

Metody identyfikacji zmian stanu czynnej powierzchni ściernic w wyniku starcia, zalepienia lub wykruszania ziaren

Methods for identifying changes in the active surface of the wheel as a result of abrasive wear, smearing or fracture

WOJCIECH KACALAK
KATARZYNA TANDECKA
DARIUSZ LIPIŃSKI
FILIP SZAFRANIEC
ELŻBIETA SOCHA*

W artykule opisano zjawiska charakteryzujące procesy mikroskrawania, określono znaczenie bocznych przepływów materiału oraz nieciągłości procesu oddzielania materiału. Przeprowadzono badania procesu szlifowania z zastosowaniem ściernic: strukturalnej, o modyfikowanej strukturze przestrzennej, zawierającej ziarno specjalne o budowie przestrzennej rozwiniętej. Przeprowadzono analizę topografii powierzchni czynnych badanych ściernic z wykorzystaniem metody replikacji, po kondycjonowaniu i po procesie szlifowania. Wyznaczono parametry do oceny struktury geometrycznej powierzchni ściernic wykazujące najwyższą zdolność klasyfikacyjną. Opracowano metodykę identyfikacji zmian stanu powierzchni czynnej narzędzi ściernych, następujących w wyniku ścierania wierzchołków ziaren oraz zalepienia fragmentów powierzchni produktami obróbki. Określono kryteria wyróżniające płaskie obszary starcia od obszarów zalepień, które również są obszarami w postaci płaskich wyniesień powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: SGP ściernic, zdolność klasyfikacyjna parametrów SGP, starcie, zalepienie

The article describes the phenomena characterizing micro-cutting processes. The article describes the importance of the material flow side, and the discontinuity of material separation process. Studies were conducted using grinding wheels: traditional wheel, wheel with modified spatial structure and wheel with special grain characterized by its spatial develop-

ment. The surface topography of wheels was analyzed using the method of replication. The parameters were determined for the evaluation of the geometric structure of wheels with the highest classification capability. Methodology has been developed for identifying changes in the active surface of abrasive tools. The criteria for distinguishing flat areas of abrasive wear from flat smearing areas were determined.

KEYWORDS: geometric structure of grinding wheel surface, ability of classification of parameters, abrasive wear, smearing

Zjawiska charakteryzujące procesy mikroskrawania

W analizach dotyczących diagnostyki stanu czynnej powierzchni ściernic uwzględniono wyniki wcześniejszych prac autorów dotyczących podstaw mikroskrawania ściernego, a zwłaszcza: wpływu stereometrycznych, kinematycznych i dynamicznych warunków styku ziarna z obrabianym materiałem na efektywność procesu mikroskrawania, w tym określenie wpływu kształtu wierzchołka, kształtu powierzchni natarcia i położenia ziarna na kierunki przemieszczeń materiału w strefie skrawania, znaczenia i charakterystyk mikronieciągłości procesu tworzenia wióra w procesie mikroskrawania ściernego, rozkładu obciążeń ziaren ściernych w strefie szlifowania, przekrojów i objętości warstw skrawanych poszczególnymi ostrzami oraz probabilistycznych cech zużywania się narzędzi ściernych.

W procesach mikroskrawania, zwłaszcza w obróbce bardzo dokładnej, wiele zjawisk i czynników nabiera znaczenia decydującego o wynikach procesu. Są nimi: mikronieciągłości samego procesu tworzenia mikrowiórow, mikrostrufowe ciepłone i mechaniczne odkształcenia narzędzi i materiału obrabianego, liniowe i kątowe przemieszczenia ziaren

* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl),
Mgr inż. Katarzyna Tandecka (katarzyna.tandecka@tu.koszalin.pl),
Dr inż. Dariusz Lipiński (dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl),
Mgr inż. Filip Szafraniec (filip.szafraniec@tu.koszalin.pl),
Dr inż. Elżbieta Socha (elzbieta.socha@andre.com.pl)

ściernych pod wpływem oporów skrawania, bardzo małe zagłębienia ostrzy, porównywalne z wysokością nierówności w strefie kontaktu ziaren z materiałem obrabianym.

Przed ziarnem ściernym, między dolną częścią powierzchni natarcia a powierzchnią ścinania materiału obrabianego, tworzy się strefa zastoju materiału, która nie może być stabilną w warunkach bardzo wysokich temperatur oraz nieciągłości naprzedmiennego procesu narastania lokalnych odkształceń i oddzielania materiału i występuje stan stabilizowanych fluktuacji, stanowiących typową cechę procesu. W mikroobróbce ścierniej, czy szlifowaniu precyzyjnym zagłębienie ostrza w materiał obrabiany jest znacznie mniejsze od promieni zaokrąglenia jego naroży i jest porównywalne z wysokością nierówności powierzchni w strefie mikroskrawania.

■ Znaczenie bocznych przepływów materiału

W literaturze spotyka się znaczne rozbieżności w wynikach badań dotyczących warunków, jakie muszą być spełnione, aby następowało oddzielanie materiału, a nie tylko odkształcanie sprężyste i plastyczne. Można podać kilka powodów tych rozbieżności. W mikroobróbce ścierniej dominują boczne (względem toru mikroskrawania) przepływy materiału, podczas gdy najczęściej analizuje się tylko geometryczne warunki tworzenia wióra w przekroju prostopadłym do powierzchni przedmiotu i równoległym do kierunku ruchu ostrza. Analiza warunków tarcia w strefie styku ziarna ściernego i materiału wskazuje, iż wiele czynników wpływa na, niekorzystne dla efektywności obróbki boczne przepływy materiału.

Zwiększenie współczynnika tarcia między ziarnem a materiałem obrabianym powoduje rozbudowanie strefy martwej. W procesach mikroskrawania zmniejszenie współczynnika tarcia między ziarnem a materiałem obrabianym utrudnia formowanie wióra, a zwiększenie współczynnika tarcia powoduje korzystne zmiany rzeczywistego kąta natarcia oraz wyraźne zmniejszenie skutecznego promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej - co zwiększa możliwości skutecznego skrawania ziarnami płytko zagłębionymi w materiał.

Z przeprowadzonych analiz wynika ponadto, że skrawanie szeroką krawędzią równoległą do obrabianej powierzchni jest korzystne ze względu na oczekiwane niewielkie stosunki objętości wypływek bocznych do objętości usuwanego materiału. Długość drogi bocznych przepływów zależy wprost od szerokości warstwy skrawanej. O tego zależą opory przemieszczeń cząstek materiału, choć również od kształtu i rozwinięcia powierzchni natarcia ziarna.

Zwiększanie współczynnika tarcia ogranicza przepływ materiału w kierunku prostopadłym do toru ostrza, co zwiększa efektywność mikroskrawania. Długość drogi i opory bocznych przepływów odkształcanego materiału są czynnikiem w znacznym stopniu decydującym o skuteczności mikroskrawania.

Ze względu na zdolność do oddzielania materiału wklęsła lub płaska powierzchnia natarcia jest korzystniejsza od wypukłej. Najwyraźniej czynniki te uwidaczniają się podczas mikroskrawania monokrystalicznymi ziarnami węgla krzemowego, które mają nie tylko małe promienie naroży, ale także płaską powierzchnię natarcia i tworzą szerokie mikrorysy. Skrawanie krawędzią równoległą do obrabianej powierzchni, jest korzystne w procesach obróbki materiałów o dużej plastyczności, ze względu na oczekiwane niewielkie stosunki objętości wypływek bocznych do objętości usuwanego materiału [2].

■ Inne ważne zjawiska

Z badań autorów niniejszej publikacji wynika, że częstotliwość mikronieciągłości procesu tworzenia wióra, wyznaczona na podstawie analiz budowy wiórów, sięga kilku MHz, a więc przekracza częstotliwości uzyskiwane przez wymuszenie w układach mechanicznych [6]. Może to przyczyniać się do korzystnego lokalnego obniżenia granicy wytrzymałości obrabianego materiału. Nieciągłość tworzenia wióra wywołuje również cykliczne, bardzo szybkie zmiany obciążenia ostrza, co należy uznać za niekorzystny skutek dla zmęczeniowej odporności na zużycie.

Wpływ temperatury na proces mikroskrawania jest nie-monotoniczny. W zakresie temperatur 300-1000 °C dla stopów stali, tytanu i niklu względne zmniejszenie wytrzymałości jest większe od względnego zmniejszenia twardości. Oznacza to korzystne warunki dla mikroskrawania. Dla wyższych temperatur zmniejszają się opory bocznego przemieszczania materiału. Może to znacznie ograniczyć skuteczność mikroskrawania, zwłaszcza dla ostrzy, których położenie jest w przybliżeniu takie, iż krawędź klinowej powierzchni natarcia leży w płaszczyźnie prostopadłej do obrabianej powierzchni i równoległej do kierunku skrawania.

Zużycie narzędzi ściernych

Identyfikacja i analiza zużycia wierzchołków ziaren ściernych i ściernic jest ważna dla efektywnego sterowania procesem obróbki i jakości prognozowania jego wyników.

Zużywanie się ściernicy jest procesem złożonym, w którym występuje wiele zjawisk destrukcji ziaren i powierzchni narzędzia, przy czym można wyróżnić zjawiska niepożądane na przykład ścieranie wierzchołków ziaren, zalepiania powierzchni ściernic materiałem obrabianym, wykruszenia ziaren przed wykorzystaniem ich potencjału obróbkowego lub zjawiska pożądane w ograniczonym zakresie – mikro-wykruszenia wierzchołków [19]. Podział ten nie jest ścisły i zależy od rodzaju operacji obróbki. W precyzyjnym procesie szlifowania kształtowego niepożądanym procesem są wykruszenia całych ziaren, a ściernica powinna pracować w warunkach mikrowykruszeń lub umiarkowanego tępienia ziaren ściernych. W przecinaniu ściernym dopuszczalne są wykruszenia ziaren, aby nie dopuścić do nadmiernego stępienia ściernicy i wzrostu sił i temperatury. Można podać wiele przykładów, w których oczekiwanie dotyczące procesów zużycia narzędzi jest zróżnicowane, co do mechanizmów i przyczyn zużycia, formy, intensywności i skutków.

Skutkiem zużycia ściernego jest wzrost sił i mocy szlifowania oraz temperatury i naprężeń rozciągających w warstwie wierzchniej. Wykruszenie ziaren powoduje zmiany kształtu i wymiarów ściernicy, a także jest przyczyną powiększania falistości powierzchni czynnej, co pogarsza dokładność obróbki i zwiększa drgania układu technologicznego.

Nawet w warunkach intensywnego samoostrzenia ściernicy należy spodziewać się z upływem czasu wzrostu siły i mocy obróbki. Przyczyną tego jest kształtowe zużycie ściernicy, powodujące zwiększenie pola strefy styku ściernicy z przedmiotem obrabianym. Zmniejszają się przekroje warstw skrawanych poszczególnymi ostrzami i obciążenie ziaren, ale powiększająca się liczba ziaren wraz z malejącą efektywnością usuwania materiału, prowadzi do wzrostu sił i mocy obróbki.

Ocena stanu powierzchni czynnej narzędzi ściernych

W badaniach dotyczących stanu czynnej powierzchni ściernicy wykorzystuje się różne metody postępowania – oceny bezpośrednie i pośrednie [7, 14, 18, 20, 21, 22, 23]. Stosowanie ocen bezpośrednich jest ograniczone ze względu na utrudnienia w akwizycji danych reprezentujących powierzchnię ściernicy, bez zdejmowania jej z wrzeciona, a tym bardziej podczas procesu obróbki. Rozwój metod pomiaru 3D stopniowo przyczynia się do zwiększania zastosowań metod bezpośrednich [4, 9 – 13].

Pomimo opracowania wielu metod pomiaru oraz dostępności szybkiego przetwarzania danych i możliwości wyznaczenia znacznej liczby parametrów charakteryzujących powierzchnię narzędzi ściernych [1], nadal trudnym zadaniem jest identyfikacja postaci zużycia i wyznaczanie relacji między zbiorem parametrów a właściwościami obróbkowymi narzędzia [2, 3, 5, 16].

Wiele parametrów nie wykazuje wystarczającej zdolności klasyfikacyjnej i nie pozwala na zróżnicowanie ocen różnych odmiennych stanów powierzchni czynnej.

Ocena zdolności klasyfikacji różnych parametrów możliwa jest z zastosowaniem następującej metodyki [8]:

1. W pierwszym etapie tworzy się zbiór n powierzchni, które planuje się różnicować z zastosowaniem różnych parametrów.

2. W kolejnym etapie wyznacza się wartości różnych parametrów dla wszystkich powierzchni w zbiorze testowym.

3. Przeprowadza się normalizację parametrów do przedziału $\langle 0,1 \rangle$, korzystnie z zastosowaniem metod wnioskowania rozmytego.

4. Dokonuje się wizualizacji znormalizowanych wartości parametrów na wykresie radarowym.

5. Dokonuje się sortowania zbiorów wartości każdego z parametrów odrębnie $\{St_1, St_2, \dots, St_n\}, \dots \{P_{1i}, P_{2i}, \dots, P_{ni}\}$.

6. Wyznacza się różnice między kolejnymi wartościami dla każdego zbioru parametrów $\Delta P_{ji} = P_{j_{i+1}} - P_{ji}$

7. Ustala się małą wartość $\varepsilon \ll \Delta \bar{P}_{ji}$, np. $\varepsilon = (0,01 \div 0,1) \Delta \bar{P}_{ji}$.

8. Wyznacza się średnią geometryczną w zbiorze wartości $n\Delta P_{ji} + \varepsilon$ według wzoru

$$Wsk_{klas} = \left(\prod_{i=1}^n (n\Delta P_{ji} + \varepsilon) \right)^{\frac{1}{n}}, \text{ dla wszystkich } j = 1, \dots, k.$$

9. Wartość $0 < Wsk_{klas} < 1$ jest wyznacznikiem zdolności klasyfikacyjnej parametru j . Zdolność klasyfikacyjna jest tym większa, im większa jest wartość Wsk_{klas} .

Badano powierzchnię czynną następujących narzędzi wykonanych w firmie ANDRE ABRASIVE ARTICLES:

A 1-250×25×76,2-99A100K7VTE10-35 Ściernica

B 1-250×25×76,2-99A100K7IVTE10-35

Ściernica o modyfikowanej strukturze przestrzennej (o zwiększonej porowatości)

C 1-250×25×76,2-99AY100K7VTE10-35

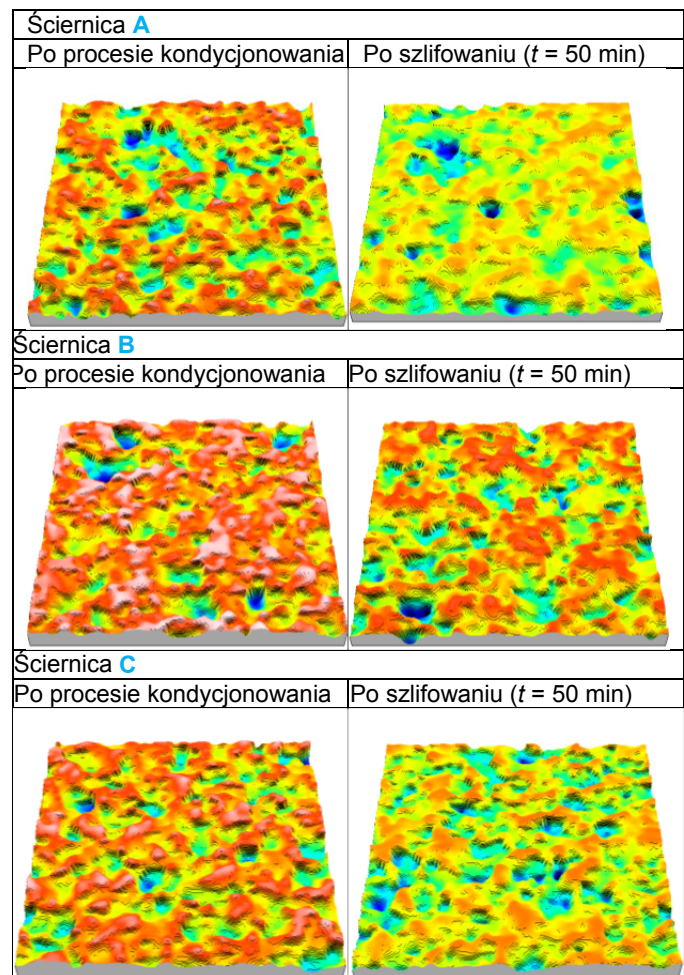
Ściernica zawierająca ziarno specjalne o budowie przestrzennie rozwiniętej

Przeprowadzono badania topografii narzędzi ściernych z wykorzystaniem metody replikacji powierzchni czynnej z zastosowaniem materiału do replik RepliSet firmy Struers, wg. producenta rozdzielczość tego materiału wynosi $0,1 \mu\text{m}$. Pomiary powierzchni narzędzi po kondycjonowaniu oraz po procesie obróbki (20 przejściach) przeprowadzono z wykorzystaniem systemu pomiarowego LEXT OLS4000 firmy Olympus.

Tablica 1 Warunki badań eksploatacyjnych ściernic

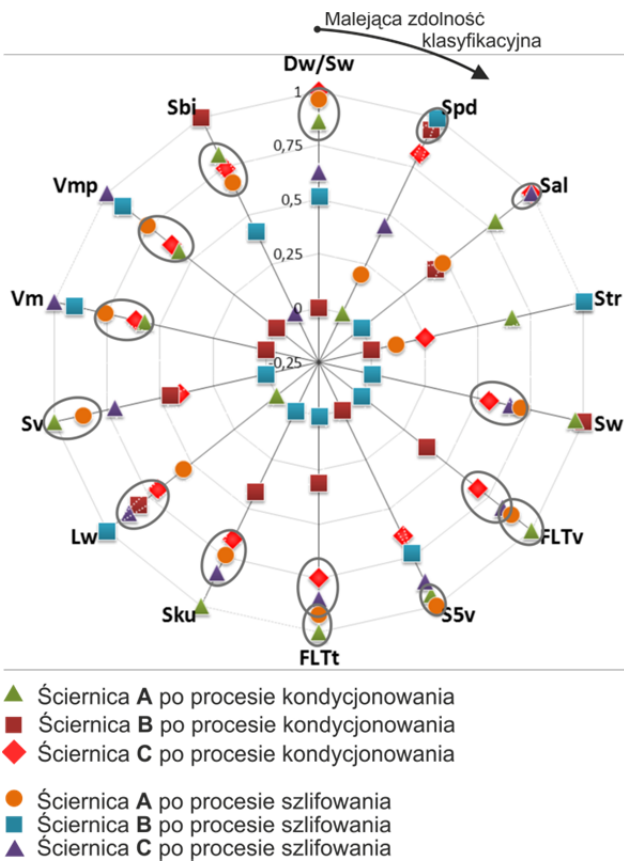
Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1.	Prędkość obwodowa ściernicy	m/s	35
2.	Dosuw kondycjonowania	mm	$0,1 \pm 0,15$
3.	Posuw wzdłużny	m/min	25
4.	Posuw poprzeczny	mm/skok	0,5
5.	Materiał obrabiany	-	X153CrMoV12 (NC11LV)

Po wyznaczeniu parametrów oceny struktury geometrycznej powierzchni czynnej narzędzi ściernych, zastosowano opisaną powyżej metodykę oceny ich zdolności klasyfikacyjnej.



Rys. 1. Obrazy topografii powierzchni badanych ściernic po procesie kondycjonowania i szlifowania w warunkach opisanych w tablicy 1, pole powierzchni $3 \times 3 \text{ mm}$, maksymalna wysokość $450 \mu\text{m}$.

Na wykresie radarowym (rys. 2) zestawienie tych parametrów do oceny struktury geometrycznej powierzchni, po normalizacji, które wykazują wysoką zdolność klasyfikacyjną powierzchni czynnej ściernic po procesie kondycjonowania i szlifowania.



Rys. 2. Znormalizowane wartości parametrów o wysokiej wartości współczynnika Wsk_{klas} ; elipsami zaznaczono małą zdolność do różnicowania stopnia zużycia dla jednej lub większej liczby badanych ściernic

Ocena zdolności klasyfikacyjnej wyznaczona została według podanej metodyki jako średnia geometryczna odstępów znormalizowanych kolejnych wartości danego parametru dla zbioru powierzchni odniesienia. Ocena ta w zbiorze ściernic różniących się charakterystyką oraz stopniem zużycia (rys. 2) wymaga dodatkowej analizy zróżnicowania znormalizo-

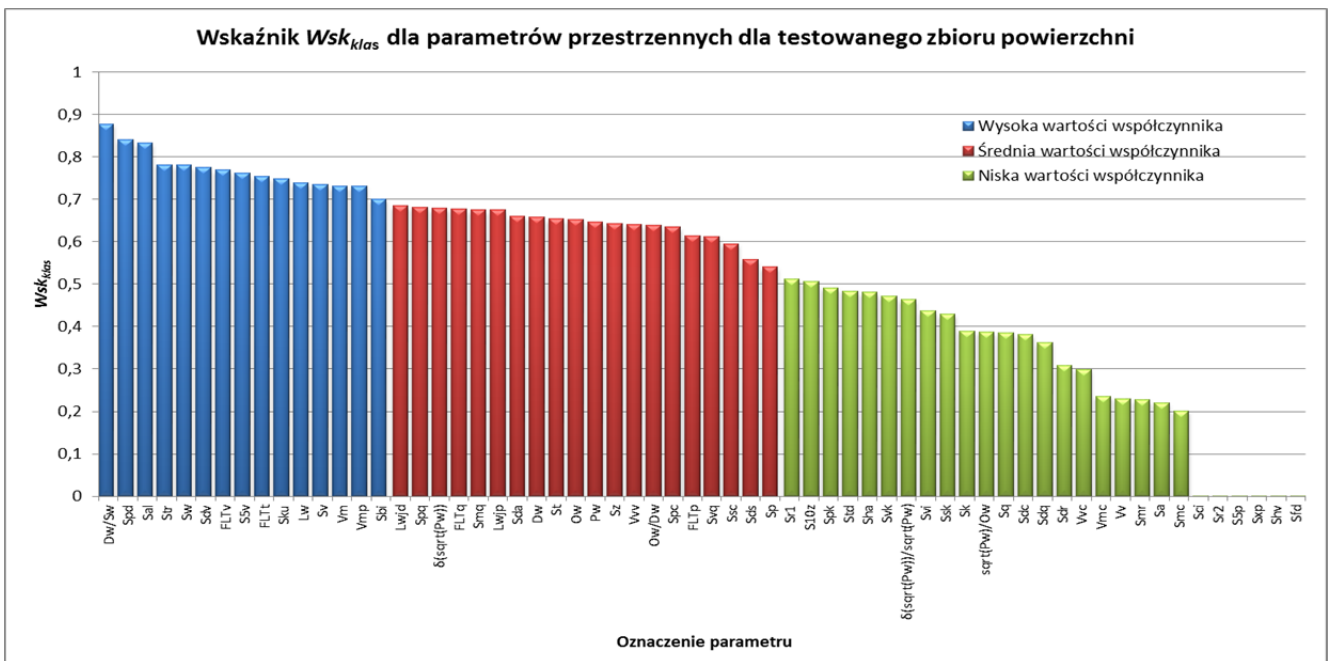
wanych wartości parametrów dla każdej ściernicy po kondycjonowaniu oraz po pewnym czasie szlifowania ($t=50$ min). Parametry Sdv, FLTv, S5v, FLTv, Sku, Lw i Sv wprawdzie mają dość wysoką zdolność klasyfikacyjną i dobrze różnicują ściernice o różnych charakterystykach, ale nie mają wystarczającej zdolności klasyfikacyjnej do różnicowania stopnia zużycia określonej ściernicy.

Na rysunku 3 przedstawiono zbiór wszystkich badanych parametrów z podziałem na trzy klasy: parametry o wysokiej, średniej i niskiej zdolności klasyfikacyjnej.

Najwyższą zdolność klasyfikacyjną wykazuje parametr Dw/Sw – długość wyspy do jej szerokości na poziomym odcięciu płaszczyzną o wartości 0,2 od najwyższego wierzchołka powierzchni, jest to autorski parametr. Również z nowych parametrów o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej należy wymienić Lw – liczba wysp i Sw – średnia szerokość wyspy, dla podanego poziomu odcięcia od najwyższego wierzchołka.

Pozostałymi parametrami do oceny struktury geometrycznej powierzchni o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej są:

- Spd – gęstość pików powierzchni, [$1/\mu m^2$],
- Sal – długość autokorelacji powierzchni, [μm],
- Str – wydłużenie struktury powierzchni,
- Sdv – objętość średniej doliny, [μm^3],
- FLTv – odchylenie płaskości odniesienie - dolina, [μm],
- S5v – wysokość pięciu wzniesień powierzchni, [μm],
- FLTv – odchylenie płaskości powierzchni szczyt – dolina, [μm],
- Sku – kurtოza powierzchni.



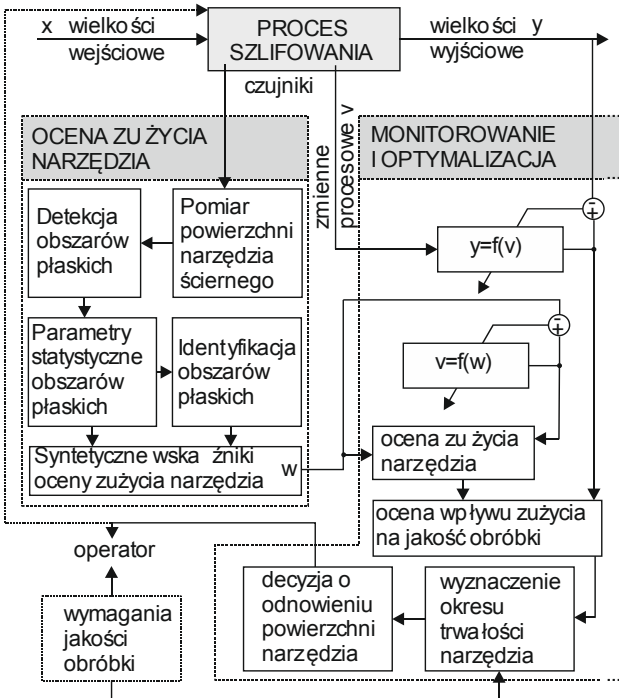
Rys. 3. Wskaźnik zdolności klasyfikacyjnej Wsk_{klas} dla parametrów przestrzennych dla testowego zbioru powierzchni

Metodyka oceny stopnia zużycia narzędzi ściernych

Na cechy stereometryczne narzędzi ściernych wpływa z jednej strony ich charakterystyka, tzn. wielkość ziaren ściernych, struktura, udziały objętościowe ziarna ściernego i spoiwa oraz jego rodzaj, z drugiej zaś proces kształtowania jej powierzchni czynnej.

Cechy stereometryczne narzędzi ściernych zmieniają się podczas procesu obróbki na skutek procesów zużycia ziaren. Zmiana topografii ściernicy jest spowodowana głównie poprzez zużycie ziaren ściernych (ściernie i wytrzymałościowe) oraz zalepienia powierzchni czynnej przez wióry.

Ocena stopnia zużycia narzędzi ściernych jest podstawą monitorowania i optymalizacji procesów szlifowania. Stanowi również podstawę do podejmowania decyzji o odnowieniu powierzchni czynnej narzędzia ściernego.



Rys. 4. Schemat postępowania przy ocenie stanu powierzchni czynnej narzędzia ściernego

Proponowana metodyka oceny stopnia zużycia ziaren ściernych oraz stopnia zalepienia powierzchni czynnej obejmuje poniższe kroki:

- Pomiar rzędnych powierzchni narzędzia ściernego $Z(x,y)$. Pomiar dokonywany jest z wykorzystaniem metod bezstykowych umożliwiających pomiar z dokładnością kilkunastokrotnie (5-7 krotnie) wyższą niż wymiar ziarna ściernego;
- Detekcja obszarów płaskich, dla przyjętych kryteriów płaskości. Detekcja dokonywana jest z wykorzystaniem filtra logicznego oceniającego stopień zmienności rzędnych punktu centralnego okna analizy oraz punktów sąsiednich. Wartość progowa użyta w detekcji powiązana jest z charakterystycznymi cechami geometrycznymi ziaren ściernych. Umożliwia to zastosowanie metod detekcji do analizy powierzchni narzędzi ściernych o różnej charakterystyce;
- Wyznaczenie parametrów statystycznych obszarów uznanych za płaskie. Wyznaczane parametry umożliwiają ocenę zmian stanu narzędzia ściernego w czasie;

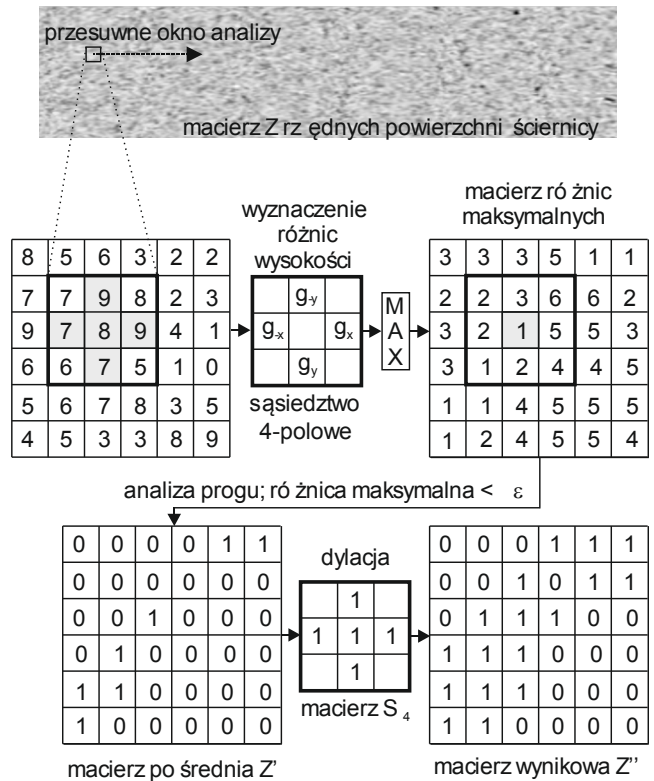
- Klasyfikacja obszarów płaskich do jednej z dwóch kategorii: starcia wierzchołków ziaren ściernych lub zalepienia powierzchni czynnej;
- Wyznaczenie syntetycznych wskaźników oceniających zużycie narzędzia ściernego.

Syntetyczne wskaźniki umożliwiają podejmowanie decyzji o odnowieniu powierzchni narzędzia ściernego przez systemy monitorowania i optymalizacji procesów obróbki. Stanowiąc mogą również podstawę do tworzenia zależności między monitorowanymi zmiennymi procesu szlifowania (moc, siły, drgania, emisja akustyczna) a stanem powierzchni narzędzia ściernego a w konsekwencji dokładnością wymiarową i kształtową wytwarzanych elementów oraz cechami stereometrycznymi powierzchni obrobionych.

■ Detekcja obszarów płaskich

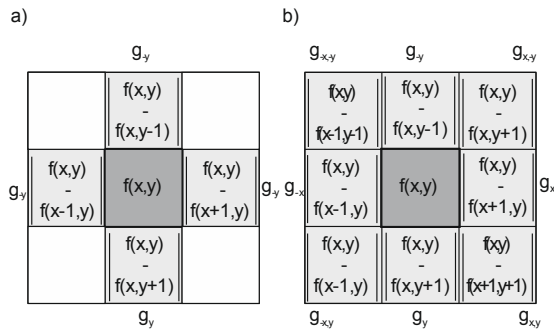
Obszary płaskie występujące na powierzchni narzędzia ściernego są wynikiem głównie procesów zużycia ściernego ziaren oraz zalepień powierzchni ściernicy produktami procesu szlifowania.

Proponowany schemat detekcji obszarów płaskich przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat detekcji obszarów płaskich dla sąsiedztwa cztero-polowego

Detekcji obszarów płaskich dokonano z wykorzystaniem przesuwne okna analizy o wymiarze 3x3. W oknie analizy wyznaczono różnicę rzędnych narzędzia ściernego elementu centralnego oraz elementów sąsiadujących z nim. Przyjęto cztero- i ośmiopolową macierz sąsiedztwa H (rys. 6).



Rys. 6. Graficzne przedstawienie zasad analizy powierzchni narzędzia ściernego dla sąsiedztwa: a) czteropolowego, b) ośmiopolowego

Dla tak określonego okna analizy oraz pojęcia sąsiedztwa dokonano na macierzy pośredniej Z' przekształceń zgodnych z poniższym filtrem logicznym:

$$Z'(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \max(G_H) < \varepsilon \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: G_H – wektor bezwzględnych różnic g rzędnych powierzchni między elementem centralnym okna analizy, a polami sąsiadującym, ε -wartość progowa. Szczegóły działania algorytmu opisano w publikacji [15, 17].

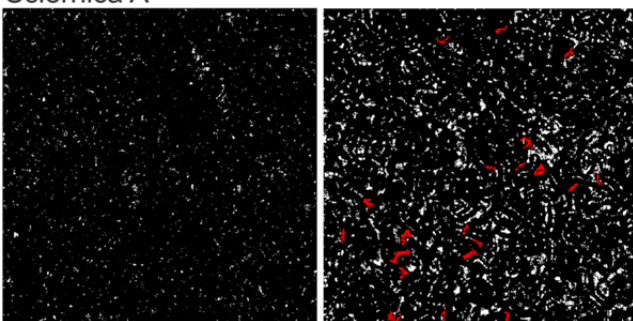
Cechy statystyczne obszarów płaskich

Detekcja obszarów płaskich umożliwiła wyodrębnienie z powierzchni narzędzia ściernego interesujących z punktu widzenia oceny stopnia zużycia narzędzia ściernego obiektów. Wyznaczenie cech statystycznych obszarów płaskich poprzedzone zostało segmentacją, polegającą na wyodrębnieniu z obrazu binarnego poszczególnych obiektów (obszarów płaskich) a następnie ich indeksacji.

Wyznaczone wielkości geometrycznych obiektów płaskich oraz ich cechy statystyczne stanowiły podstawę identyfikacji obiektów płaskich. Identyfikacja pozwoliła na przyporządkowanie obszaru płaskiego do zbioru obiektów powstałych w wyniku starcia wierzchołków ziaren ściernych oraz zbioru obiektów powstałych w wyniku zalepiania powierzchni ściernicy produktami ubytkowymi procesu szlifowania (rys. 7, 8, 9).

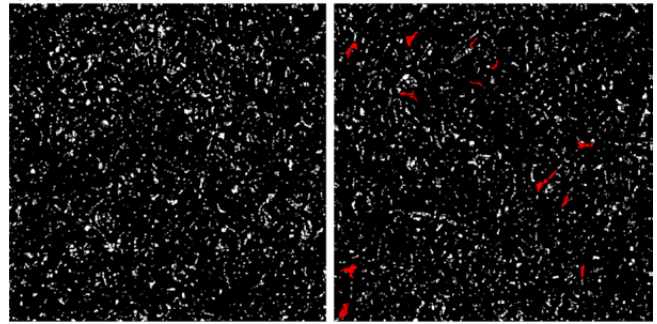
Dokonano klasyfikacji do kategorii zalepiania przyjmując kryterium: pole powierzchni płaskiej większe od maksymalnego pola przekroju ziarna. Zalepiania oznaczono kolorem czerwonym.

Ściernica A



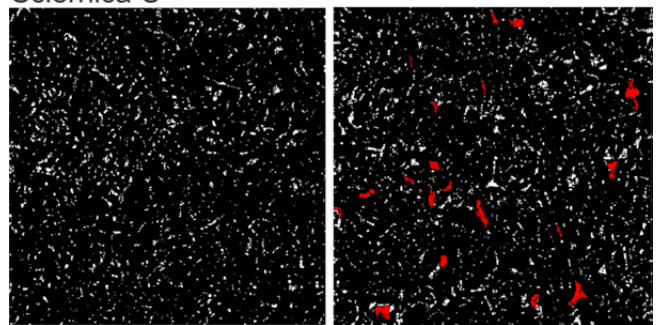
Rys. 7. Obszary płaskie zidentyfikowane na powierzchni ściernicy typu A, po procesie kondycjonowania (L) i procesie szlifowania z zaznaczonymi w kolorze czerwonym zalepieniami (P)

Ściernica B



Rys. 8. Obszary płaskie zidentyfikowane na powierzchni ściernicy typu B, po procesie kondycjonowania (L) i procesie szlifowania z zaznaczonymi w kolorze czerwonym zalepieniami (P)

Ściernica C

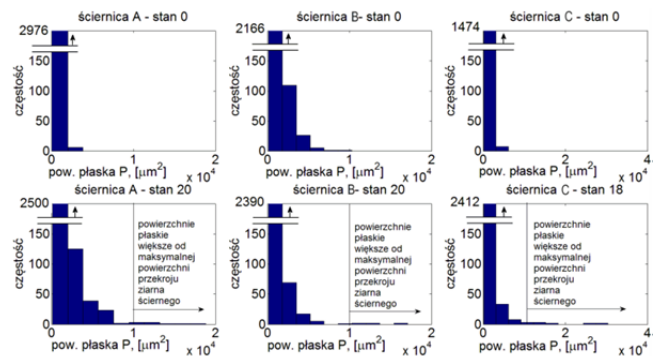


Rys. 9. Obszary płaskie zidentyfikowane na powierzchni ściernicy typu C, po procesie kondycjonowania (L) i procesie szlifowania z zaznaczonymi w kolorze czerwonym zalepieniami (P)

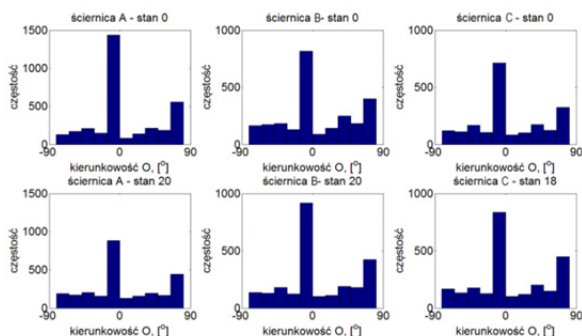
Segmentacja i indeksacja obiektów płaskich na powierzchni narzędzia ściernego umożliwiła wyznaczenie parametrów geometrycznych oraz ich cech statystycznych.

Wyznaczono poniższe cechy lokalne obszarów płaskich:

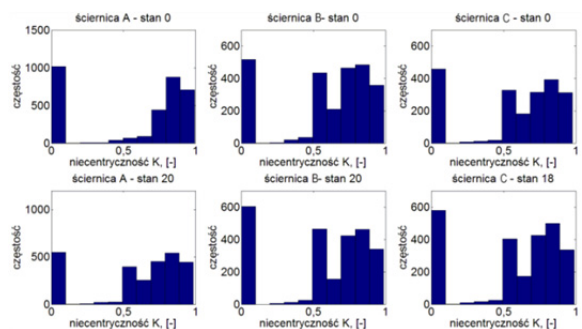
- miara względna pola powierzchni P_i – liczba punktów powierzchni należących do i-tego obiektu (rys. 10);
- kierunkowość obiektu K_i – kąt (w zakresie od -90 do 90 stopni) pomiędzy kierunkiem równoległym do kierunku obróbki a osią wielką elipsy (rys. 11);
- współczynnik niecentryczności E – współczynnik charakteryzujący kształt i-tego obiektu ; przyjmuje wartości równe jeden dla obiektu o kształcie koła i zero dla odcinka (rys. 12).



Rys. 10. Histogramy pól powierzchni P_i obszarów płaskich zidentyfikowanych na powierzchni czynnej badanych ściernic



Rys. 11. Histogramy kierunkowości K_f obszarów płaskich zidentyfikowanych na powierzchni czynnej badanych ściernic



Rys. 12. Histogramy współczynnika niecentryczności E obszarów płaskich zidentyfikowanych na powierzchni czynnej badanych ściernic

Ściernica B z modyfikowaną strukturą przestrzenną wykazuje najmniejsze skłonności do zalepiania powierzchni czynnej w procesie szlifowania. Najwyższy procent zalepień na powierzchni ściernicy po procesie szlifowania zaobserwowano dla narzędzia zawierającego ziarno specjalne o budowie przestrzennie rozwiniętej. Identyfikacja obiektów płaskich umożliwia dokonanie dodatkowej analizy stanu zużycia narzędzia ściernego. Możliwe jest określenie dominującego procesu zużycia narzędzia ściernego: zużycia ściernego, zużycia wytrzymałościowego, zalepiania narzędzia ściernego.

■ Podsumowanie

Opracowano metodykę oceny właściwości ściernic o różnych charakterystykach i oceny odporności na zalepianie w warunkach szlifowania ledeburtycznej chromowej stali narzędziowej do pracy na zimno, o bardzo małych odkształceniach przy hartowaniu i małej odporności na ścieranie o twardości 63 HRC. Opisano wyznaczone wskaźniki zdolności klasyfikacyjnej. Poddano analizie wiele parametrów oceny struktury stereometrycznej powierzchni. Określono które z nich mają wysoką zdolność klasyfikacyjną. Zwrócono uwagę, iż niektóre z tych parametrów nie różnicują dostatecznie stopnia zużycia narzędzi ściernych. Przedstawiono metodykę identyfikacji obszarów płaskich na powierzchni ściernicy oraz kryteria odróżniania pól będących zalepieniami od starcia wierzchołków ziaren.

Badania zrealizowano w ramach projektu pt. „Innowacyjne, hybrydowe narzędzia ściernic do obróbki stopów metali lekkich”, realizowanego w ramach programu „Innotech” w ścieżce programowej IN-TECH, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, umowa nr INNOTECH-K3/IN3/43/229135/NCBR/14.

LITERATURA

- Adamczak S., Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
- Borkowski J., Wear and durability of grinding wheels. PWN, Warszawa, 1990.
- Fan K.C., Lee M.Z., Mou J.I., On-line non-contact system for grinding wheel wear measurement. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19, 14-22, 2002.
- Gupta M., Agrawal A., Veeraraghavan A., Narasimhan S.G., A practical approach to 3D scanning in the presence of interreflections, surface scattering and defocus. International Journal of Computer Vision, 102, 33-55, 2012.
- Inasaki I., Monitoring and optimization of internal grinding process. Annals CIRP, 41, 359-362, 1991.
- Kacalak W., Kapłonek S., Wybrane aspekty nieciągłości procesu powstawania wióra podczas skrawania ściernego. Materiały V Międzynarodowej konferencji „Postępy w teorii i technice obróbki materiałów – Obróbka ścierna, materiały i narzędzia ściernic”, Kraków 1979, s. 17-20.
- Kacalak W., Szafranec F., Modelowanie obciążeń ziaren aktywnych i sił w procesie szlifowania. Mechanik nr 8-9.2013, 241-252, 2013.
- Kacalak W., Szafranec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz., Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni. Pomiary Automatyka Kontrola, 57/5, 542-547, 2011.
- Kacalak W., Tandecka K., Basics of the superfinishing results prognostication by the diamond lapping films. Journal of Machine Engineering, 12/4, 49-62, 2012.
- Kacalak W., Tandecka K., Effect of superfinishing methods kinematic features on the machined surface. Journal of Machine Engineering, 12/4, 35-48, 2012.
- Kacalak W., Tandecka K., Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania. Pomiary Automatyka Kontrola, 57/5, 531-534, 2011.
- Kacalak W., Tandecka K., Ocena potencjału technologicznego diamentowych folii ściernych z wykorzystaniem informacji o topografii powierzchni czynnej. Pomiary Automatyka Kontrola, 58/06, 540-544, 2012.
- Kassim A.A., Mannan M.A., Zhu M., Texture analysis methods for tool condition monitoring. J Image Vision Comput, 25, 1080-1090, 2007.
- Lipiński D., Kacalak W., Assessment of the accuracy of the process of ceramics grinding with the use of fuzzy interference, adaptive and natural computing algorithms. Lecture notes in computer science, Berlin: Springer-Verlag, 596-603, 2007
- Lipiński D., Kacalak W., Tandecka K., Zastosowanie systemu skanowania przestrzennego do oceny zużycia narzędzi ściernych. Pomiary Automatyka Kontrola, 59/11, 1227-1231, 2013.
- Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R., Application of the Laser Scanning Microscopy to Evaluation of Abrasive Tool Wear, Journal of Machining Engineering, 12/4, 99-105, 2012.
- Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R., Methodology of evaluation of abrasive tool wear with the use of laser scanning microscopy, Scanning 36:1, 53-63, 2014.
- Lipiński D., Majewski M., Interactive Hybrid System for Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-machining Processes. The 20th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2013), 3-7.November, Lecture Notes in Computer Science, 8227, 360-367, 2013.
- Oczko K., Porzycki J., Szlifowanie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1986.
- Shaw M.C., Principles of abrasive processing. New York: Oxford University Press, 1996.
- Su J.C., Tarn Y.S., Measuring wear of the grinding wheel using machine vision. Int J Adv Manuf Technol, 31, 50-60, 2006.
- Tomkowski R., W. Kacalak, Lipiński D., Evaluation of the surface topography after precision machining, Journal of Machining Engineering, 12/4, 71-80, 2012.
- Xie J., Wei F., Zheng J.H., Tamaki J., Kubo A., 3D laser investigation on micron-scale grain protrusion topography of truncated diamond grinding wheel for precision grinding performance. Int J Mach Tools Manuf, 51, 411-419, 2011.