Sposób pomiaru temperatury według opisywanej metody (rys. 30) polega na rejestrowaniu termowizyjnego obrazu otoczenia otworu pomiarowego przez szybką kamerę termowizyjną i utrwalaniu go w postaci termogramów. Na ich podstawie można określić wartość temperatury w dowolnym punkcie zarejestrowanego obrazu oraz dokonać analizy rozkładu temperatur w poszczególnych przekrojach otworu pomiarowego. Pomiar jest dokonywany bezstykowo w dowolnym momencie szlifowania.



Rys. 30. Schemat stanowiska pomiarowego (a) wyposażonego w kamerę termowizyjną ThermoView Ti30 firmy Raytek Corp. z przykładowym termogramem (b) oraz wykresami rozkładu temperatury w przekroju osiowym (c) i obwodowym (d)

#### Publikacje

1. **NADOLNY K., PLICHTA J.:** *Comparative method of thermovision temperature measurement in single-pass internal cylindrical grinding.* Archives of Civil and Mechanical Engineering, 6(2006)4, s. 65-72.

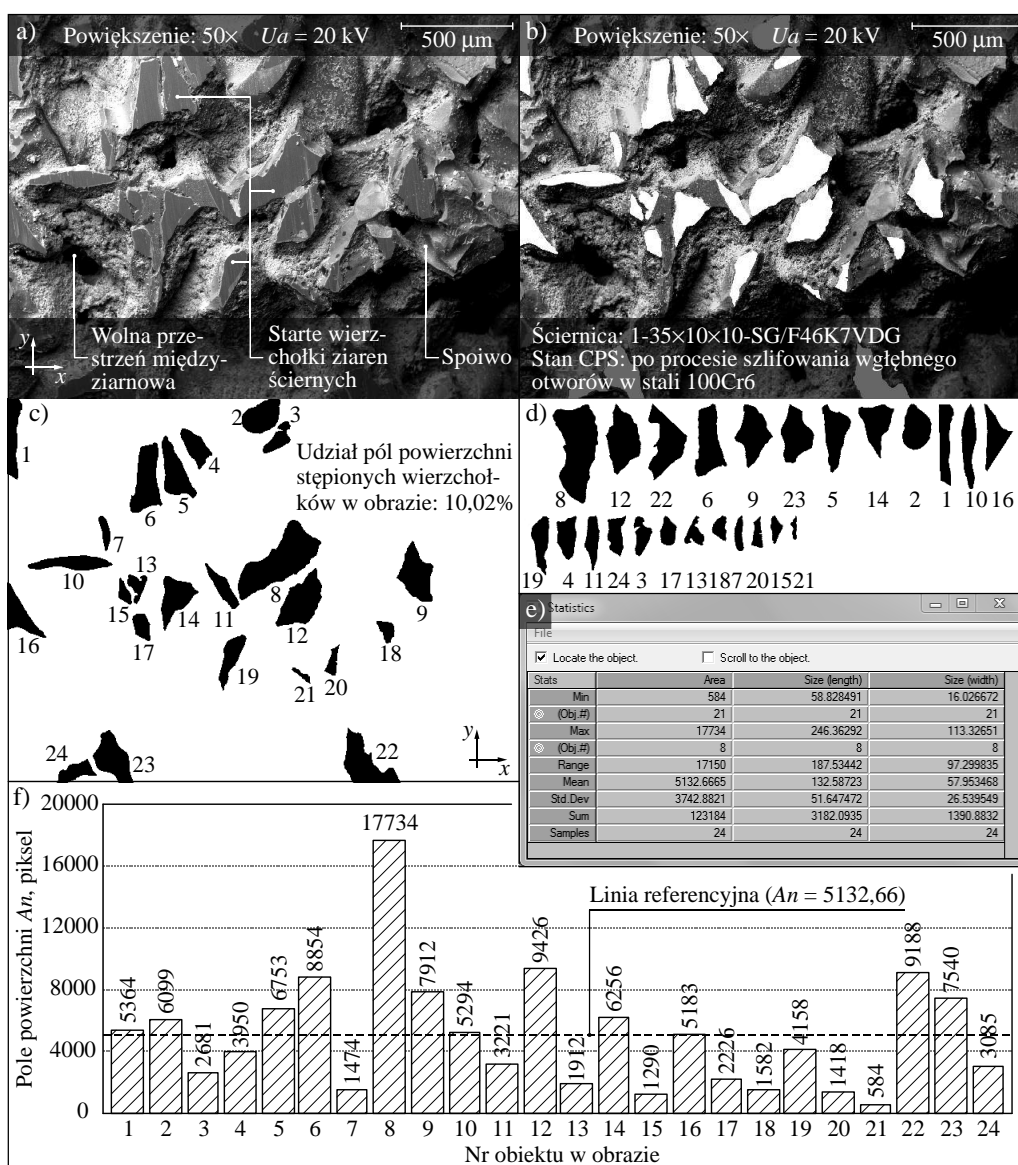


## Zgłoszenia patentowe

1. PLICHTA J., NADOLNY K.: *Sposób pomiaru temperatury w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 387787 z 14.04.2009 r.

### 3.14. Opracowanie metodyki analizy danych pochodzących z obrazów mikroskopowych SEM czynnej powierzchni ściernicy

Przy ocenie stanu CPS obrazy uzyskane techniką mikroskopii skaningowej służą najczęściej do analiz wizualnych, odnoszących się do cech jakościowych, tylko niekiedy uzupełnionych w niewielkim fragmencie danymi ilościowymi, np. dotyczącymi długości wiórów itp. W celu uzyskania z zarejestrowanych obrazów mikroskopowych SEM znacznie większej liczby informacji o charakterze ilościowym, służących szczegółowej ocenie stanu CPS po procesach obróbki ściernicy, zaproponowano wykorzystanie technik przetwarzania i analizy obrazu (rys. 31).



Rys. 31. Przykładowe rezultaty analizy obrazu CPS: a) obraz wejściowy; b) obraz z nałożoną maską wydzielonych obszarów odpowiadających startym wierzchołkom aktywnych ziaren ściernych; c) obraz maski; d) obszary uszeregowane wg wielkości pola powierzchni  $A_n$ ; e) okno funkcji *Statistics*; f) wykres wartości powierzchni  $A_n$  dla poszczególnych obszarów

Na rysunku 31 przedstawiono przykładowe rezultaty analizy obrazu przeprowadzonej dla ściernicy o oznaczeniu 1-35×10×10-SG/F46 K7VDG, użytej w procesie szlifowania wgłębnego otworów z oscylacjami w stali 100Cr6. Na obrazie zarejestrowano fragment CPS o wymiarach  $5,12 \times 3,84$  mm, dla którego wydzielono poprzez binaryzację te fragmenty, które stanowiły starte wierzchołki aktywnych ziaren ściernych. Powstała w ten sposób maskę nałożono na obraz wejściowy (rys. 31b) w celu sprawdzenia, czy binaryzacja została przeprowadzona w sposób poprawny. Następnie dokonano zliczenia wszystkich ciemnych obszarów (obiektów) w analizowanym obrazie (rys. 31c). Operacja ta pozwoliła na wyznaczenie podstawowych parametrów geometrycznych charakteryzujących starte wierzchołki aktywnych ziaren ściernych (tj. pola powierzchni  $A_n$ , długości  $l$  i szerokości  $w$ ). Uzyskane wartości zostały przedstawione w sposób statystyczny (rys. 31e). Dodatkowo dokonano uszeregowania wszystkich wyznaczonych obszarów w zależności od wielkości ich pola powierzchni (rys. 31d). Uzyskane wartości jednego z parametrów geometrycznych (pola powierzchni  $A_n$ ) zestawiono dla wszystkich wyznaczonych obszarów (obiektów) na wykresie kolumnowym (rys. 31f), na którym zaznaczono także linię referencyjną, stanowiącą wartość średnią pól powierzchni dla wszystkich obszarów. Obszar startych wierzchołków aktywnych ziaren ściernych stanowił 10,02% całkowitego obszaru analizowanego fragmentu CPS.

### Publikacje

1. KAPŁONEK W., NADOLNY K., SUTOWSKI P.: *Ocena stanu czynnej powierzchni ściernicy z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 29-38.
2. KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Assessment of the grinding wheel active surface condition using SEM and image analysis techniques*. Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, (in press, article no. JBSMSE-566, submitted: 11.07.2011, accepted: 23.09.2011).

### 3.15. Określenie możliwości i zakresu zastosowania skaterometrii laserowej wspomaganiej technikami przetwarzania i analizy obrazu do oceny stanu czynnej powierzchni ściernicy

Terminem skaterometria określa się grupę optycznych metod pomiarowych wykorzystujących zjawisko rozpraszania światła, przeznaczonych do oceny struktury geometrycznej powierzchni oraz detekcji różnorodnych wad powierzchni. Pomiaru skaterometryczne w większości przypadków dotyczą oceny parametrów powierzchni obrobionych, kształtowanych typowymi technikami obróbkowymi, wykonanych z metalu lub stopów metali. Znacznie rzadziej w literaturze można znaleźć zastosowanie tych metod do oceny powierzchni wykonanych z innych materiałów, np. z tworzyw sztucznych lub z ceramiki.

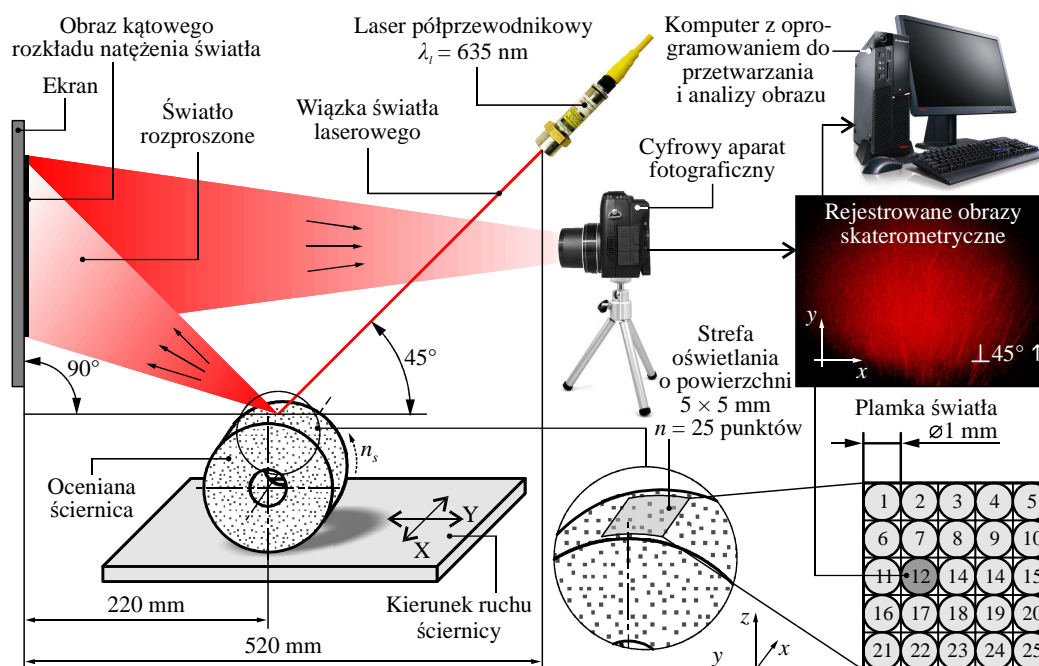
Trudność w ocenie skaterometrycznej czynnej powierzchni ściernicy wynika ze specyfiki budowy ściernic, które charakteryzują się stochastycznie rozmieszczonymi ziarnami ściernymi o niezdefiniowanej geometrii, spojonych spoiwem. Taka struktura, o dużej niejednorodności, bez wyraźnego ukierunkowania, powoduje nasilenie zjawiska rozpraszania światła. Przejawia się ono wizualnie w powstawaniu na płaszczyźnie obserwacji obrazu światła rozproszonego o nieregularnej formie.

W przypadku, gdy na czynnej powierzchni ściernicy występują zalepienia wiórami materiału obrabianego, możliwości oceny się polepszają. Dla dużych zalepień przestrzeni międzyziarnowych powierzchnia ściernicy będzie charakteryzowała się podobnymi właściwościami odbiciowymi jak

typowa powierzchnia wykonana z metalu. Wizualnie będzie się to przejawiało powstawaniem na płaszczyźnie obserwacji obrazu światła rozproszonego o dość regularnej formie.

Opracowując metodę oceny stanu CPS z użyciem skaterometrii laserowej założono, że poprzez obserwację i analizę obrazów światła rozproszonego uzyskanych dla fragmentów niezalепionych i zalепionych, będzie możliwe oszacowanie stopnia zalепienia czynnej powierzchni ściernicy.

Na rysunku 32 przedstawiono schemat stanowiska pomiarowego do rejestracji obrazów kąowego rozkładu natężenia rozproszonego światła odbitego od czynnej powierzchni ściernicy.

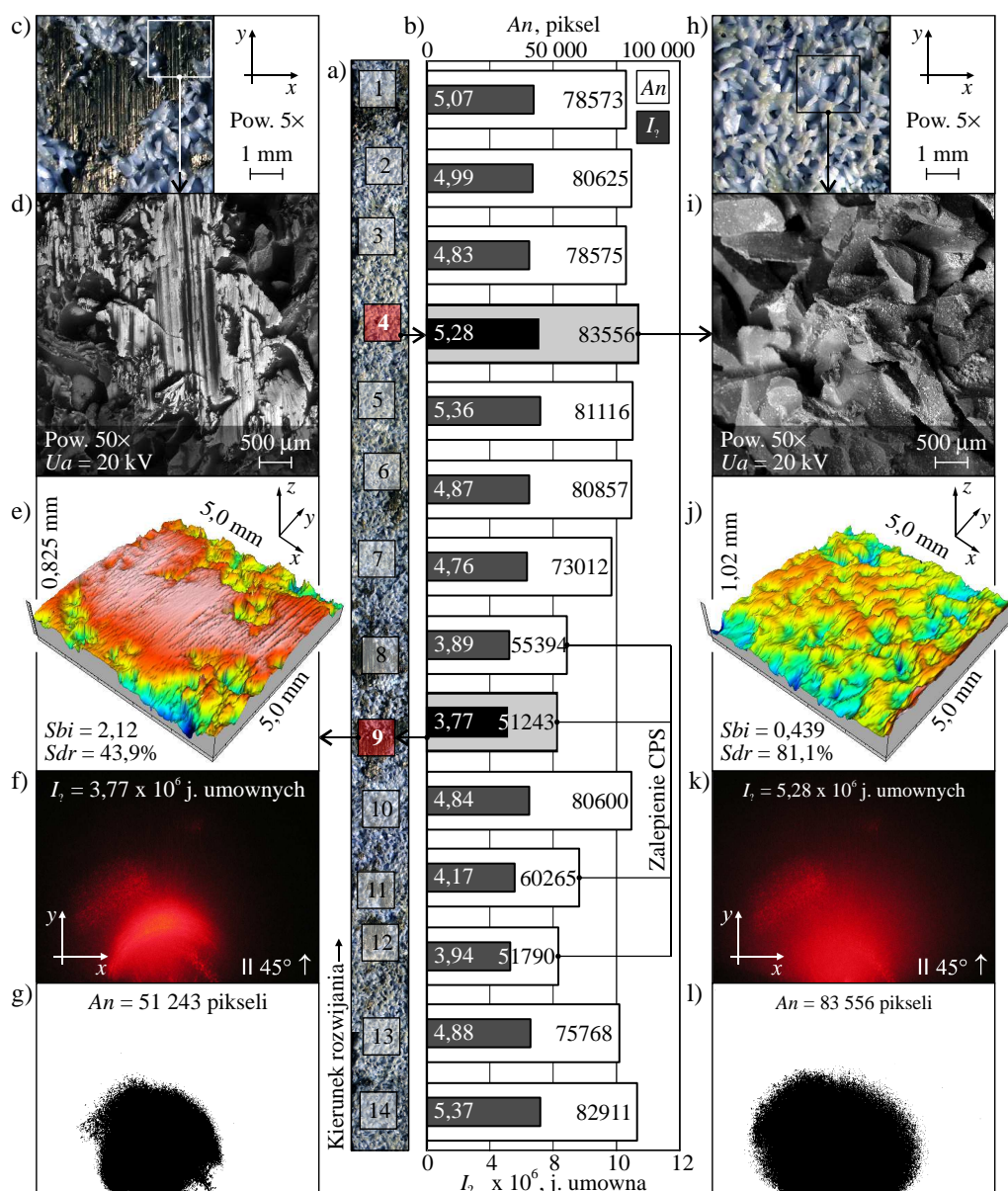


Rys. 32. Schemat stanowiska pomiarowego do rejestracji obrazów kąowego rozkładu natężenia rozproszonego światła odbitego od CPS

Rezultaty przeprowadzonych pomiarów (rys. 33) potwierdzają przydatność skaterometrii laserowej wspomaganą technikami przetwarzania i analizy obrazu do oceny stanu CPS. Ocena ta może dotyczyć zarówno struktury geometrycznej powierzchni ściernicy, jak i elementów powstałych na CPS, takich jak np. zalепienia wiórami materiału obrabianego. Jak wykazały przeprowadzone analizy, metoda skaterometrii laserowej pozwala na ich precyzyjną detekcję. Zlokalizowanie i rozpoznanie zalепień, a w następnej kolejności ich odpowiednia analiza na podstawie zarejestrowanego obrazu światła rozproszonego, umożliwi uzyskanie pełniejszej informacji o stanie badanej powierzchni. Cechy metody (szybki pomiar bezstykowy) powodują, że może ona w przyszłości zostać zastosowana w urządzeniach i systemach pomiarowych przeznaczonych do oceny narzędzi ściernych.

## Publikacje

1. **NADOLNY K., KAPŁONEK W.:** *Ocena stanu czynnej powierzchni ściernicy z wykorzystaniem skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu.* *Pomiary Automatyka Kontrola*, 56(2010)5, s. 491-494.
2. **KAPŁONEK W., NADOLNY K.:** *Zastosowanie skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu do oceny czynnej powierzchni ściernic z mikrokrystalicznego korundu spiekane go SG.* *Podstawy i technika obróbki ściernic*, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź, 2010, s. 153-164.



Rys. 33. Zestawienie wyników analiz zawierające makrofotografię CPS (a), wykres wartości  $An$  i  $I_{\Sigma}$  (b) oraz makrofotografie (c, h), obrazy mikroskopowe (d, i), mikrotopografie (e, j), obrazy skaterometryczne po zarejestrowaniu (f, k) i po segmentacji (g, l), dla obszaru nr 9 (c-g) i nr 4 (h-l)

- KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Medição da dispersão da luz do laser usada para impedir empastamento no rebolo*. Máquinas e Metais, 47(2011)544, p. 104-117.
- KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Skaterometryczna ocena ściernic po procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych materiałów trudno obrabialnych*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2011, s. 39-52.
- KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., NADOLNY K.: *Methodology of the assessment of the abrasive tool's active surface using laser scatterometry*. Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 36(2012)1, pp. 49-66.
- KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *The diagnostics of abrasive tools after internal cylindrical grinding of hard-to-cut materials by means of a laser technique using imaging and analysis of scattered light*. Arabian Journal for Science and Engineering, DOI 10.1007/s13369-012-0374-3.

## 4. Charakterystyka działalności naukowej

### 4.1. Syntetyczna charakterystyka dorobku naukowego

Ilościowy wykaz najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych			
Wykaz osiągnięć	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
Publikacji ogółem	12	97	109
Publikacje w czasopismach wyróżnionych w <i>Journal Citation Reports</i> <sup>®</sup> indeksowanych przez <i>Thomson Reuters</i> <sup>®</sup> <i>Web of Knowledge</i> <sup>®</sup>	1 ( <i>IF</i> = 0,459)	11 ( <i>IF</i> = 5,013)	12 ( <i>IF</i> = 5,472)
Cytowania według <i>Thomson Reuters</i> <sup>®</sup> <i>Web of Knowledge</i> <sup>®</sup>	13 (indeks Hirscha: 2)		
Cytowania według <i>Elsevier</i> <sup>®</sup> <i>Scopus</i> <sup>®</sup>	11 (indeks Hirscha: 2)		
Cytowania według <i>Google Scholar</i> <sup>®</sup>	64 (indeks Hirscha: 5)		
Autorstwo i redakcja monografii	–	3	3
Patenty krajowe	–	3	3
Zgłoszenia patentowe	1	9	10
Udział w konferencjach międzynarodowych / wygłoszone referaty	3 / 3	1 / 2	4 / 5
Udział w konferencjach krajowych / wygłoszone referaty	3 / 6	12 / 30	15 / 36
Zlecone prace badawcze	–	4	4
Niepublikowane opracowania naukowe	–	18	18
Międzynarodowe projekty badawcze	–	1	1
Projekty badawcze MNiSW	–	2	2
Zagraniczne staże naukowe	–	2	2
Nagrody i wyróżnienia	1	4	5

- Autor i współautor **109** publikacji naukowych w **języku polskim, angielskim i portugalskim**, opublikowanych w następujących czasopismach:
  - **Polska:**
    - *Advances in Manufacturing Science and Technology*,
    - *Archives of Civil and Mechanical Engineering*,
    - *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*,
    - *Central European Journal of Engineering*,
    - *Management and Production Engineering Review*,
    - *Materiały Ceramiczne*,
    - *Mechanik*,
    - *Optica Applicata*,
    - *Pomiary Automatyka Kontrola*,
    - *Przegląd Elektrotechniczny*,
    - *Przegląd Mechaniczny*.
  - **Arabia Saudyjska:**
    - *Arabian Journal for Science and Engineering*.
  - **Brazylia:**
    - *Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*,
    - *Máquinas e Metais*.
  - **Chiny:**
    - *Journal of Central South University of Technology*.
  - **Egipt:**
    - *Advances in Tribology*.
  - **Hiszpania:**
    - *Proceedings of the First Manufacturing Engineering Society International Conference*.
  - **Indie:**
    - *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*.
  - **Japonia:**
    - *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*.
  - **Kanada:**
    - *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*.
  - **Korea Południowa:**
    - *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*.
  - **Szwajcaria:**
    - *Materials Science Forum*.
  - **USA:**
    - *Machining Science and Technology*,
    - *Proceedings of the 19th International Conference on Systems Engineering - ICSENG 2008*.

### Liczba publikacji z podziałem ze względu na miejsce publikacji

Prace opublikowane w czasopiśmie naukowych i naukowo-technicznych wyróżnionych w *Journal Citation Reports*<sup>®</sup> indeksowanych przez *Thomson Reuters Web of Knowledge*<sup>®</sup> 12  
Sumaryczny *IF* = 5,472

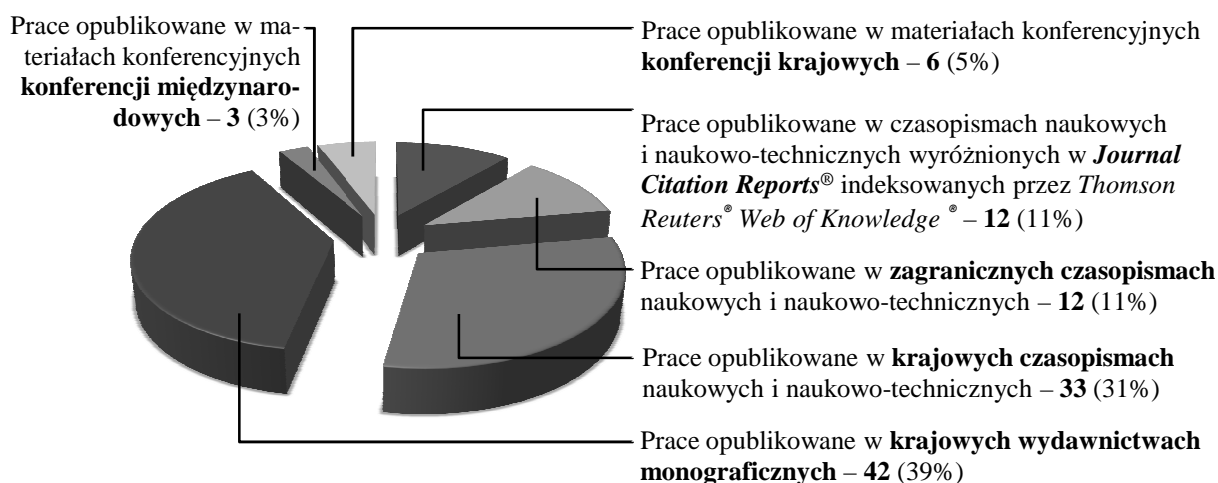
Prace opublikowane w **zagranicznych czasopiśmie** naukowych i naukowo-technicznych niewyróżnionych w *Journal Citation Reports*<sup>®</sup> i nieindeksowanych przez *Thomson Reuters Web of Knowledge*<sup>®</sup> 12

Prace opublikowane **krajowych czasopiśmie** naukowych i naukowo-technicznych niewyróżnionych w *Journal Citation Reports*<sup>®</sup> i nieindeksowanych przez *Thomson Reuters Web of Knowledge*<sup>®</sup> 33

Prace opublikowane w **krajowych wydawnictwach monograficznych** 42

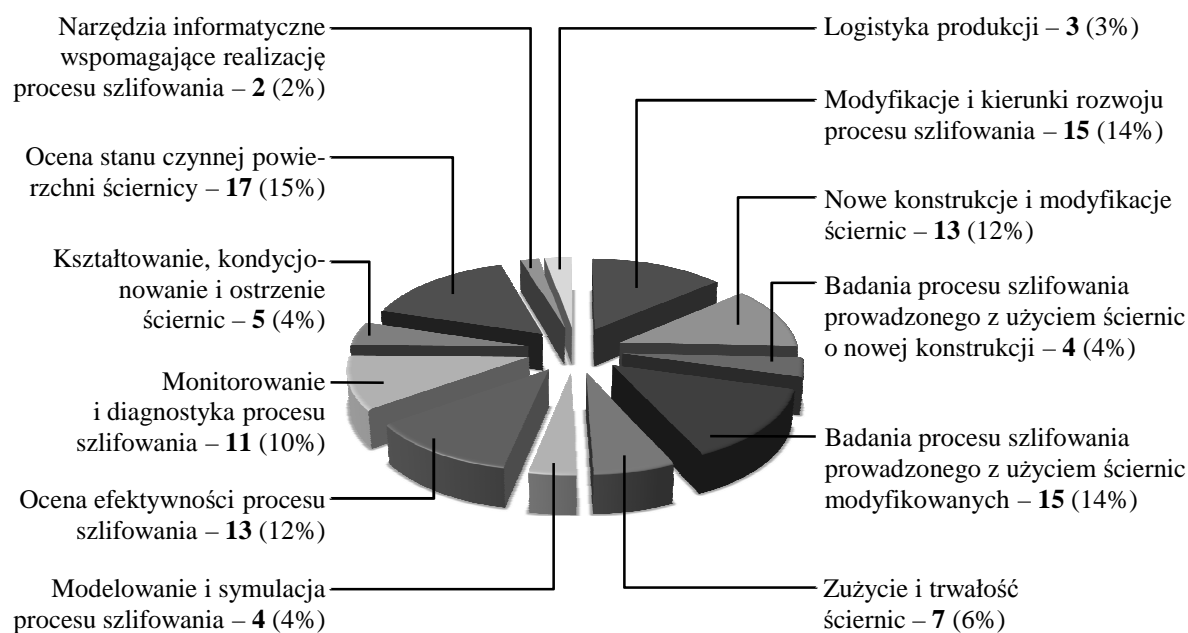
Prace opublikowane w materiałach konferencyjnych **konferencji międzynarodowych** 3

Prace opublikowane w materiałach konferencyjnych **konferencji krajowych** 6



### Liczba publikacji z podziałem na zakres tematyczny

Modyfikacje i kierunki rozwoju procesu szlifowania	15
Nowe konstrukcje i modyfikacje ściernic	13
Badania procesu szlifowania prowadzonego z użyciem ściernic o nowej konstrukcji	4
Badania procesu szlifowania prowadzonego z użyciem ściernic modyfikowanych	15
Zużycie i trwałość ściernic	7
Modelowanie i symulacja procesu szlifowania	4
Ocena efektywności procesu szlifowania	13
Monitorowanie i diagnostyka procesu szlifowania	11
Kształtowanie, kondycjonowanie i ostrzenie ściernic	5
Ocena stanu czynnej powierzchni ściernicy	17
Narzędzia informatyczne wspomagające realizację procesu szlifowania	2
Logistyka produkcji	3





#### 4.2. Wykaz prac opublikowanych w czasopismach wyróżnionych w *Journal Citation Reports*<sup>®</sup>

Lp.	Tytuł publikacji	Impact Factor
1.	STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., <b>NADOLNY K.</b> : <i>The effect of porous glass-ceramic materials</i> . <i>Optica Applicata</i> , 35(2005)4, s. 810-819.	0,459 (2005)
2.	HERMAN D., PLICHTA J., <b>NADOLNY K.</b> : <i>New ceramic abrasive tools for rough and finishing grinding in one pass</i> . <i>Materials Science Forum</i> , Vol. 526 (2006), s. 163-168.	0,399 (2005)
3.	SŁOWIŃSKI B., <b>NADOLNY K.</b> : <i>Effective Manufacturing Method for Automated Inside Diameter Grinding</i> . <i>Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing</i> , Vol. 1, No. 4 (2007), s. 472-480.	0,211 (2009)
4.	<b>NADOLNY K.</b> , KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., VALÍČEK J.: <i>Lasero-we pomiary topografii powierzchni narzędzi ściernych z zastosowaniem systemu pomiarowego CLI 2000</i> . <i>Przegląd Elektrotechniczny</i> , 87(2011)9a, s. 24-27.	0,244 (2010)
5.	<b>NADOLNY K.</b> , KAPŁONEK W.: <i>Design of a device for precision shaping of the grinding wheel macro- and microgeometry</i> . <i>Journal of Central South University of Technology</i> , 19(2012)1, pp. 135-143.	0,364 (2011)
6.	<b>NADOLNY K.</b> : <i>The effect of integrating the structural modifications of the grinding wheel upon the internal cylindrical grinding process</i> . <i>Archives of Civil and Mechanical Engineering</i> , 12(2012)1, pp. 60-67.	0,855 (2011)
7.	KAPŁONEK W., <b>NADOLNY K.</b> : <i>Methodology of assessment of the abrasive tools in grinding processes by optical method based on imaging and analysis of scattered light</i> . <i>Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering</i> , 36(2012)1, pp. 49-66.	0,188 (2011)
8.	SUTOWSKI P., <b>NADOLNY K.</b> , KAPŁONEK W.: <i>Monitoring of cylindrical grinding processes by use of a non-contact AE system</i> . <i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing</i> , 13(2012)10, pp. 1737-1743.	1,141 (2011)
9.	KAPŁONEK W., <b>NADOLNY K.</b> : <i>The diagnostics of abrasive tools after internal cylindrical grinding of hard-to-cut materials by means of a laser technique using imaging and analysis of scattered light</i> . <i>Arabian Journal for Science and Engineering</i> , DOI 10.1007/s13369-012-0374-3.	0,243 (2011)
10.	KAPŁONEK W., <b>NADOLNY K.</b> : <i>Assessment of the grinding wheel active surface condition using SEM and image analysis techniques</i> . <i>Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering</i> , (in press, article no. JBMSSE-566, submitted: 11.07.2011, accepted: 23.09.2011).	0,200 (2011)
11.	<b>NADOLNY K.</b> : <i>Microdiscontinuities of the grinding wheel and their effects on its durability during internal cylindrical grinding</i> . <i>Machining Science and Technology</i> , (in press, article no. LMST-2011-0082.R1, submitted: 18.06.2011, accepted: 16.08.2012).	0,804 (2011)
12.	<b>NADOLNY K.</b> : <i>A review on Single-Pass Grinding Processes</i> . <i>Journal of Central South University of Technology</i> , (in press, article no. e122427, submitted: 17.06.2012, accepted: 19.09.2012).	0,364 (2011)
Sumaryczny Impact Factor:		5,472

### 4.3. Wykaz publikacji w porządku chronologicznym

#### Publikacje przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

1. NADOLNY K.: *Modifications of Axial Internal Cylindrical Grinding process*. Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej Nr 33, Modern Techniques and Technologies, Koszalin 2003, pp. 237-246.
2. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Badania procesu szlifowania otworów ściernicą o strefowo zróżnicowanej charakterystyce*. Materiały XXVI Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Łódź, 2003, s. 153-158.
3. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Możliwości wykorzystania strefowo zróżnicowanych narzędzi ściernych z ziaren  $Al_2O_3$  oraz SG w procesie jednorzędowego szlifowania otworów*. Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej Nr 36, XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin-Sarbinowo, 2004, s. 319-324.
4. STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K.: *Ściernice wielkoporowe z regularnego azotku boru ze spoiwem ceramicznym domieszkowanym korundem sferycznym*. Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej Nr 36, XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin-Sarbinowo, 2004, s. 75-82.
5. NADOLNY K., BAŁASZ B.: *Modeling of zonal diversified structure grinding wheels surface*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 5(2005)4, pp. 77-84.
6. NADOLNY K.: *Wpływ wartości kąta nakroju stożkowego ściernicy o strefowo zróżnicowanej budowie na rezultaty procesu jednorzędowego szlifowania otworów*. Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, pod redakcją Lucjana Dąbrowskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005, s. 78-83.
7. NADOLNY K., HERMAN D., PLICHTA J.: *Nowa generacja ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie z ziarnami korundu spiekane (SG) do realizacji procesu jednorzędowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych*. Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, pod redakcją Lucjana Dąbrowskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005, s. 83-89.
8. STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K.: *Badania eksploatacyjne ściernic z regularnego azotku boru domieszkowanych korundem sferycznym*. Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, pod redakcją Lucjana Dąbrowskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005, s. 72-78.
9. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Jednorzędowy proces szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 25(2005)2, s. 31-40.
10. HERMAN D., PLICHTA J., NADOLNY K.: *New ceramic abrasive tools for rough and finishing grinding in one pass*. First Manufacturing Engineering Society International Conference, Calatayud, Spain, 19.25.09.2005, pp. 68.
11. STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K.: *The effect of porous glass-ceramic materials*. Optica Applicata, 35(2005)4, pp. 810-819.
12. NADOLNY K.: *Badania efektywności procesu jednorzędowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Rozprawa doktorska, Politechnika Koszalińska, 2006.

**Publikacje po uzyskaniu stopnia naukowego doktora**

13. NADOLNY K., HERMAN D., PLICHTA J.: *New generation of zonal diversified structure grinding wheels with microcrystalline aluminium oxide grains (SG) for single-pass internal grinding process*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 30(2006)1, pp. 5-12.
14. HERMAN D., PLICHTA J., NADOLNY K.: *New ceramic abrasive tools for rough and finishing grinding in one pass*. Materials Science Forum, Vol. 526 (2006), pp. 163-168.
15. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Ocena efektywności jednoprzęściowego procesu szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Materiały XXIX Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Gdańsk-Jurata, 2006, s. 181-184.
16. NADOLNY K., BAŁASZ B.: *Modelowanie i symulacja procesu jednoprzęściowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 26(2006)2, s. 67-76.
17. STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K., PLUTA J.: *Badanie efektywności szlifowania ściernicami CBN o podwyższonej porowatości z mikroziarnami korundu sferycznego*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 26(2006)2, s. 77-83.
18. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Comparative method of thermovision temperature measurement in single-pass internal cylindrical grinding*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 6(2006)4, pp. 65-72.
19. NADOLNY K.: *Kształtowanie właściwości skrawnych ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie do jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Mechanik, 80(2007)2, s. 99-105.
20. SŁOWIŃSKI B., NADOLNY K.: *Effective manufacturing method for automated inside diameter grinding*. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 1, No. 4 (2007), pp. 472-480.
21. STANIEWICZ-BRUDNIK B., NADOLNY K., PLICHTA J., SŁOWIK J.: *Badania ściernic z CBN domieszkowanych korundem sferycznym w procesie szlifowania Inconelu*. Przegląd Mechaniczny, 73(2007)12, s. 28-31.
22. NADOLNY K., PLICHTA S., PLICHTA J.: *Model powstawania naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotu obrobionego w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicą o strefowo zróżnicowanej budowie*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 27(2007)2, s. 25-32.
23. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Kierunki rozwoju jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 27(2007)2, s. 15-24.
24. PLICHTA J., NADOLNY K., SUTOWSKI P., MUSIAŁ W.: *Możliwości monitorowania jednoprzęściowego szlifowania otworów za pomocą sygnału emisji akustycznej (EA)*. Podstawy i technika obróbki ściernej, pod redakcją Kazimierza E. Oczosia i Jana Burka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 291-300.
25. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Koncepcja inteligentnego systemu narzędziowego do realizacji jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Podstawy i technika obróbki ściernej, pod redakcją Kazimierza E. Oczosia i Jana Burka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 203-208.
26. BUKOWIECKI M., NADOLNY K., PLICHTA J.: *Innowacyjna metoda chłodzenia wewnętrznego w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Podstawy i technika obróbki ściernej,

- pod redakcją Kazimierza E. Oczosia i Jana Burka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 271-278.
27. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Possibilities of development in the single-pass internal cylindrical grinding*. 19<sup>th</sup> International Conference on Systems Engineering – ICSENG 2008, Las Vegas, USA, August 19-21, pp. 230-235.
  28. NADOLNY K., PLICHTA J., HERMAN D., SŁOWIŃSKI B.: *Single-pass grinding – an effective manufacturing method for finishing*. 19<sup>th</sup> International Conference on Systems Engineering – ICSENG 2008, Las Vegas, USA, August 19-21, pp. 236-241.
  29. NADOLNY K.: *Klasyfikacja procesów szlifowania jednoprzęściowego*. *Mechanik*, 81(2008)5-6, s. 450-455.
  30. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Wpływ mikronieciągłości CPS na efektywność jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. *Wybrane Problemy Obróbki Ściernej*, pod redakcją Cz. Niżankowskiego, Politechnika Krakowska, Bochnia 2008, s. 109-118.
  31. NADOLNY K., BAŁASZ B., PLICHTA J.: *Wykorzystanie symulacji komputerowej do projektowania składanych narzędzi ściernych*. *Wybrane Problemy Obróbki Ściernej*, pod redakcją Cz. Niżankowskiego, Politechnika Krakowska, Bochnia 2008, s. 385-394.
  32. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Koncepcja inteligentnego systemu obróbki składanymi narzędziami ściernymi*. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, 28(2008)2, s. 37-42.
  33. NADOLNY K.: *Jednoprzęściowe procesy szlifowania*. W: *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*, s. 17-44, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
  34. PLICHTA J., NADOLNY K.: *Kierunki badań własnych nad rozwojem jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*, s. 51-54, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
  35. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Realizacja procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*, s. 91-134, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
  36. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Okres trwałości ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie*. W: *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*, s. 135-144, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
  37. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Efektywność procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*, s. 145-156, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
  38. NADOLNY K., PLICHTA J., BUKOWIECKI M.: *Możliwości poprawy warunków procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: *Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*, s. 157-174, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.

39. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Kierunki rozwoju jednoprzęściowego szlifowania otworów*. W: Jednoprzęściowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie, s. 231-236, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
40. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Mikronieciągłości czynnej powierzchni jako metoda wydłużenia okresu trwałości ściernic*. Mechanik, 82(2009)8-9, s. 701-706.
41. NADOLNY K.: *Aplikacja internetowa do doboru parametrów jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Współczesne problemy obróbki ściernej, pod redakcją J. Plichty, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 167, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, s. 407-414.
42. NADOLNY K.: *Synergiczne modyfikacje ściernic do procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów*. Współczesne problemy obróbki ściernej, pod redakcją J. Plichty, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 167, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, s. 203-214.
43. PLICHTA J., NADOLNY K.: *Budowa i zastosowanie hybrydowych, segmentowych narzędzi ściernych*. Współczesne problemy obróbki ściernej, pod redakcją J. Plichty, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 167, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, s. 87-96.
44. PARTYKA M., NADOLNY K.: *Benchmarking w procesie przygotowania produkcji nowego wyrobu*. Zarządzanie wiedzą a inne koncepcje zarządzania, pod redakcją E. Tabaszewskiej, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2009, s. 165-172.
45. WILCZYŃSKI D., NADOLNY K.: *Koncepcja modernizacji procesów logistycznych z wykorzystaniem zarządzania wiedzą na przykładzie przedsiębiorstwa usługowo-produkcyjnego*. Zarządzanie wiedzą a inne koncepcje zarządzania, pod redakcją E. Tabaszewskiej, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2009, s. 173-180.
46. OZGA P., NADOLNY K.: *Zastosowanie systemu kodów kreskowych do zarządzania zapasami produkcji w toku*. Modele inżynierii teleinformatyki, pod red. K. Bzdyry, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2009, s. 160-167.
47. NADOLNY K., SŁOWIŃSKI B.: *Retificação de desbaste e acabamento em passe único*. Máquinas e Metais, Vol. 45, No. 520, 2009, p., 8-9.
48. NADOLNY K.: *Oszacowanie dokładności kształtowania nakroju stożkowego na czynnej powierzchni ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie*. Pomiary Automatyka Kontrola, 56(2010)5, s. 499-502.
49. NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Analiza stanu czynnej powierzchni ściernicy z wykorzystaniem skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu*. Pomiary Automatyka Kontrola, 56(2010)5, s. 491-494.
50. SŁOWIŃSKI B., NADOLNY K.: *System approach to the intensification potential for machine-production processes*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 34(2010)1, pp. 45-57.
51. NADOLNY K., SŁOWIŃSKI B.: *Potential for increasing the effectiveness of automated production systems due to application of single-pass grinding*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 34(2010)2, pp. 19-30.

52. NADOLNY K.: *Pomiar zarysu osiowego czynnej powierzchni ściernicy z nakrojem stożkowym metodą pneumatyczną*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 145-152.
53. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Analiza warunków pracy ziaren ściernych na czynnej powierzchni ściernicy metodą szlifowania wgłębnego*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 165-176.
54. NADOLNY K., OKUPSKI T.: *Wpływ udziału objętościowego i mikrostruktury spoiwa szklano-krystalicznego na efektywność jednoprzęściowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w inconelu 600*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 279-288.
55. KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Zastosowanie skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu do oceny czynnej powierzchni ściernicy z mikrokrystalicznego korundu spiekane go SG*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 153-164.
56. SUTOWSKI P., NADOLNY K.: *Zastosowanie sygnału emisji akustycznej do oceny przebiegu procesu szlifowania otworów*. Podstawy i technika obróbki ściernicy, pod redakcją A. Gołąbczaka i B. Kruszyńskiego, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź 2010, s. 269-278.
57. SŁOWIŃSKI B., NADOLNY K.: *Metodologia para análise do potencial de otimização de processos*. Máquinas e Metais, Vol. 46, No. 536, 2010, p. 124-145.
58. NADOLNY K., PLICHTA B., BAŁASZ B.: *Application of computer modeling and simulation for designing of grinding wheels with zone-diversified structure*. Management and Production Engineering Review, 1(2010)4, pp. 38-45.
59. WOJTEWICZ M., SIENICKI W., NADOLNY K.: *Ściernice impregnowane siarką do szlifowania otworów w materiałach trudnoobrabialnych*. Materiały VII Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki Wydziału Mechanicznego oraz III Ogólnopolskiej Konferencji Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych pod redakcją M. Fligła i L. Kukielki, Koszalin 2010, s. 217-224.
60. NADOLNY K., KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ.: *Laserowe pomiary topografii powierzchni narzędzi ściernych z zastosowaniem systemu pomiarowego CLI 2000*. Materiały Konferencyjne IX Szkoły-Konferencji "Metrologia Wspomagana Komputerowo", s. 88-88, Wojskowa Akademia Techniczna, r. 2011.
61. KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Medição da dispersão da luz do laser usada para impedir empastamento no rebolo*. Máquinas e Metais, Vol. 47, No. 544, May 2011, p. 104-117.
62. KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., NADOLNY K.: *Dispersão da luz do laser na avaliação da rugosidade superficial de microacabamentos*. Máquinas e Metais, Vol. 47, No. 548, September 2011, p. 96-109.
63. NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Web application used for multi-criterion optimized selection of most important parameters of single-pass internal cylindrical grinding process*. Measurement Automation and Monitoring, 57(2011)5, pp. 528-530.
64. KAPŁONEK W., NADOLNY K., SUTOWSKI P.: *Ocena stanu czynnej powierzchni ściernicy z wykorzystaniem elektronicznej mikroskopii skaningowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 29-38.

65. KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Skaterometryczna ocena ściernic po procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych materiałów trudno obrabialnych*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 39-52.
66. NADOLNY K., KAPŁONEK W., WOJTEWICZ M., SIENICKI W.: *Ocena wpływu nasiarczania ściernicy na jej zdolność skrawną w procesie szlifowania otworów ze stopu Titanium Grade 2<sup>®</sup>*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 53-68.
67. NADOLNY K.: *Analiza zużycia czynnej powierzchni ściernicy z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekane w procesie szlifowania wgłębnego walcowych powierzchni wewnętrznych*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy, pod redakcją A. Barylskiego, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011, s. 69-80.
68. NADOLNY K., SŁOWIŃSKI B.: *The effects of wear upon the axial profile of a grinding wheel in the construction of innovative grinding wheels for internal cylindrical grinding*. Advances in Tribology, Volume 2011, Article ID 516202, 11 pages, doi:10.1155/2011/516202.
69. NADOLNY K., KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., VALIČEK J.: *Laserowe pomiary topografii powierzchni narzędzi ściernych z zastosowaniem systemu pomiarowego CLI 2000*. Przegląd Elektrotechniczny, 87(2011)9a, s. 24-27.
70. NADOLNY K.: *Durability of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grinding wheels with zone-diversified structure in single-pass internal cylindrical grinding*. Advances in Manufacturing Science and Technology, 35(2011)3, pp. 39-53.
71. NADOLNY K., KAPŁONEK W., VALIČEK J.: *Pneumatic method used for fast non-contact measurements of axial contour of grinding wheel active surface*. Measurement Automation and Monitoring, 57(2011)9, pp. 1071-1074.
72. KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., NADOLNY K., PAWLIKOWSKI R.: *Pomiary i analiza topografii powierzchni wzorców kontrolnych typu C przeznaczonych do sprawdzania profilometrów stykowych*. Pomiary Automatyka Kontrola 57(2011)11, s. 1404-1408.
73. KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., NADOLNY K., TOMKOWSKI R.: *Zastosowanie konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej do oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych*. Pomiary Automatyka Kontrola 57(2011)11, s. 1409-1413.
74. WOJTEWICZ M., SIENICKI W., NADOLNY K.: *Możliwości modyfikacji narzędzi ściernych poprzez wprowadzenie pierwiastków niemetalicznych w procesie impregnacji*. Materiały VIII Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki Wydziału Mechanicznego oraz IV Ogólnopolskiej Konferencji Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych pod redakcją M. Fligla i L. Kukielki, Koszalin 2011, s. 339-350.
75. NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Design of a device for precision shaping of the grinding wheel macro- and microgeometry*. Journal of Central South University of Technology, 19(2012)1, pp. 135-143.
76. NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Confocal laser scanning microscopy for characterization of surface microdiscontinuities of vitrified bonded abrasive tools*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1(2012)1, pp. 14-29.
77. NADOLNY K.: *The method of assessment of the grinding wheel cutting ability in the plunge grinding*. Central European Journal of Engineering, 2(2012)3, pp. 399-409.

78. NADOLNY K.: *The effect of integrating the structural modifications of the grinding wheel upon the internal cylindrical grinding process*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 12(2012)1, pp. 60-67.
79. KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ., NADOLNY K.: *Methodology of the assessment of the abrasive tool's active surface using laser scatterometry*. Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 36(2012)1, pp. 49-66.
80. KAPŁONEK W., NADOLNY K., TOMKOWSKI R., VALÍČEK J.: *The high-accuracy surface topography measurements of abrasive tools using a 3D optical profiling system*. Measurement Automation and Monitoring, 58(2012)5, pp. 443-447.
81. NADOLNY K.: *Analityczna metoda porównania warunków pracy ziaren ściernych w różnych odmianach kinematycznych procesu szlifowania otworów*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 265-276.
82. NADOLNY K.: *Ocena efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 415-428.
83. NADOLNY K., SUTOWSKI P., HERMAN D.: *Badania właściwości mechanicznych nowej generacji ziaren ściernych z azotko-tlenku aluminium AION z zastosowaniem sygnału emisji akustycznej*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 375-390.
84. NADOLNY K., SIENICKI W., WOJTEWICZ M.: *Wpływ impregnacji ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi na intensywność zalepiania jej czynnej powierzchni*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 55-70.
85. KAPŁONEK W., NADOLNY K., VALÍČEK J., ZELENÁK M.: *Pomiary i analizy powierzchni narzędzi ściernych z wykorzystaniem nowoczesnych technik mikroskopii konfokalnej*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 43-54.
86. KAPŁONEK W., NADOLNY K. : *Nowe rozwiązania w dziedzinie mikroskopowych pomiarów skaningowych do zastosowań w diagnostyce narzędzi ściernych*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej, pod redakcją P. Cichosza, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, s. 359-368.
87. NADOLNY K.: *Analityczna metoda porównania warunków pracy ziaren ściernych w różnych odmianach kinematycznych procesu szlifowania otworów*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).
88. NADOLNY K.: *Ocena efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).
89. NADOLNY K., SUTOWSKI P., HERMAN D.: *Badania właściwości mechanicznych nowej generacji ziaren ściernych z azotko-tlenku aluminium AION z zastosowaniem sygnału emisji akustycznej*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).
90. NADOLNY K., SIENICKI W., WOJTEWICZ M.: *Wpływ impregnacji ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi na intensywność zalepiania jej czynnej powierzchni*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).



91. KAPŁONEK W., NADOLNY K., VALÍČEK J., ZELENÁK M.: *Pomiary i analizy powierzchni narzędzi ściernych z wykorzystaniem nowoczesnych technik mikroskopii konfokalnej*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).
92. KAPŁONEK W., NADOLNY K. : *Nowe rozwiązania w dziedzinie mikroskopowych pomiarów skaningowych do zastosowań w diagnostyce narzędzi ściernych*. Mechanik, 85(2012)8-9, (publikacja na CD).
93. NADOLNY K.: *Nowa generacja ziaren ściernych z azotko-tlenku glinu (AlON) zwiększająca efektywność szlifowania*. Mechanik, 85(2012)8-9, s. 670-677.
94. KAPŁONEK W., NADOLNY K., VALÍČEK J., ZELENÁK M.: *A non-contact laser method based on the imaging and analysis of scattered light used for assessment of the surface imperfections*. Measurement Automation and Monitoring, 58(2012)6, pp. 554-558.
95. SUTOWSKI P., NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Monitoring of cylindrical grinding processes by use of a non-contact AE system*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(2012)10, pp. 1737-1743.
96. OKUPSKI T., HERMAN D., WALKOWIAK W., NADOLNY K.: *Wpływ fazy spinelowej na wybrane właściwości cieplne tworzywa szkło-krystalicznego z układu ZAS*. Materiały Ceramiczne, 64(2012)1, s. 71-77.
97. NADOLNY K.: *Wytwarzanie, właściwości i zastosowanie ziaren ściernych z mikro- i submikrokrystalicznego korundu spiekane*. Mechanik. 85(2012)10, s. 850-857.
98. NADOLNY K.: *Aktualny stan światowego rynku ścierniw i wyrobów ściernych*. Mechanik. 85(2012)11, s. 949-951.
99. KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *The diagnostics of abrasive tools after internal cylindrical grinding of hard-to-cut materials by means of a laser technique using imaging and analysis of scattered light*. Arabian Journal for Science and Engineering, DOI 10.1007/s13369-012-0374-3.
100. NADOLNY K.: *Ocena warunków pracy ściernic w procesie szlifowania materiałów trudno skrawalnych*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, s. 36-58, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
101. NADOLNY K., KAPŁONEK W.: *Metody oceny stanu czynnej powierzchni ściernic w procesie szlifowania materiałów trudno skrawalnych*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, s. 59-81, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
102. PLICHTA J., NADOLNY K., SUTOWSKI P., SIENICKI W., WOJTEWICZ M.: *Modyfikacje ściernic konwencjonalnych przeznaczonych do szlifowania materiałów trudno skrawalnych*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, s. 82-102, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
103. PLICHTA J., NADOLNY K., HERMAN D., OKUPSKI T., BARAN J., RADOWSKI M.: *Innowacyjne narzędzia ściernic do szlifowania materiałów trudno skrawalnych*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, s. 103-131, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
104. NADOLNY K., PLICHTA J., KAPŁONEK W., RADOWSKI M.: *Proces szlifowania otworów w materiałach trudno skrawalnych*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno

skrawalnych, s. 132-177, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.

105. PLICHTA J., NADOLNY K.: *Regeneracja czynnej powierzchni ściernicy wysokociśnieniową strugą cieczy*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, s. 256-273, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
106. SUTOWSKI P., MUSIAŁ W., NADOLNY K.: *Możliwości monitorowania, diagnostyki i sterowania procesami szlifowania materiałów trudno skrawalnych*. W: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, s. 274-306, Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
107. KAPŁONEK W., NADOLNY K.: *Assessment of the grinding wheel active surface condition using SEM and image analysis techniques*. Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, (in press, article no. JBSMSE-566, submitted: 11.07.2011, accepted: 23.09.2011).
108. NADOLNY K.: *Microdiscontinuities of the grinding wheel and their effects on its durability during internal cylindrical grinding*. Machining Science and Technology, (in press, article no. LMST-2011-0082.R1, submitted: 18.06.2011, accepted: 16.08.2012).
109. NADOLNY K.: *A review on Single-Pass Grinding Processes*. Journal of Central South University of Technology, (in press, article no. e122427, submitted: 17.06.2012, accepted: 19.09.2012).

#### 4.4. Autorstwo i redakcja monografii

1. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Jednoprześciowe szlifowanie otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 158, Praca zbiorowa pod redakcją K. Nadolnego i J. Plichty, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
2. PLICHTA J., NADOLNY K., MUSIAŁ W., SUTOWSKI P.: *Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych*. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 225, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.
3. NADOLNY K.: *Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekane w procesach szlifowania otworów*. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 227, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012.

#### 4.5. Recenzowanie prac naukowych

- **Recenzent międzynarodowych czasopism** wyróżnionych w *Journal Citation Reports*<sup>®</sup> i indeksowanych w *Thomson Reuters*<sup>®</sup> *Web of Knowledge*<sup>®</sup>:
  - *Journal of Mechanical Science and Technology*  
(wydawany przez *Korean Society of Mechanical Engineers* i *Springer*, IF = 0,448);
  - *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*  
(wydawany przez *Brazilian Society of Mechanical Sciences*, IF = 0,200).

#### 4.6. Praca w wydawnictwach naukowych

- Członek kolegium redakcyjnego (*Editorial Board*) międzynarodowego czasopisma naukowego pn.: *Advanced Research in Engineering Science*, publikującego artykuły naukowe w formule *Open Access* ([www.aresjournal.org](http://www.aresjournal.org)).

## 4.7. Patenty i zgłoszenia patentowe

### Wykaz patentów krajowych nadanych przez Urząd Patentowy RP

1. HERMAN D., PLICHTA J., NADOLNY K.: *Ceramiczne narzędzie ścierne do jednoprzęściowego szlifowania powierzchni walcowych i sposób jego wytwarzania*. Patent krajowy nr 204902 (decyzja UP RP z dnia 10.09.2009 r.).
2. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Narzędzie ścierne składane z chłodzeniem odśrodkowym i ściernica do tego narzędzia*. Patent krajowy nr 209013 (decyzja UP RP z dnia 23.02.2011 r.).
3. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Narzędzie ścierne składane z chłodzeniem odśrodkowym i element tego narzędzia*. Patent krajowy nr 209014 (decyzja UP RP z dnia 23.02.2011 r.).

### Wykaz zgłoszeń patentów krajowych do Urzędu Patentowego RP

1. HERMAN D., PLICHTA J., NADOLNY K.: *Ceramiczne narzędzie ścierne do jednoprzęściowego szlifowania powierzchni walcowych i sposób jego wytwarzania*. Zgłoszenie patentowe nr P. 376432 z 02.08.2005 r.
2. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Narzędzie ścierne składane z chłodzeniem odśrodkowym i ściernica do tego narzędzia*. Zgłoszenie patentowe nr P. 383586, 2007 r.
3. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Narzędzie ścierne składane z chłodzeniem odśrodkowym i element tego narzędzia*. Zgłoszenie patentowe nr P. 383587, 2007 r.
4. PLICHTA J., NADOLNY K.: *Sposób pomiaru temperatury w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 387787 z 14.04.2009 r.
5. NADOLNY K.: *Przyrząd do kształtowania nakroju stożkowego na powierzchni ściernicy w zakresie małych wartości kątowych*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 388765 z 10.08.2009 r.
6. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Przyrząd do kształtowania makro- i mikrogeometrii powierzchni ściernicy*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 388766 z 10.08.2009 r.
7. HERMAN D., WALKOWIAK W., OKUPSKI T., NADOLNY K.: *Sposób wytwarzania ceramicznych narzędzi ściernych*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 393462 z 29.12.2010 r.
8. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Sposób badania zdolności skrawnej ściernicy*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 395409 z 22.06.2011 r.
9. SIENICKI W., WOJTEWICZ M., NADOLNY K.: *Sposób modyfikacji ceramicznych narzędzi ściernych przez impregnację*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 395441 z 27.06.2011 r.
10. NADOLNY K., PLICHTA J.: *Próbka pomiarowa do badania zużycia ziaren ściernych lub spoiwa*. Zgłoszenie patentowe do UP RP nr P. 398237 z 27.02.2012 r.

#### 4.8. Realizacja międzynarodowych projektów badawczych

Lp.	Tytuł grantu	Okres realizacji	Charakter udziału
1.	Czech-Polish project No. MEB 051021 (CR) 8071/2010 (RP) <i>Measurement and analysis of surfaces topography created by progressive technologies and cold rolling sheet from point of view of classical materials and nanomaterials and their mechanism of establishment</i>	2010-2011	Wykonawca

#### 4.9. Realizacja projektów badawczych MNiSW

Lp.	Tytuł grantu	Okres realizacji	Charakter udziału
1.	Projekt Badawczy Własny MNiSW nr 4 T07D 036 29 <i>Narzędzia ściernie z tlenku glinu o funkcjonalnym gradiencie strukturalnym w zastosowaniach do jednoprzęściowego szlifowania powierzchni wewnętrznych walcowych</i>	2006-2008	Wykonawca
2.	Projekt Badawczy Własny MNiSW nr N N503 214837 <i>Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudnoobrabialnych z zastosowaniem innowacyjnych ściernic, systemów diagnostyki i regeneracji ich czynnych powierzchni oraz zintegrowanych systemów sterowania</i>	2009-2011	Wykonawca

#### 4.10. Uczestnictwo w międzynarodowych konferencjach naukowych

Lp.	Nazwa i miejsce konferencji	Wykaz referatów
1.	VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa Nowoczesne Techniki i Technologie, Koszalin, 8-9.05.2003 r.	NADOLNY K.: <i>Modyfikacje procesu szlifowania wzdłużnego otworów.</i>
2.	7 <sup>th</sup> Seminar on Porous Glasses and Special Glasses, Szklarska Poręba, 10-14.09.2005	STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K.: <i>The effect of porous glass-ceramic materials.</i>
3.	First Manufacturing Engineering Society International Conference, Calatayud, Spain, 19-25.09.2005	HERMAN D., PLICHTA J., NADOLNY K.: <i>New ceramic abrasive tools for rough and finishing grinding in one pass.</i>
4.	19 <sup>th</sup> International Conference On Systems Engineering – ICSENG 2008, Las Vegas, USA, August 19-21, 2008	NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Possibilities of development in the single-pass internal cylindrical grinding.</i> NADOLNY K., PLICHTA J., HERMAN D., SŁOWIŃSKI B.: <i>Single-pass grinding – an effective manufacturing method for finishing.</i>

#### 4.11. Uczestnictwo w krajowych konferencjach naukowych

Lp.	Nazwa i miejsce konferencji	Wykaz referatów
1.	XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź-Spała, 9-12.09.2003 r.	NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Badania procesu szlifowania otworów ściernicą o strefowo zróżnicowanej charakterystyce.</i>
2.	XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin-Sarbinowo, 19-22.09.2004 r.	NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Możliwości wykorzystania strefowo zróżnicowanych narzędzi ściernych z ziaren <math>Al_2O_3</math> oraz SG w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów.</i> STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K.: <i>Ściernice wielkoporowe z regularnego azotku boru ze spoiwem ceramicznym domieszkowanym korundem sferycznym.</i>
3.	XXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Warszawa-Mszczonów, 8-10.09.2005 r.	NADOLNY K.: <i>Wpływ wartości kąta nakroju stożkowego ściernicy o strefowo zróżnicowanej budowie na rezultaty procesu jednoprzęściowego procesu szlifowania otworów.</i> NADOLNY K., HERMAN D., PLICHTA J.: <i>Nowa generacja ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie z ziarnami korundu spiekane (SG) do realizacji procesu jednoprzęściowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych.</i> STANIEWICZ-BRUDNIK B., PLICHTA J., NADOLNY K.: <i>Badania eksploatacyjne ściernic z regularnego azotku boru domieszkowanych korundem sferycznym.</i>
4.	XXIX Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Gdańsk-Jurata, 6-8.09.2006 r.	NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Ocena efektywności jednoprzęściowego procesu szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie.</i>
5.	XXX Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Rzeszów-Nowy Dwór, 12-14.09.2007 r.	PLICHTA J., NADOLNY K., SUTOWSKI P., MUSIAŁ W.: <i>Możliwości monitorowania jednoprzęściowego szlifowania otworów za pomocą sygnału emisji akustycznej (EA).</i> NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Koncepcja inteligentnego systemu narzędziowego do realizacji jednoprzęściowego szlifowania otworów.</i> BUKOWIECKI M., NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Innowacyjna metoda chłodzenia wewnętrznego w procesie jednoprzęściowego szlifowania otworów.</i>
6.	XXXI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Kraków-Bochnia, 10-12.09.2008 r.	NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Wpływ mikronieciągłości CPS na efektywność jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie.</i> NADOLNY K., BAŁASZ B., PLICHTA J.: <i>Wykorzystanie symulacji komputerowej do projektowania składanych narzędzi ściernych.</i>

7. VI Krajowa Konferencja Studentów i Młodych Pracowników Nauki "XXI wiek erą elektroniki i teleinformatyki", Darłowo, 27-29.05.2009 r.	OZGA P., NADOLNY K.: <i>Zastosowanie systemu kodów kreskowych do zarządzania zapasami produkcji w toku.</i>
8. XXXII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin-Darłowo Wschodnie, 02-04.09.2009 r.	PLICHTA J., NADOLNY K.: <i>Budowa i zastosowanie hybrydowych, segmentowych narzędzi ściernych.</i> NADOLNY K.: <i>Synergiczne modyfikacje ściernic do procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów.</i> NADOLNY K.: <i>Aplikacja internetowa do doboru parametrów jednoprzęściowego szlifowania otworów.</i>
9. V Ogólnopolska Konferencja Kół Naukowych z cyklu „Nowoczesne koncepcje zarządzania” nt. „Zarządzanie wiedzą a inne koncepcje. Integracja i dezintegracja”, Sosnowka Górna koło Karpacza, 22-24.10.2009 r.	PARTYKA M., NADOLNY K.: <i>Benchmarking w procesie przygotowania produkcji nowego wyrobu.</i> WILCZYŃSKI D., NADOLNY K.: <i>Koncepcja modernizacji procesów logistycznych z wykorzystaniem zarządzania wiedzą na przykładzie przedsiębiorstwa usługowo-produkcyjnego.</i>
10. VII Konferencja Studentów i Młodych Pracowników Nauki Wydziału Mechanicznego oraz III Ogólnopolska Konferencja Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych, Koszalin, 11.05.2010 r.	WOJTEWICZ M., SIENICKI W., NADOLNY K.: <i>Ściernice impregnowane siarką do szlifowania otworów w materiałach trudnoobrabialnych.</i>
11. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź, 08-10.09.2010 r.	NADOLNY K.: <i>Pomiar zarysu osiowego czynnej powierzchni ściernicy z nakrojem stożkowym metodą pneumatyczną.</i> NADOLNY K., PLICHTA J.: <i>Analiza warunków pracy ziaren ściernych na czynnej powierzchni ściernicy metodą szlifowania w głębnego.</i> NADOLNY K., OKUPSKI T.: <i>Wpływ udziału objętościowego i mikrostruktury spoiwa szklanokrystalicznego na efektywność jednoprzęściowego szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w Inconel'u 600.</i> KAPŁONEK W., NADOLNY K.: <i>Zastosowanie skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu do oceny czynnej powierzchni ściernic z mikrokryształicznego korundu spiekanego SG.</i> SUTOWSKI P., NADOLNY K.: <i>Zastosowanie sygnału emisji akustycznej do oceny przebiegu procesu szlifowania otworów.</i>
12. IX Szkoła-Konferencja „Metrologia Wspomagana Komputerowo” MWK 2011, Waplewo k/Olsztyńka, 24-27.05.2011 r.	NADOLNY K., KAPŁONEK W., ŁUKIANOWICZ CZ.: <i>Laserowe pomiary topografii powierzchni narzędzi ściernych z zastosowaniem systemu pomiarowego CLI 2000.</i>

---

13. XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Gdańsk-Jelitkowo, 07-09.09.2011 r.	<p>NADOLNY K.: <i>Analiza zużycia czynnej powierzchni ściernicy z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesie szlifowania w głębnych walcowych powierzchni wewnętrznych.</i></p> <p>NADOLNY K., KAPŁONEK W., WOJTEWICZ M., SIENICKI W.: <i>Ocena wpływu nasiarczania ściernicy na jej zdolność skrawną w procesie szlifowania otworów ze stopu Titanium Grade 2®.</i></p> <p>KAPŁONEK W., NADOLNY K.: <i>Skaterometryczna ocena ściernic po procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych materiałów trudno obrabialnych.</i></p> <p>KAPŁONEK W., NADOLNY K., SUTOWSKI P.: <i>Ocena stanu czynnej powierzchni ściernicy z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu.</i></p>
14. VIII Konferencja Polskiego Towarzystwa Ceramicznego, Zakopane, 22-25.09.2011 r.	<p>OKUPSKI T., HERMAN D., NADOLNY K., WALKOWIAK W.: <i>Wpływ fazy spinelowej na wybrane właściwości cieplne tworzyw szklanokrystalicznych z układu ZAS.</i></p>
15. XXXV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Wrocław-Lądek Zdrój, 19-21.09.2012 r.	<p>NADOLNY K.: <i>Analityczna metoda porównania warunków pracy ziaren ściernych w różnych odmianach kinematycznych procesu szlifowania otworów.</i></p> <p>NADOLNY K.: <i>Ocena efektywności procesu szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego.</i></p> <p>NADOLNY K., SUTOWSKI P., HERMAN D.: <i>Badania właściwości mechanicznych nowej generacji ziaren ściernych z azotko-tlenku aluminium AlON z zastosowaniem sygnału emisji akustycznej.</i></p> <p>NADOLNY K., SIENICKI W., WOJTEWICZ M.: <i>Wpływ impregnacji ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi na intensywność zalepiania jej czynnej powierzchni.</i></p> <p>KAPŁONEK W., NADOLNY K., VALÍČEK J., ZELENÁK M.: <i>Pomiary i analizy powierzchni narzędzi ściernych z wykorzystaniem nowoczesnych technik mikroskopii konfokalnej.</i></p> <p>KAPŁONEK W., NADOLNY K.: <i>Nowe rozwiązania w dziedzinie mikroskopowych pomiarów skaningowych do zastosowań w diagnostyce narzędzi ściernych.</i></p>

---

#### 4.12. Zlecone prace badawcze

Lp.	Przedmiot zlecenia	Zleceniodawca	Data wykonania
1.	Badania eksploatacyjne ściernic z CBN domieszkowanych korundem sferycznym w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w stopie INCONEL <sup>®</sup> alloy 600 i Titanium Grade 2 <sup>®</sup> .	Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków	Lipiec 2006
2.	Badania eksploatacyjne ściernic z CBN domieszkowanych korundem sferycznym w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w stopie INCONEL <sup>®</sup> alloy 600.	Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków	Marzec 2007
3.	Badania eksploatacyjne ściernic z CBN domieszkowanych korundem sferycznym w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w stopie INCONEL <sup>®</sup> alloy 600 i INCOLOY <sup>®</sup> alloy 800HT <sup>®</sup> .	Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków	Lipiec 2007
4.	Badania eksploatacyjne modyfikowanych ściernic z ziarnami diamentowymi w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w stopie Titanium Grade 2 <sup>®</sup> .	Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków	Czerwiec 2010

#### 4.13. Stypendia naukowe

- W latach 2005-2006 stypendysta projektu „*System stypendiów doktoranckich wspierających rozwiązania innowacyjne gospodarki regionu*” realizowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego (75%) oraz środków budżetu państwa (25%), w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego.
- W latach 2010-2011 – **stypendium habilitacyjne** Politechniki Koszalińskiej.

#### 4.14. Zagraniczne staże naukowe

- 11-17.04.2011 – tygodniowy staż naukowy w **VSB-Technical University of Ostrava**, Czechy (Faculty of Mining and Geology) w ramach Czesko-Polskiego projektu badawczego nr: MEB 051021 (CR) i 8071/2010 (RP), pt.: „*Measurement and analysis of surfaces topography created by progressive technologies and cold rolling sheet from point of view of classical materials and nanomaterials and their mechanism of establishment*”.
- 22-26.10.2012 – tygodniowy staż naukowy w **Technical University of Košice**, Słowacja (Department of Manufacturing Management, Presov) dotyczący kształtowania czynnych powierzchni ściernic ceramicznych wysokociśnieniową strugą wodną i wodnościerną.



#### 4.15. Opieka nad doktorantami

Uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej z dnia 4 września 2012 r. powołany do pełnienia funkcji **promotora pomocniczego** w przewodzie doktorskim mgr. inż. Michała Radowskiego na temat: „*Badania zintegrowanej obróbki otworów z zastosowaniem szlifowania i nagniatania dynamicznego w aspekcie struktury geometrycznej powierzchni obrobionej*”.

#### 4.16. Współpraca z przemysłem

- Współpraca z **Instytutem Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie**, w zakresie badań dotyczących wpływu domieszkowania korundem sferycznym ściernic z ziarnami CBN i ziarnami diamentowymi, na rezultaty procesu szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych w materiałach trudno skrawalnych, takich jak INCONEL<sup>®</sup>, INCOLOY<sup>®</sup> i stopy tytanu – od 2006 roku.
- Współpraca z Zakładem Wytwarzania Artykułów Ściernych **Andre Abrasive Articles** Robert Andre w Kole w zakresie możliwości wdrożenia modernizacji spoiw ceramicznych przeznaczonych do ściernic z ziarnami na bazie Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – od 2010 roku.

#### 4.17. Uzyskane nagrody i wyróżnienia

- 21.03.2006 – Wyróżniona uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej **rozprawa doktorska** pt.: „*Badania efektywności procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*”.
- 09.09.2010 – Nagroda przyznana przez Komitet Naukowy XXXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej „*Za wyróżniające się referaty i ich prezentacje na XXXIII Naukowej Szkole Obróbki Ściernej w Łodzi*”.
- 11.10.2011 – Nagroda Rektora Politechniki Koszalińskiej: **nagroda indywidualna III stopnia za dorobek naukowy** w latach 2008-2010.
- 19.05.2012 – Nagroda zespołowa I stopnia Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej w Koszalinie: „*Za nowe rozwiązania w dziedzinie techniki w roku 2011*” za pracę na temat: „*Innowacyjne narzędzia ściernic do szlifowania materiałów trudnoskrawalnych*”. Skład zespołu: prof. dr hab. inż. Jarosław Plichta, dr inż. Krzysztof Nadolny, dr inż. Wojciech Musiał, dr inż. Paweł Sutowski.
- 20.09.2012 – Nagroda **za znaczący wkład w rozwój obróbki ścierniej** oraz aktywne uczestnictwo w obradach Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej. Przyznane przez Komitet Naukowy XXXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Wrocław 2012 r.

## 5. Charakterystyka działalności dydaktycznej

### 5.1. Prowadzone kursy i formy dydaktyczne

Lp.	Nazwa kursu	Forma zajęć
1.	Grafika komputerowa	wykład, ćwiczenia
2.	Prezentacje multimedialne	laboratorium
3.	Podstawy informatyki	laboratorium
4.	Komputerowe wspomaganie projektowania	laboratorium
5.	Komputerowe wspomaganie wytwarzania	laboratorium
6.	Zarządzanie jakością	laboratorium
7.	Praca przejściowa I	projekt
8.	Praca przejściowa II	projekt
9.	Modelowanie maszyn	projekt
10.	Logistyka gospodarcza	wykład, laboratorium, projekt
11.	Logistyka w systemach rozproszonych	wykład, projekt
12.	Inżynieria produkcji	wykład, laboratorium, projekt
13.	Logistyka produkcji	wykład, laboratorium
14.	Pracownia specjalnościowa	projekt
15.	Przedmiot profilu dyplomowania	wykład
16.	Seminarium dyplomowe	projekt
17.	Innowacje i postęp techniczny	laboratorium
18.	Logistyka w Przedsiębiorstwie	ćwiczenia
19.	Zintegrowane systemy zarządzania ERP	wykład, ćwiczenia
20.	Propedeutyka wzornictwa	wykład, ćwiczenia
21.	Kinetyczne modele symulacyjne	wykład
22.	Diagnostyka systemów produkcyjnych	wykład
23.	Komputerowa wizualizacja produktu	wykład, ćwiczenia
24.	Podstawy organizacji produkcji	wykład, projekt
25.	Jakość, recykling, komputerowe wspomaganie wytwarzania	wykład
26.	Zespołowe projektowanie materiałów i technologii	wykład
27.	Technologia maszyn energetycznych	wykład, laboratorium
28.	Planowanie i sterowanie produkcją	wykład
29.	Zarządzanie produkcją i usługami	wykład
30.	Zarządzanie produkcją	wykład

## 5.2. Opracowania dla potrzeb dydaktyki

- Opracowanie interaktywnej aplikacji ilustrującej zagadnienia projektowania maszyn i urządzeń dla studentów specjalności Programowanie Obrabiarek i Urządzeń Technologicznych (wrzesień 2009).
- Opracowanie interaktywnej aplikacji ilustrującej zagadnienia logistyczne w przedsiębiorstwie dla studentów specjalności Programowanie Obrabiarek i Urządzeń Technologicznych (wrzesień 2009).
- Opracowanie aplikacji obrazującej zagadnienia z treści programowych z zakresu przedmiotu Podstawy Eksploatacji (czerwiec 2010).
- Opracowanie interaktywnej aplikacji ilustrującej zagadnienia z zakresu Inżynierii Produkcji dla studentów specjalności Programowanie Obrabiarek i Urządzeń Technologicznych (październik 2010).
- Opracowanie programu kształcenia dla kursów: *Organizacje wirtualne, Zarządzanie produkcją i usługami* oraz *Kontroling projektów i procesów*, prowadzonych na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji na wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej (wrzesień 2012).
- Opracowanie programu kształcenia dla kursu: *Podstawy technologii wytwarzania maszyn*, prowadzonego na kierunku Technika Rolnicza i Leśna na wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej (wrzesień 2012).

## 5.3. Projekty europejskie

Wykonawca w następujących **projektach z zakresu dydaktyki** współfinansowanych przez Unię Europejską:

- „*Program rozwojowy Politechniki Koszalińskiej w zakresie kształcenia na kierunkach technicznych*” numer projektu: POKL.04.01.01-00-449/08-00. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.
- „*Zamawianie kształcenia na kierunkach technicznych, matematycznych i przyrodniczych*” realizowany na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

## 5.4. Prace dyplomowe

Wypromowanie **28** prac dyplomowych magisterskich, **5** prac dyplomowych inżynierskich oraz kilkudziesięciu prac przejściowych.

### Osiągnięcia naukowe dyplomantów

Prowadzeni studenci opublikowali i wygłosili ogółem **6** artykułów naukowych dotyczących realizowanych prac dyplomowych, na **1** konferencji międzynarodowej i **3** konferencjach ogólnopolskich.

W ramach realizowanych prac dyplomowych opracowano również szereg **twórczych zagadnień naukowo-technicznych**, w tym:

- konstrukcję przyrządu do kształtowania mikronieciągłości na czynnych powierzchniach ściernic;
- aplikację webową do wielokryterialnej optymalizacji doboru najważniejszych parametrów szlifowania jednoprzęściowego wewnętrznych powierzchni walcowych przez Internet;
- konstrukcję ściernicy oraz trzpienia szlifierskiego umożliwiających wewnętrzne doprowadzenie płynu chłodząco-smarującego od strony wrzeciona;

- konstrukcję ściernicy z wysuwanymi segmentami do szlifowania wykończeniowego, umożliwiającej obróbkę zgrubną i wykończeniową w jednym zamocowaniu bez zmiany narzędzia;
- konstrukcję narzędzia ściernego do szlifowania otworów wielkogabarytowych zespołem ściernic;
- bezstykową pneumatyczną metodę oceny kąta nakroju stożkowego na czynnej powierzchni ściernicy.

## 5.5. Studenckie Koło Naukowe Logistyki LOGTECH

Założyciel i opiekun naukowy studenckiego **Koła Naukowego Logistyki LOGTECH** – od 2008 r.

Do najważniejszych działań podjętych przez Koło Naukowe Logistyki LOGTECH należy zaliczyć zrealizowanie **18 projektów**, w trakcie których odwiedzono wiele krajowych zakładów produkcyjnych, w tym m.in.: Volkswagen Poznań, Philips Lighting Poland Piła, Scania Production Słupsk, Nivea Polska Poznań, PMP Poland Jelenia Góra, LPP Prószcz Gdański, AutoGlass JAAN Koszalin, Tepro Koszalin, Kospel Koszalin.

Członkowie Koła Naukowego Logistyki LOGTECH opracowali i wygłosili do tej pory **9 referatów naukowych na 1 konferencji międzynarodowej i 3 konferencjach krajowych**.

## 6. Charakterystyka działalności organizacyjnej

### 6.1. Pełnione funkcje organizacyjne

- Od maja 2006 – **opieka nad Laboratorium Obróbki Ściernej** Katedry Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej.
- 24.09.2008 r. powołany uchwałą Senatu Politechniki Koszalińskiej nr 57/2008 na funkcję **wiceprzewodniczącego Komisji Dyscyplinarnej Uczelni ds. Studentów** – kadencja 2008-2012.
- 28.10.2009 r. powołany uchwałą Senatu Politechniki Koszalińskiej nr 57/2009 na funkcję **przewodniczącego Komisji Dyscyplinarnej Uczelni ds. Studentów**:
  - członek składu orzekającego w **23** postępowaniach dyscyplinarnych;
  - w tym wyznaczony do protokołowania w **4** postępowaniach dyscyplinarnych;
  - przewodniczący składu orzekającego w **20** postępowaniach dyscyplinarnych.
- 29.08.2011 – powołany decyzją Dziekana Wydziału Mechanicznego na funkcję **Pełnomocnika ds. Krajowych Ram Kwalifikacji dla kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji** na Wydziale Mechanicznym do końca kadencji 2008-2012.
- 24.05.2012 – wytypowany przez Dziekana Wydziału Mechanicznego do promocji Wydziału Mechanicznego, jego pracowników oraz oferty badawczej na Wspólnotowym Serwisie Informacyjnym Badań i Rozwoju **CORDIS Partners Service**.

### 6.2. Organizacja konferencji i kongresów naukowych

- Współpraca przy organizacji **XXVII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej**, Koszalin-Sarbinowo, która odbyła się w dniach 19-22.09.2004 r.
- Współpraca przy organizacji **Ogólnopolskiej Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki** zorganizowanej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej, która odbyła się w dniu 06.05.2008.
- Członek komitetu organizacyjnego **XXXII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej**, Koszalin-Darłówekko Wschodnie, która odbyła się w dniach 2-4 września 2009 r.

### 6.3. Popularyzacja nauki

Ściernice modyfikowane opracowane w ramach pracy naukowej były trzykrotnie prezentowane na **Międzynarodowych Targach Poznańskich** (w 2006, 2007 i 2008 r.) oraz w miesięczniku technicznym Narzędzia i Elektronarzędzia.

### 6.4. Praca w organizacjach naukowych

- Członek **Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją** – od 2011 r.
- 05.05.2011 – Wykład pt.: „*Wybrane modyfikacje budowy ściernic stosowanych w procesach szlifowania otworów*” wygłoszony w ramach obchodów 43. Koszalińskich Dni Techniki zorganizowanych przez **Środkowopomorską Radę NOT** i Zarząd oddziału SIMP w Koszalinie – Koło SIMP przy Politechnice Koszalińskiej.

Data: 21.11.2012 r.

Podpis: 