

Wojciech KACALAK¹
Łukasz RYPINA^{1*}
Dariusz LIPIŃSKI¹
Błażej BAŁASZ¹

ANALIZA WPLYWU CECH GEOMETRYCZNYCH STREFY MIKROSKRAWANIA POJEDYNCZYM OSTRZEM ŚCIERNYM NA PROCES ODDZIELANIA OBRABIANEGO MATERIAŁU

W pracy zaprezentowano wyniki analizy wpływu cech geometrycznych strefy mikroskrawania ziarnem ściernym na sposób formowania wiórów oraz wypływek. Badania modelowe procesu mikroskrawania zostały przeprowadzone w systemie Ansys 15. Cechy geometryczne strefy mikroskrawania zdefiniowano poprzez zbiór parametrów charakteryzujących przekroje naroża ziarna na różnych poziomach od jego wierzchołka. Dokonując zmian orientacji naroża ziarna ściernego uzyskano zróżnicowanie cech geometrycznych powierzchni styku ziarna i obrabianego materiału. Autorzy przeprowadzili symulacje komputerowe, z wykorzystaniem metody elementów skończonych oraz przeanalizowali wpływ cech geometrycznych mikronaroży ziaren ściernych na mechanizm usuwania oraz formowania przepływów bocznych obrabianego materiału.

1. WSTĘP

W precyzyjnej obróbce ścierniej na jej wyniki w dominującym stopniu wpływają zjawiska występujące w otoczeniu pojedynczego ostrza ściernego [4]. W obróbce bardzo dokładnej procesy oddzielania materiału są wyjątkowo złożone z uwagi na: budowę i właściwości narzędzi ściernych, zróżnicowaną geometrię naroży ziaren ściernych, duże prędkości skrawania, lokalnie zmienne opory właściwe skrawania itp. Dokładna znajomość odkształceń, naprężeń oraz przemieszczeń obrabianego w procesie mikrooddzielania materiału, pozwoli uzyskać wiele cennych informacji na temat zjawisk zachodzących w procesie mikroskrawania.

Poznanie wszystkich zjawisk występujących w otoczeniu mikronaroży ziaren ściernych, pomimo zaawansowanych technik pomiarowych, jest utrudnione, a w niektórych przypadkach niemożliwe. W celu wyjaśnienia zjawisk występujących w strefie obróbki, coraz częściej stosuje się nowe narzędzia do komputerowego wspomagania prac inżynierskich CAE (Computer Aided Engineering) wykorzystujące Metodę Elementów

¹ Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki Precyzyjnej, Koszalin, Polska

* E-mail: lukasz.rypina@tu.koszalin.pl

Skończonych. Zaawansowane metody obliczeniowe umożliwiają prowadzenie analiz, w tym także z zakresu obróbki wiórowej [3],[5].

Modelowanie przemieszczeń materiału w strefie mikroskrawania jest bardzo trudne z uwagi na duży stopień złożoności zjawisk występujących w samym procesie. Od zagłębienia ostrza w materiał obrabiany zależą cechy charakteryzujące nie tylko pole powierzchni kontaktu, ale również kształt strefy styku i warunki przemieszczania cząstek materiału o określonym położeniu początkowym [7],[10]. Ważnym problemem jest dobór modelu konstytutywnego oraz jego parametrów, które prawidłowo opiszą właściwości materiału w warunkach trójosiowego ściskania, charakterystycznego dla znacznych obszarów strefy kontaktu ostrza i obrabianego materiału. W tworzeniu modelu komputerowego procesu mikroskrawania ważna jest znajomość oraz weryfikacja stanów naprężeń, występujących w strefie oddziaływania naroża ziarna [6].

Większość badań poświęconych obróbce szlifowania koncentruje się na eksperymentalnej obserwacji [9] oraz modelowaniu całych procesów dotyczących zjawisk termicznych, występowania sił w skali globalnej oraz zużycia energii. Należy więc podkreślić, że wszystkie zjawiska występujące w skali makro powinny być traktowane jako suma mikro-nano oddziaływań poszczególnych ziaren ściernych. W celu lepszego zrozumienia wpływu zmiany orientacji cech mikronaroży ziaren ściernych autorzy przeanalizowali proces oddzielania obrabianego materiału. Nowością w artykule są analizy wpływu cech geometrycznych naroży (w ujęciu dotyczącym całej powierzchni naroża), w coraz większych fragmentach wpływających na proces wraz ze wzrostem głębokości skrawania.

2. BADANIA MODELOWE WYKORZYSTUJĄCE METODĘ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Do analizy pól odkształceń, w strefie oddziaływania ziarna ściernego dla różnych orientacji aktywnego naroża względem ruchu głównego ostrza, wykorzystano symulację komputerową metodą elementów skończonych z zastosowaniem Solvera AUTODYNA, który umożliwia wykonywanie analiz nieliniowych i dynamicznych zarówno w układzie dwuwymiarowym jak i trójwymiarowym. Obliczenia dla tak złożonego procesu poprzedzono dyskretyzacją współpracujących elementów.

Modelowanie numeryczne znacznych odkształceń i ich dużych prędkości, które są typowe dla procesów skrawania, można zrealizować za pomocą metody elementów skończonych metodą Lagrange'a (obiekt pokryty siatką przemieszczającą się i deformującą wraz z nim). W warunkach dużych odkształceń dynamicznych w materiale zachodzą zjawiska, których stany początkowe opisane są równaniami charakteryzującymi stan skupienia, granicę plastyczności oraz granicę wytrzymałości materiałów [8].

Ziarna ściernie użyte w symulacji zostały zamodelowane jako ciało idealnie sztywne, natomiast obrabiany materiał jako wiskoplastyczny. Obiekt dyskretyzowano trójwymiarowymi 8 węzłowymi elementami typu Solid164. W obrabianym materiale odebrano translacyjne oraz rotacyjne stopnie swobody dla węzłów u podstawy materiału.

Następnie wprowadzono warunki brzegowe dla prędkości ziarna, która wynosiła 25 m/s. Powierzchnia obrabiana próbki została pochyłona w celu analizy stanu odkształceń do rosnącego zagłębienia się ostrza w przedziale od 0 do 200 μm . Długość próbki wynosiła 5 mm.

Czas obliczeń dla jednej analizy wynosił ponad 200 h, z wykorzystaniem 8 rdzeni obliczeniowych na stacji składającej się z procesorów Xeon.

W analizie komputerowej użyto modelu materiałowego Johnsona-Cook'a, który odnosi się do rozkładu naprężeń, odkształceń, prędkości odkształceń oraz temperatury w badanym obiekcie. Równania Johnsona-Cook'a są powszechnie stosowane do modelowania materiałów narażonych na odkształcenia w szerokim zakresie prędkości odkształceń i temperatury. Ogólna postać równania Johnsona-Cook'a jest następująca [1],[2]:

$$\sigma = (A + B(\bar{\epsilon}_p)^n)(1 + C \cdot \ln \dot{\epsilon}^*)(1 - (T^*)^m) \quad (1)$$

gdzie: A – początkowa, statyczna granica plastyczności, B – parametr umocnienia plastycznego, $\bar{\epsilon}_p$ – odkształcenia plastyczne rzeczywiste, n – wykładnik umocnienia odkształcenia plastycznego, C – parametr materiałowy określający wpływ intensywności odkształcenia plastycznego, $\dot{\epsilon}^*$ – intensywność prędkości odkształceń plastycznych, T^* – temperatura homologiczna, m – wykładnik uplastycznienia termicznego.

W symulacji komputerowej zastosowano model materiałowy, odpowiadający właściwościom stopu tytanu Ti-6Al-4V [11]. Parametry modelu zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry modelu materiałowego wykorzystanego w symulacji [6]

Table 1. Parameters of material model used in the simulation [6]

Materiał	A, MPa	B, MPa	C	n	m
Ti-6Al-4V	820	220	0,26	0,01	1,01

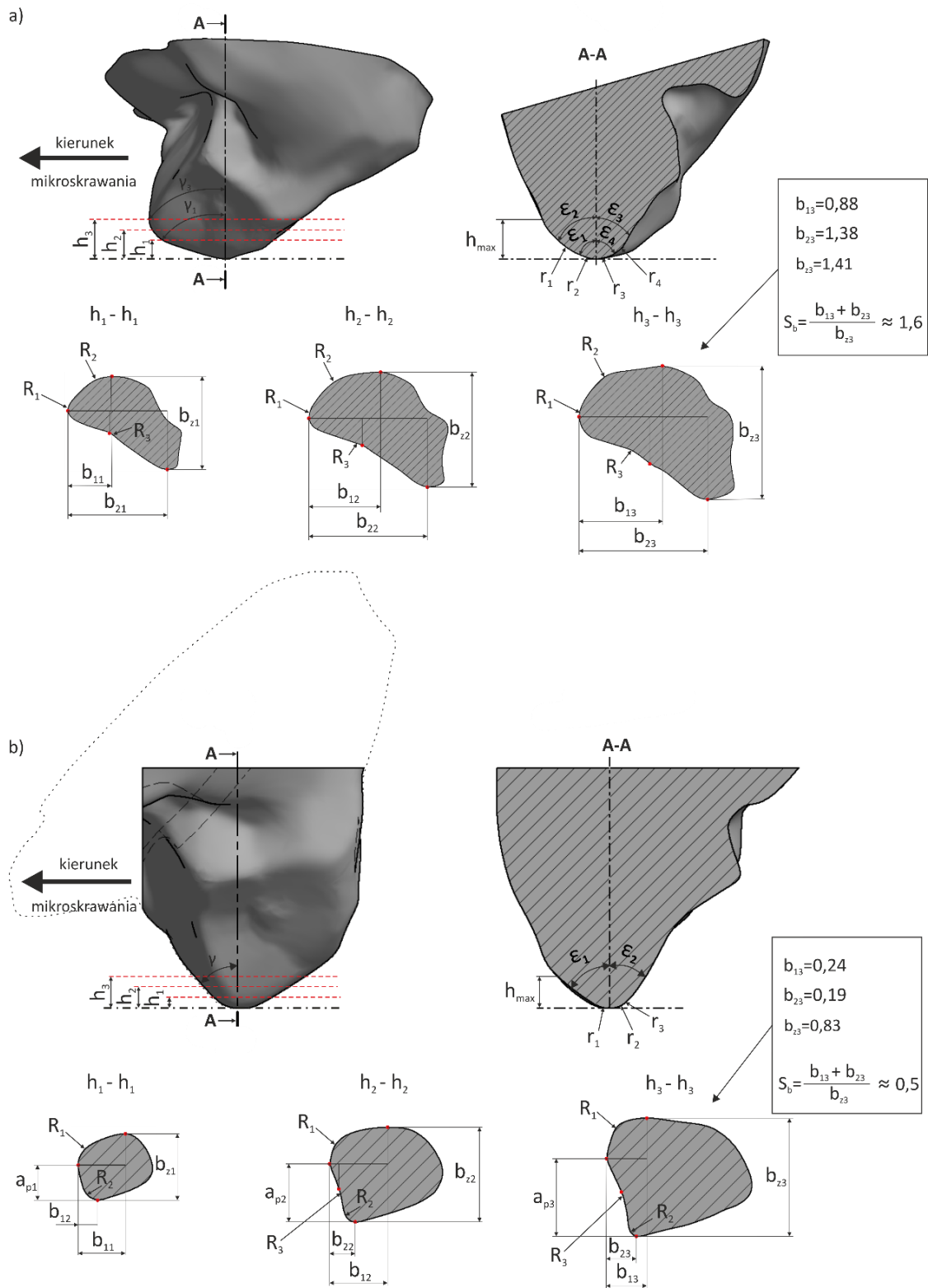
Rozwiązując postawiony problem określenia wpływu orientacji naroża ziarna ściernego na cechy geometryczne powierzchni jego kontaktu z materiałem obrabianym oraz na kierunki przemieszczeń obrabianego materiału, posłużono się metodą całkowania jawnego zwaną również metodą różnic centralnych. W metodzie tej równanie opisujące ruch obiektu można zapisać w postaci [5]:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{r}}(\tau) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{r}}(\tau) + \mathbf{K}\mathbf{r}(\tau) = \mathbf{R}(\tau) \quad (2)$$

gdzie: \mathbf{M} , \mathbf{C} i \mathbf{K} są odpowiednio stałymi w czasie macierzami: masy, tłumienia i sztywności układu. Przez \mathbf{R} oznaczono wektor obciążenia zewnętrznego, a $\ddot{\mathbf{r}}$, $\dot{\mathbf{r}}$, \mathbf{r} są wektorami przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia węzłów układu.

2.1. ANALIZA CECH GEOMETRYCZNYCH ZIARNA ŚCIERNEGO W ORIENTACJI GO_1 I GO_2

W określaniu cech geometrycznych strefy kontaktu naroża ziarna z obrabianym materiałem ważne jest ustalenie położenia i kształtu powierzchni aktywnych naroży ostrza,



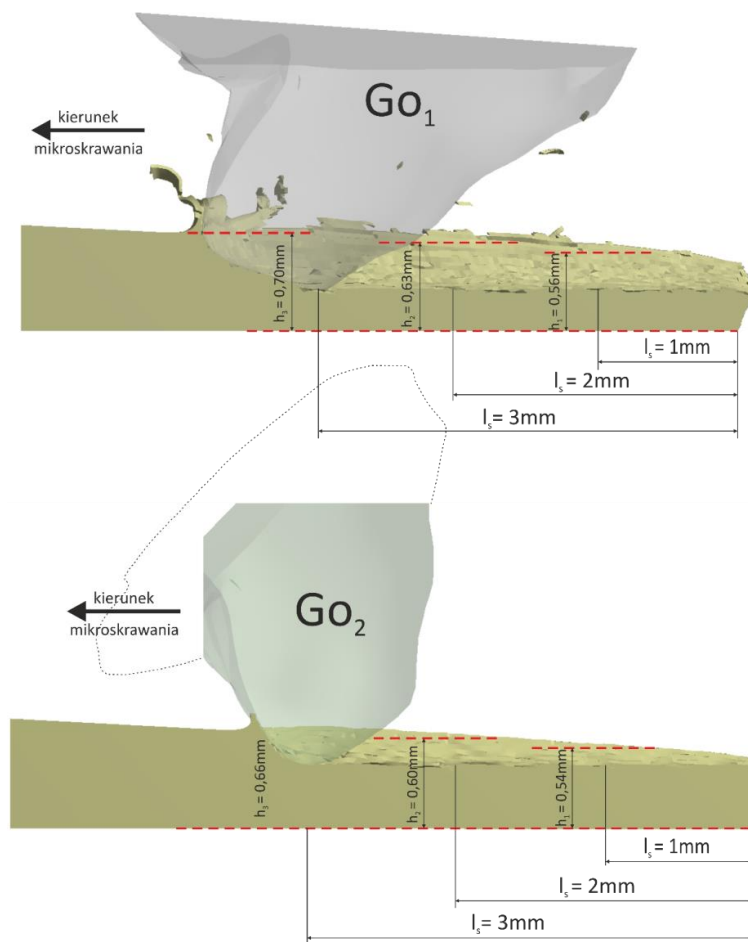
Rys. 1. Parametry geometryczne naroża ziarna ściernego dla różnych jego orientacji: a) GO₁ – cechy geometryczne ziarna w orientacji O₁ względem kierunku ruchu głównego, b) GO₂ – cechy geometryczne ziarna w orientacji O₂ względem kierunku ruchu głównego

Fig. 1. The geometric parameters of the corners of the abrasive grain for its various orientation: a) GO₁ - geometrical characteristics of grain orientation O₁ in the direction of movement of the main, b) GO₂ - geometrical characteristics of the grain orientation of O₂ in the direction of movement of the main

a także parametrów wierzchołka ziarna ε i γ (rys. 1a i 1b), które mają wpływ na przemieszczenia się obrabianego materiału podczas mikroskrawania.

Do analizy wyselekcjonowano ziarno ściernie, które zostało wykorzystane jako model dla dwóch przypadków jego orientacji GO_1 oraz GO_2 . Stereometria strefy kontaktu dla orientacji GO_1 charakteryzuje się klinową powierzchnią natarcia ziarna z wyraźną krawędzią dla małych zagłębień, pochyloną pod kątem $\gamma_1 = -80^\circ$, a dla zagłębień większych od h_3 , pochyloną pod kątem $\gamma_3 = 5^\circ$. Geometria strefy kontaktu dla orientacji GO_2 cechuje się w niewielkim stopniu klinową powierzchnią natarcia z asymetrycznym położeniem słabo zaznaczonej krawędzi i dużą powierzchnią płaską, dla większych głębokości nieco wklęsłą powierzchnią natarcia (80% powierzchni natarcia), pochyloną pod kątem $\gamma = -60^\circ$ do -40° (dla większych zagłębień).

Geometria ziaren została przeanalizowana w trzech płaszczyznach, w których należy wyodrębnić te cechy stereometryczne, które wpływają na boczne przemieszczenia materiału. W płaszczyźnie A-A, która jest płaszczyzną równoległą do kierunku pracy ziarna, określa się parametry ε oraz r . W płaszczyznach równoległych do płaszczyzny podstawy przedmiotu, oddalonych o h_1 , h_2 , h_3 od najniższego punktu naroża, można wyróżnić parametry opisujące szerokość i długość strefy styku. (rys. 2).



Rys. 2. Miejsca pomiarowe analizowanej stereometrii ziarna ściernego GO_1 oraz GO_2
Fig. 2. Places the measuring analyzed stereometry abrasive grain GO_1 and GO_2

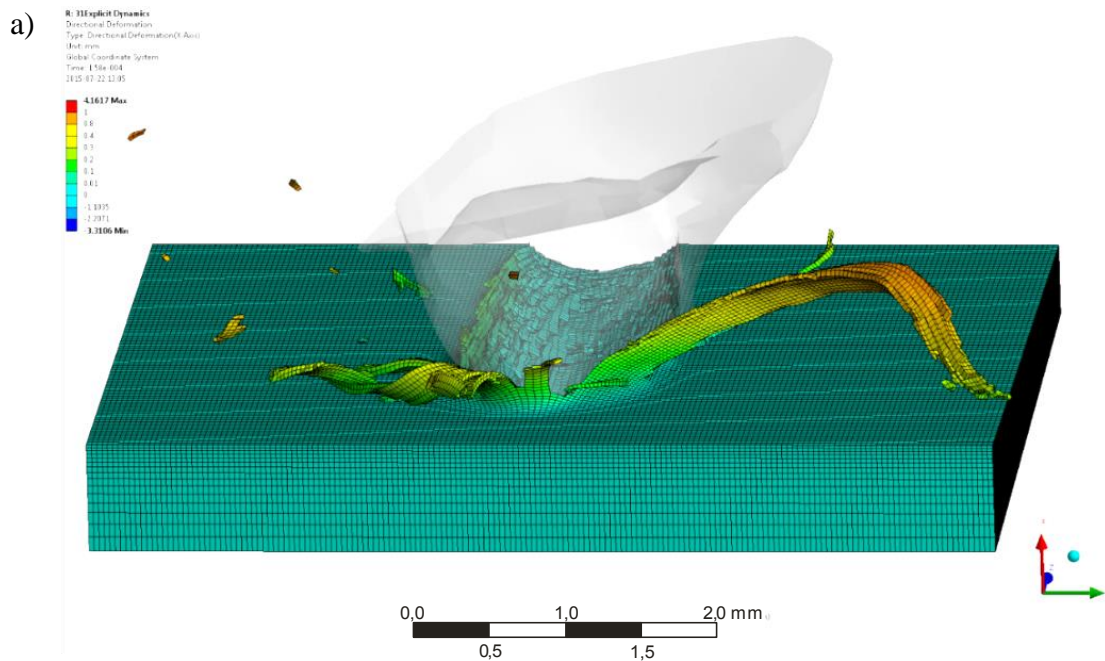
Cechy geometryczne strefy kontaktu dla ziarna ściernego w orientacji GO_1 , w przekroju A-A, charakteryzują się dla głębokości h_1 , h_2 i h_3 zróżnicowanymi kątami ε wynoszącymi odpowiednio: $\varepsilon_1 = 70^\circ$, $\varepsilon_2 = 51^\circ$, $\varepsilon_3 = 76^\circ$, $\varepsilon_4 = 56^\circ$. W strefie aktywnej pracy mikronaróża można wyróżnić różne promienie dla trzech analizowanych zagłębień ziaren $r_1 = 0,33$ mm, $r_2 = 0,75$ mm, $r_3 = 0,4$ mm, $r_4 = 0,3$ mm.

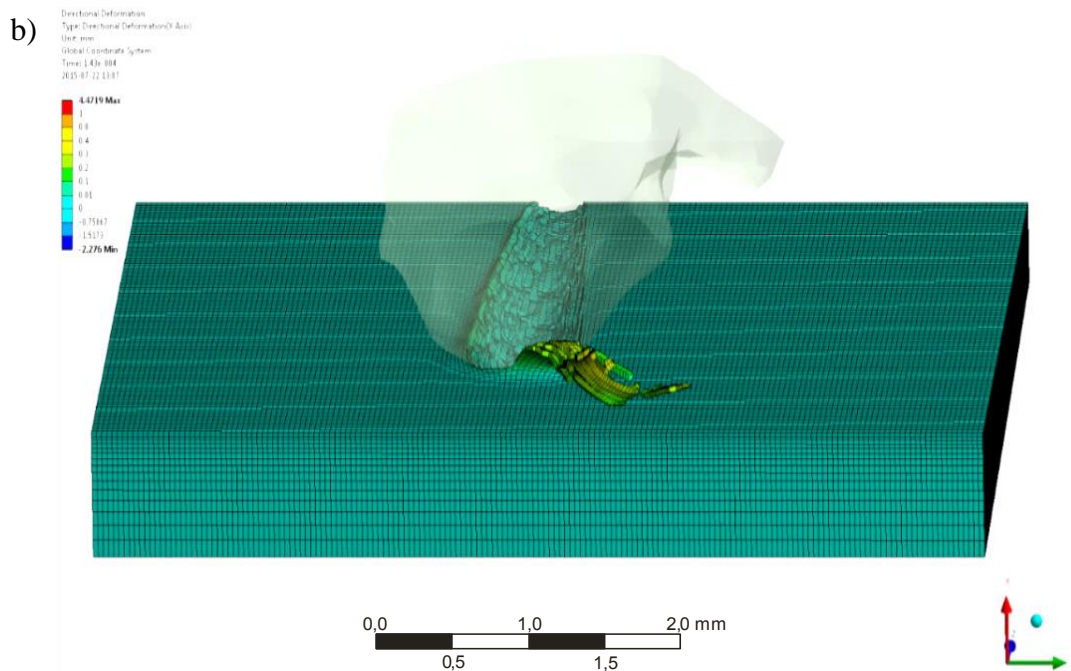
Dla tego samego ziarna w orientacji GO_2 , w przekroju A-A widać różnicę w ukształtowaniu naroża, która wyróżnia się tylko małymi zmianami kątów ε , które wynoszą $\varepsilon_1 = 53^\circ$, $\varepsilon_2 = 34^\circ$. Promienie naroża wynoszą odpowiednio $r_1 = 0,23$ mm, $r_2 = 0,17$ mm oraz $r_3 = 0,31$ mm. Analiza orientacji ziarna względem kierunku mikroskrawania ma znaczny wpływ na proces formowania przemieszczeń obrabianego materiału.

Stereometria ziarna ściernego GO_1 (rys. 1a) w przekrojach h-h, charakteryzuje się wypukłością o dużym promieniu R . Cechy ziarna opisane parametrami b_z , (b_1+b_2) oraz a_p (rys. 1b) w płaszczyznach h_1 , h_2 , h_3 , pozwalają określić cechy przepływu materiału i ocenić relację między tworzeniem przedniego mikrowióra oraz bocznych wypływek. W przypadku orientacji ziarna GO_2 w płaszczyznach h_2 - h_2 oraz h_3 - h_3 , widoczna jest wklęsłość o promieniu R_3 .

2.2. MECHANIZM USUWANIA MATERIAŁU

Analizując wyniki symulacji procesu mikroskrawania dla geometrii naroża w orientacji GO_1 , zaobserwowano, że znaczna część obrobionego materiału została przekształcona do postaci bocznych wiórów wstęgowych (rys. 3a). Wyniki formowania przemieszczeń materiału dla geometrii naroża w orientacji GO_2 , wskazują natomiast na powstawanie przedniego wióra przed ostrzem.





Rys. 3. Wyniki przemieszczeń wyływek oraz wiórów po pokonaniu przez ziarno drogi 3mm; a) w orientacji GO_1 , b) w orientacji GO_2

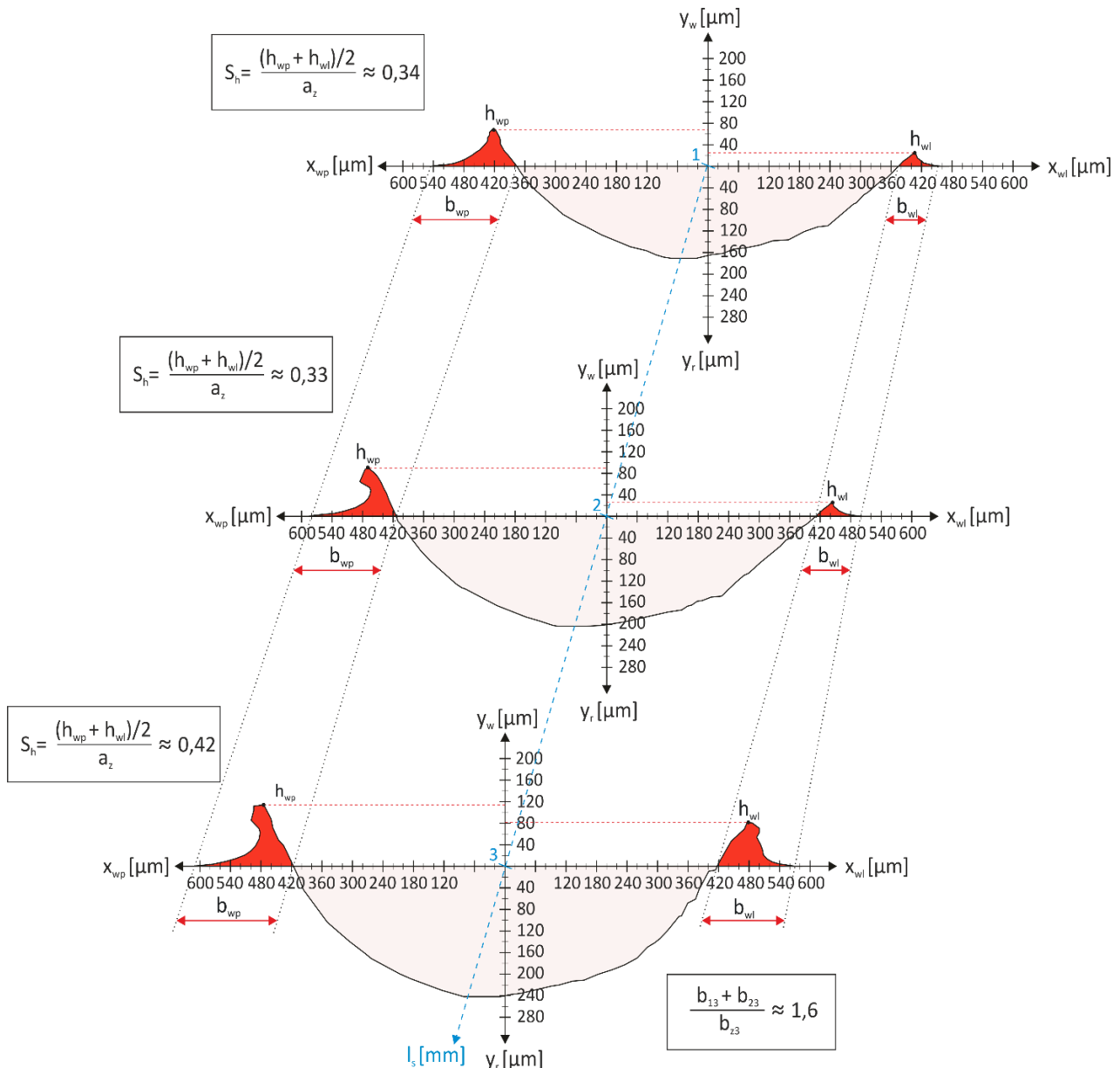
Fig. 3. Results of displacements burrs and chips after the defeat of the grain road 3mm; a) orientation GO_1 , b) orientation GO_2

Na sposób oddzielania materiału wpływają cechy ziarna (rys. 1a, 1b) opisane jako stosunek $(b_{1h+n} + b_{2h+n})/b_z$, gdzie b_z oznacza szerokość ziarna, a b_{1h+n} i b_{2h+n} opisują długość strefy styku po lewej i prawej stronie ziarna. Można więc zauważyć, że w przekroju $h_3 - h_3$ ziarno w orientacji GO_1 ma ponad trzykrotnie większy stosunek $b_{13} + b_{23}/b_z$ od ziarna w orientacji GO_2 . Występująca w geometrii o orientacji GO_2 wklęsłość oznaczona promieniem $R3$ (rys. 1b) stwarza korzystne warunki do formowania przedniego wióra wstęgowego (rys. 3a).

Rysunki 4 i 5 przedstawiają wyniki analizy orientacji ziarna GO_1 i GO_2 , które zostały zaprezentowane w formie przekrojów bocznych wyływek materiału po mikroskrawaniu ziarnem ściernym. Analizę bocznych przemieszczeń przeprowadzono w śladzie po mikroobróbce narożami ziarna na odległości $l_1 = 1$ mm, $l_2 = 2$ mm i $l_3 = 3$ mm.

Analizując wyniki dla dwóch orientacji przestrzennych ostrza przedstawione na rysunkach 4 i 5 zaobserwowano wpływ zmiany ustawienia ziarna ściernego w stosunku do kierunku pracy ziarna na proces formowania bocznych przemieszczeń materiału.

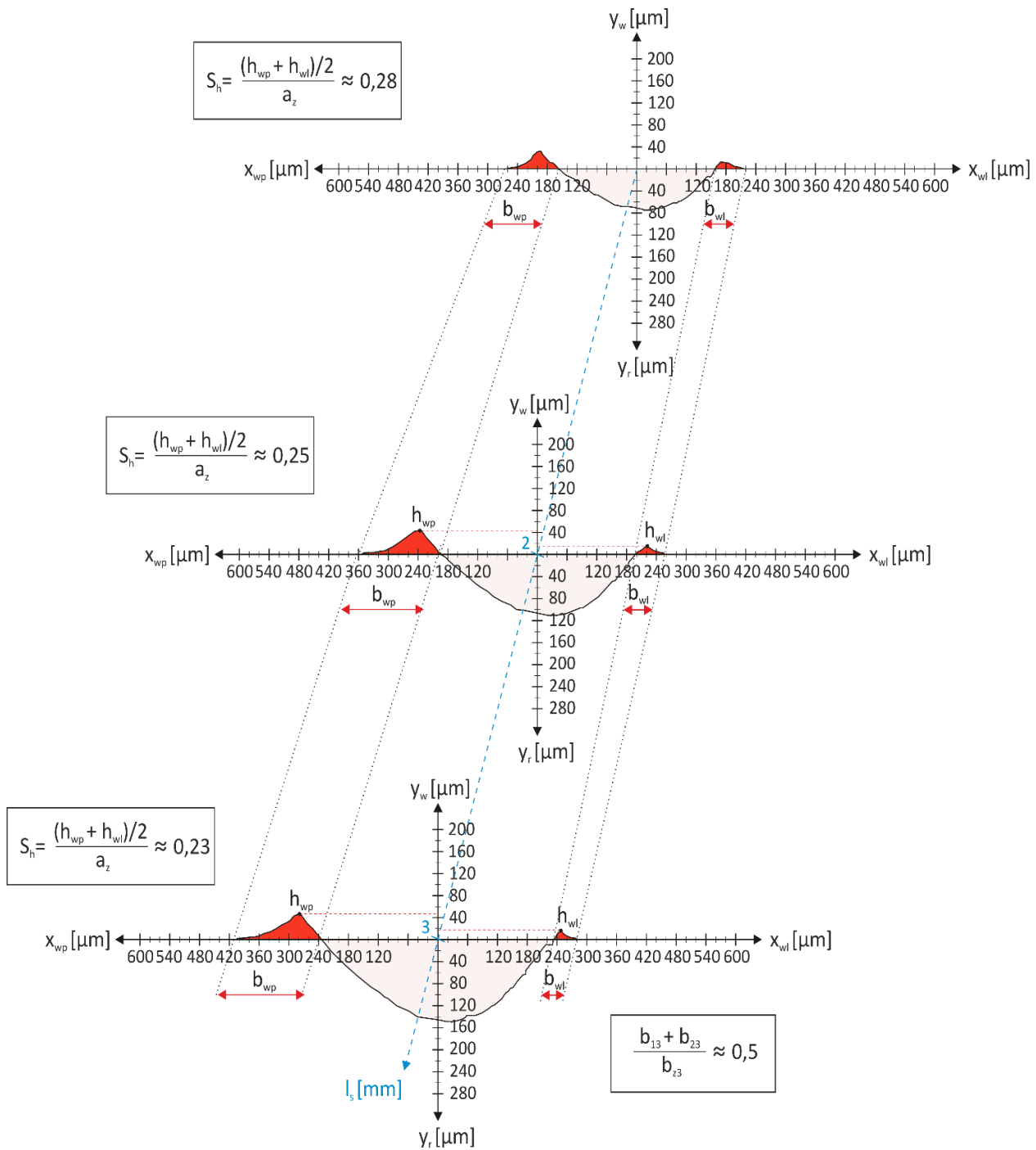
Wyniki analizy procesu mikroskrawania ziarnem w orientacji GO_1 (rys. 1a), posiadającym dwie klinowe płaszczyzny natarcia, pozwalają zaobserwować powstawanie wyływek bocznych o znacznych rozmiarach. Należy wyróżnić sposób formowania wyływki z prawej strony, której kształt posiada cechy niepożądane w procesach szlifowania. Widoczna zmiana kształtu wyływki z lewej oraz z prawej strony śladu obróbkowego pokazuje wpływ cech geometrycznych mikronaroża w przekrojach h_1-h_1 , h_2-h_2 , h_3-h_3 (rys. 4) na boczne przepływy materiału. Duże promienie r naroża ziarna ściernego, także wpływają na sposób przemieszczenia się obrabianego materiału.



Rys. 4. Wyniki analizy cech geometrycznych wyływek bocznych po pokonaniu przez ziarno drogi 3 mm dla orientacji GO_1 ; h_{wp} – wysokość wyływki prawej, h_{wl} – wysokość wyływki lewej, b_{wp} – szerokość wyływki prawej, b_{wl} – szerokość wyływki lewej, l_s – droga mikroskrawania

Fig. 4. Results of the analysis of geometric features burrs side after defeating the grain of the road 3 mm orientation GO_1 ; h_{wp} – the right amount of burrs, h_{wl} – the height of burrs left, b_{wp} – the width of the burrs right, b_{wl} – the width of the burrs left as, l_s – road microcutting

Wyniki przedstawione na rysunku 5 dotyczą ziarna orientowanego GO_2 w sposób przedstawiony na rys. 1b. Analizowany proces mikroskrawania ziarnem, którego cechy naroża znacznie odbiegają od naroża ziarna w ustawieniu GO_1 (rys. 4), wykazuje także tendencję do formowania bocznych przemieszczeń, ale o zdecydowanie mniejszych objętościach. Średnie wysokości wyływek w stosunku do zagłębienia ziarna S_h w obrabiany materiał dla orientacji naroża GO_1 wynoszą od 0,33 do 0,42. Dla orientacji naroża GO_2 wynoszą odpowiednio od 0,23 do 0,28 (rys. 7).

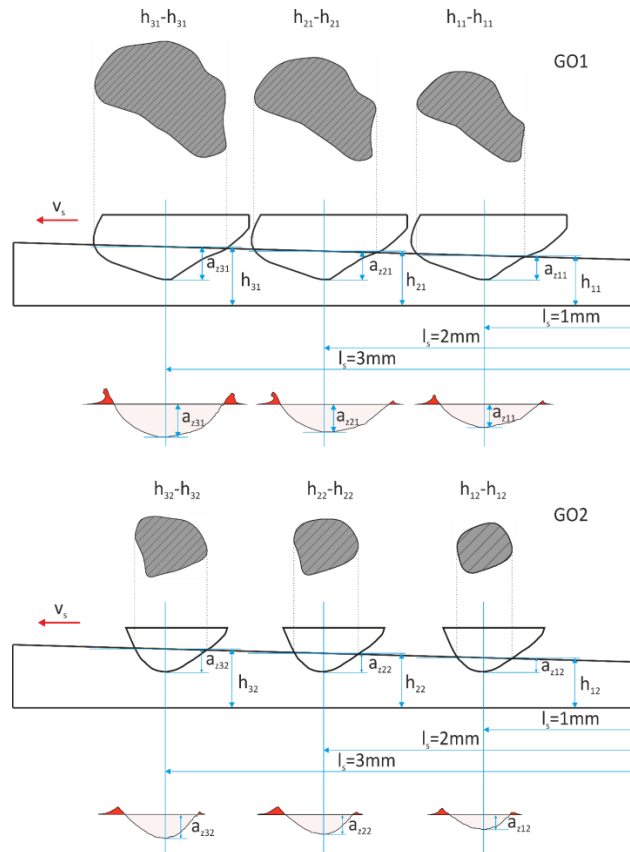


Rys. 5. Wyniki analizy cech geometrycznych wypływek bocznych po pokonaniu przez ziarno drogi 3 mm dla orientacji GO₂; h_{wp} – wysokość wypływki prawej, h_{wl} – wysokość wypływki lewej, b_{wp} – szerokość wypływki prawej,

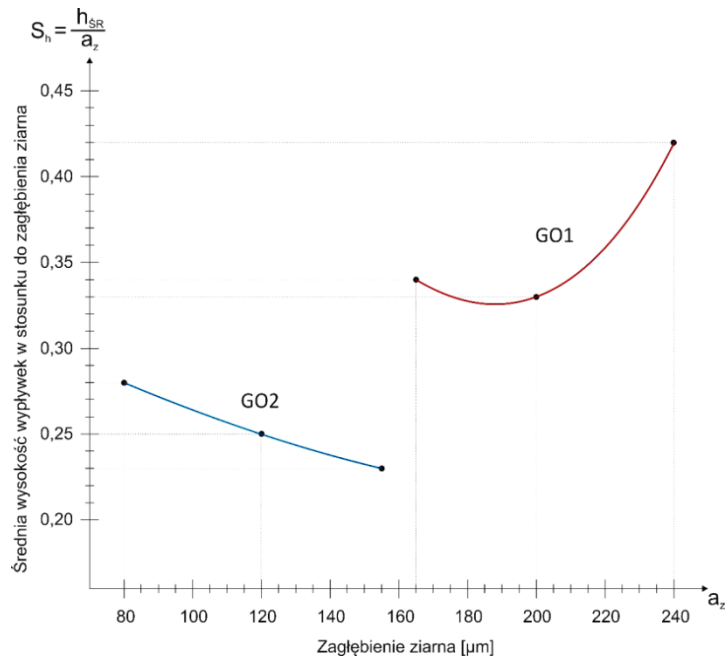
b_{wl} – szerokość wypływki lewej, l_s – droga mikroskrawania

Fig. 5. Results of the analysis of geometric features burrs side after defeating the grain of the road 3 mm orientation GO₂; h_{wp} – the right amount of burrs, h_{wl} – the height of burrs left, b_{wp} – the width of the burrs right, b_{wl} – the width of the burrs left as, l_s – road microcutting

Wyniki zaprezentowane na rysunku 6 i 7 potwierdzają, że o bocznych przepływach materiału decydują cechy naroża ziarna (rys. 1a, b) opisane jako stosunek $(b_{1h+n} + b_{2h+n})/b_z$.



Rys. 6. Cechy strefy styku ziarna w orientacji oznaczonej GO1 i GO2 dla różnych położeń wzdłuż toru skrawania
 Fig. 6. Features of the contact zone of grain orientation indicated GO1 and GO2 for different positions along the cutting path



Rys. 7. Średnie wysokości wypływek w stosunku do zagłębienia ziarna w obrabiany materiał dla orientacji naroża GO1 oraz GO2

Fig. 7. The average height of burrs to the penetrate in the grain orientation of the workpiece corner GO1 and GO2

W analizowanym przypadku można zauważyć ponad 3 krotnie niższą wartość tego stosunku dla ziarna w orientacji GO_2 . Wartość stosunku $S_b=(b_1+b_2)/b_z$ dla naroża ziarna w orientacji GO_1 wynosi 1,6, a dla GO_2 wynosi 0,5 dla przekroju h_3-h_3 . Korzystna więc jest taka orientacja ziarna dla której stosunek $(b_{1h+n} + b_{2h+n})/b_z < 1$. Można zaobserwować (rys. 7), że wraz ze wzrostem zagłębienia się ziarna (w orientacji GO_2) w materiał, wysokości wypływek pozostają na stałym poziomie, co świadczy o dużej efektywności usuwania materiału.

3. PODSUMOWANIE

Analizując mechanizm oddzielania materiału oraz bocznych jego przemieszczeń można stwierdzić, że orientowanie ziarna względem kierunku ruchu głównego zwiększające szerokość warstwy skrawanej jest jednym ze sposobów zmniejszenia niekorzystnych bocznych przepływów materiału (rys. 6). Zmniejszenie bocznych przepływów materiału występuje dla ziaren posiadających płaską lub korzystniej wklęsłą powierzchnię natarcia o niewielkim kącie pochylenia γ (zazwyczaj ujemnych dla naroży ziaren ściernych). Niekorzystne są takie cechy naroża jak małe kąty ϵ , które wpływają na skrócenie drogi bocznych przepływów materiału powodując powstawanie wypływek bocznych o znacznych rozmiarach. Wyniki zaprezentowanych analiz mogą znaleźć zastosowanie w projektowaniu narzędzi ściernych służących do obróbki wykańczającej z zastosowaniem folii ściernych, w których możliwość orientowania ziaren ściernych może przynieść korzyści w postaci zwiększenia efektywności procesu, zmniejszenia energii właściwej oraz uzyskiwania wyższej dokładności obróbki.

LITERATURA

- [1] ANDERSON D., WARKENTIN A., BAUER R., 2011, *Experimental and numerical investigations of single abrasive-grain cutting*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 51, 898-910.
- [2] ANDERSON D., WARKENTIN A., BAUER R., 2012, *Comparison of spherical and truncated cone geometries for single abrasive-grain cutting*, Journal of Materials Processing Technology, 212, 1946-1953.
- [3] DOMAN D.A., WARKENTIN A., BAUER R., 2009, *Finite element modelling approaches in grinding*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 49, 109-116.
- [4] KACALAK W., BAŁASZ B., TOMKOWSKI R., LIPIŃSKI D., KRÓLIKOWSKI T., TANDECKA K., RYPINA Ł., 2014, *Problemy naukowe i kierunki rozwoju procesów mikroobróbki ściernej*, Mechanik, 8-9/ 157-170/724.
- [5] KACALAK W., KRÓLIKOWSKI T., RYPINA Ł., 2014, *Modelowanie naprężeń i przemieszczeń materiału w strefie mikroskrawania pojedynczym ziarnem ściernym z wykorzystaniem środowiska Ansys – cz. II*, Mechanik, 8-9/ 171-175/724.
- [6] KACALAK W., RYPINA Ł., TANDECKA K., BAŁASZ B., 2016, *Modelowanie w środowisku Ansys procesów mikroskrawania materiałów o różnych właściwościach*, Mechanik, 8-9, 1134-1136.
- [7] KLOCKE F., WIRTZ C., MUELLER S., MATTFELD P., 2016, *Analysis of material behavior of cemented carbides (WC-Co) in grinding by single grain cutting tests*, Procedia CIRP, 46, 209-213.
- [8] NIEŚLONY P., GRZESIK W., CHUDY R., HABRAT W., 2015, *Meshing strategies in FEM simulation of the machining process*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 15, 62-70.
- [9] NIŻANKOWSKI CZ., MATRAS A., 2010, *Wpływ gatunku ścierniwa na dokładność wałków stalowych po szlifowaniu ściernicowym*, Inżynieria Maszyn, 15/3, 55-68.

- [10] RASIM M., MATTFELD P., KLOCKE F., 2015, *Analysis of the grain shape influence on the chip formation in grinding*, Journal of Materials Processing Technology, 226, 60-68.
- [11] SIMA M., ÖZEL T., 2010, *Modified material constitutive models for serrated chip formation simulations and experimental validation in machining of titanium alloy Ti-6Al-4V*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50, 943-960.

INFLUENCE OF GEOMETRIC ZONES CHARACTERISTIC MICROCUTTING WITH SINGLE ABRASIVE GRAIN IN THE PROCESS OF SEPARATION WORKPIECE

The paper presents the results of analysis of the impact of geometrical features of the zone Microcutting abrasive grain on the method of forming chips and burrs. Model tests were carried out of the process Microcutting system Ansys 15. Geometrical characteristics Microcutting zone defined by a set of parameters characterizing the sections corners of the grain at different levels of its apex. When making changes to the orientation of the corners of the abrasive grains obtained differentiation of geometrical contact surface of grain and processed material. The authors conducted a computer simulation using the finite element method, and analyzed the influence of geometrical features micro corners abrasive grains on the removal mechanism and forming flow side of the workpiece.

Keywords: *Ansys, modeling, microcutting, grinding*