

mgr inż. Mariola CHOROMAŃSKA, ch.mariola@wp.pl
dr inż. Wojciech MUSIAŁ, wmusial@vp.pl
Politechnika Koszalińska

WPŁYW GEOMETRII OSTRZA SKRAWAJĄCEGO ORAZ GŁĘBOKOŚCI JEGO WNIKANIA NA STRUKTURĘ GEOMETRYCZNA I WARSTWĘ WIERZCHNIĄ MATERIAŁU CERAMICZNEGO

Streszczenie: W pracy przedstawiono symulację skrawania pojedynczym ziarnem ściernym materiału ceramicznego. Opracowano model materiałowy zastosowany w symulacji. Celem zrealizowanej pracy było określenie naprężeń w warstwie wierzchniej obrabianego materiału w funkcji zagłębienia wierzchołka ziarna ściernego oraz zmiennej jego geometrii.

INFLUENCE OF GEOMETRY OF BLADE CUTTING OFF THE AS WELL AS DEPTH HIS PENETRATION ON GEOMETRICAL STRUCTURE AND THE TOP LAYER OF CERAMIC MATERIAL

Summary: This paper presents the simulation of ceramic material cutting off with single abrasive crystallite. Material model applied in simulation was has worked out. The aim of realized work was qualification of strains in top layer of worked material in function the depression of top of abrasive crystallite as well as of his changing geometry.

1. WPROWADZENIE

Podstawowym ograniczeniem stosowania ceramiki jest jej podatność na propagację kruchego pęknięcia, która pojawia się w wyniku przyłożenia naprężenia zewnętrznego, ponad wartość krytyczną [3]. Powstające mikropęknięcia podpowierzchniowe powstające w wyniku obróbki materiału ceramicznego mogą ulegać powiększeniu, tworząc pęknięcia krytycznej długości Griffitha, co w konsekwencji może doprowadzić do przedwczesnego zniszczenia wyrobu podczas jego eksploatacji.

Tworzywa ceramiczne wykazują dużą wartość modułu Younga w porównaniu z metalami, przez co ich odkształcenia niszczące są o jeden lub więcej rzędów wartości mniejsze w porównaniu z odkształceniami metali.

Znajomość mechanizmu szlifowania ceramiki odgrywa dużą rolę, gdyż materiały te w trakcie kształtowania wykazują dużą wrażliwość na pęknięcia i uszkodzenia, co powoduje zbyt wczesne zniszczenia części ceramicznej w przypadku przekroczenia granicznych naprężeń mechanicznych [2, 3].

Obróbka materiałów ceramicznych zachodzi najczęściej w warunkach kruchego pęknięcia, gdzie materiał ceramiczny w postaci ostro odciętych wiórów usuwany jest ze strefy szlifowania. Efektem tego jest powstawanie naprężeń rozciągających w warstwie wierzchniej szlifowanego materiału. Jeśli powierzchnie obrobione są powierzchniami funkcyjnymi, to konieczne jest zapewnienie realizacji zakładanej wartości chropowatości powierzchni ale również uzyskanie w trakcie obróbki optymalnych warunków w warstwie wierzchniej obrabianego materiału [1].

Przykładem takich powierzchni mogą być krawędzie ceramicznych płytek skrawających, które po formowaniu i wypaleniu szlifuje się w celu uzyskania odpowiednio zmodyfikowanej (umocnionej) warstwy wierzchniej.

Zaprezentowane w referacie symulacje komputerowe mają na celu zgrubne oszacowanie głębokości wnikania ziaren ściernych w obrabiany materiał w taki sposób, aby wartości naprężeń w warstwie wierzchniej zostały zminimalizowane. Dodatkowym ważnym zagadnieniem jest analiza geometrii ziaren ściernych pracujących w strefie szlifowania tak aby zredukować efekty kruchego pęknięcia obrabianego materiału ceramicznego.

W niniejszej pracy opracowano algorytm analizy numerycznej w programie ANSYS/LS-Dyna, przy wykorzystaniu metody elementów skończonych wraz z warunkami początkowymi i brzegowymi [4, 5]. Model ten wykorzystano do analizy stanów odkształceń i naprężeń dla przypadku procesu szlifowania pojedynczym ziarnem ściernym (hipotetyczny materiał o idealnej sztywności), ceramiki korundowej (Al_2O_3).

2. MODEL KOMPUTEROWY

W opracowanej aplikacji w środowisku Ansys/LS DYNA 11 obiekt zamodelowano jako płaski (2D), dla przypadku płaskiego stanu odkształcenia i przestrzennego stanu naprężenia [5]. Narzędzie traktowano jako ciało idealnie sztywne ($E \rightarrow \infty$), natomiast materiał obrabiany jako sprężysto/lepko – plastyczny Cowpera – Symondsa. W modelu wykorzystuje się warunek plastyczności Hubera – Misesa – Hencky'ego oraz stowarzyszone prawo płynięcia. Model Cowpera – Symondsa uwzględnia liniowo-izotropowe ($\beta = 1$), kinematyczne ($\beta = 0$) (przyjęte w symulacjach) lub mieszane ($0 < \beta < 1$) wzmocnienie plastyczne oraz wpływ intensywności prędkości odkształcenia plastycznego, według zależności potęgowej [3]:

$$\sigma_p = [1 + (\dot{\phi}_i^{(p)} / C)]^m (R_e + \beta E_p \phi_i^{(p)}) \quad (1)$$

β – jest parametrem umocnienia,

R_e [MPa] – początkowa, statyczna granica plastyczności,

$\dot{\phi}_i^{(p)}$ [s^{-1}] – intensywność prędkości odkształceń plastycznych,

C [s^{-1}] – parametr materiałowy określający wpływ intensywności prędkości odkształcenia plastycznego,

$m = 1/P$ – stała materiałowa określająca wrażliwość materiału na prędkość odkształcenia plastycznego,

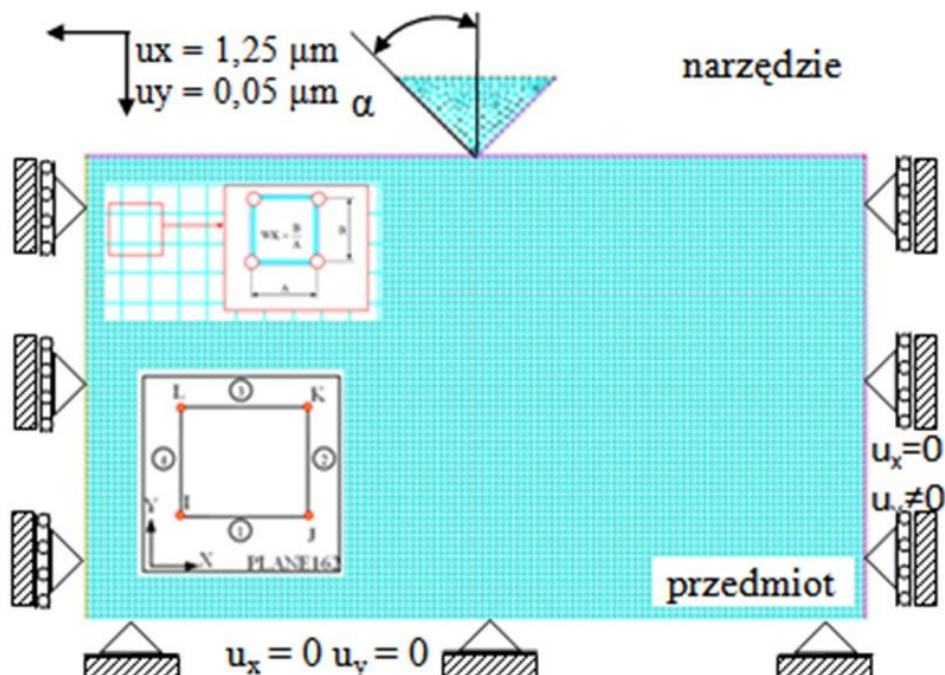
$\phi_i^{(p)}$ [-] – intensywność odkształcenia plastycznego,

$E_p = \frac{E_T E}{E - E_T}$ – parametr materiałowy zależny od modułu umocnienia plastycznego

$E_T = \partial \sigma_p / \partial \phi_i^{(p)}$ i modułu sprężystości Younga E .

Zarówno przedmiot, jak i narzędzie dyskretyzowano elementami czterowęzłowymi typu PLANE 162, z liniową funkcją kształtu. W obszarze kontaktu warunki brzegowe dla przemieszczeń są nieznane. Na narzędzie nałożono przemieszczenie w kierunku y na głębokość równą $u_y = 0,05 \mu m$. Odebrano translacyjne oraz rotacyjne stopnie swobody dla węzłów na spodzie przedmiotu. Obliczenia przeprowadzono dla następujących danych materiałowych (Al_2O_3): początkowa granica plastyczności $R_e = 4500$ MPa, współczynnik Poissona $\nu = 0,24$ i moduł Younga $E = 345$ GPa, moduł umocnienia linowego $E_T = 0$, parametr umocnienia $\beta = 1$, intensywności prędkości odkształcenia plastycznego $C = 1 \cdot 10^{12}$, wrażliwość materiału na prędkość odkształcenia plastycznego $m = 1/P$ ($P = 1$) oraz odkształcenie graniczne $\varepsilon_{kr} = 0,03$. Przyjęto wartość współczynnika tarcia na powierzchniach kontaktu $\mu \approx 0$ oraz współczynnik kształtu ($WK = A/B = 1$) prostokątnego elementu skończonego, zdefiniowany jako stosunek szerokości A do wysokości B

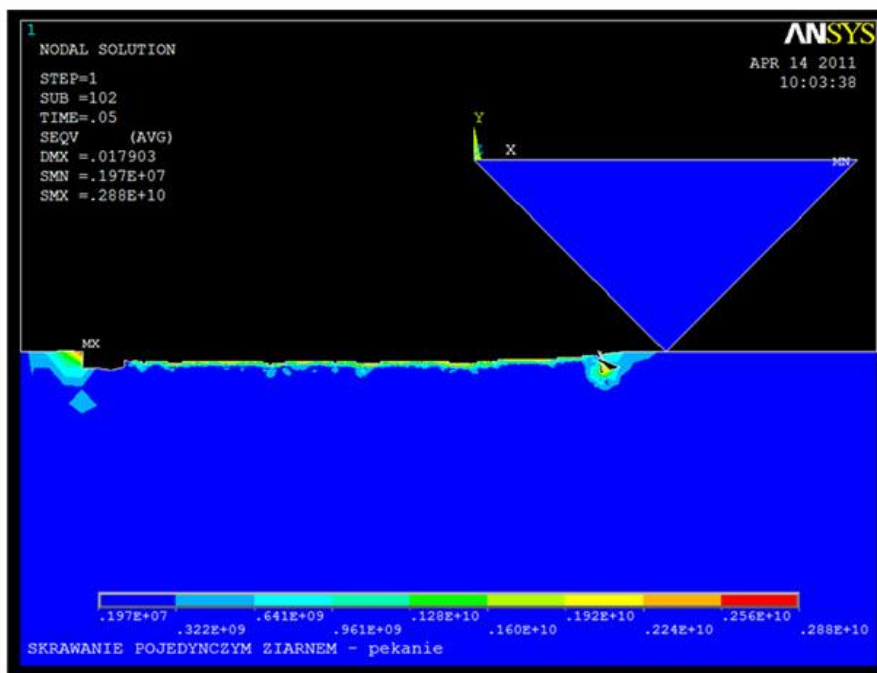
elementu (rys. 1). Podczas analizy przyjęto trzy wartości kąta wierzchołkowego $\alpha = 30^\circ$, 45° i 60° , zmieniano również promień zaokrąglenia wierzchołka.



Rys. 1. Dyskretny model komputerowy w aplikacji SZLIFOWANIE w systemie ANSYS do symulacji procesu szlifowania ceramiki z widocznymi warunkami brzegowymi dla przemieszczeń

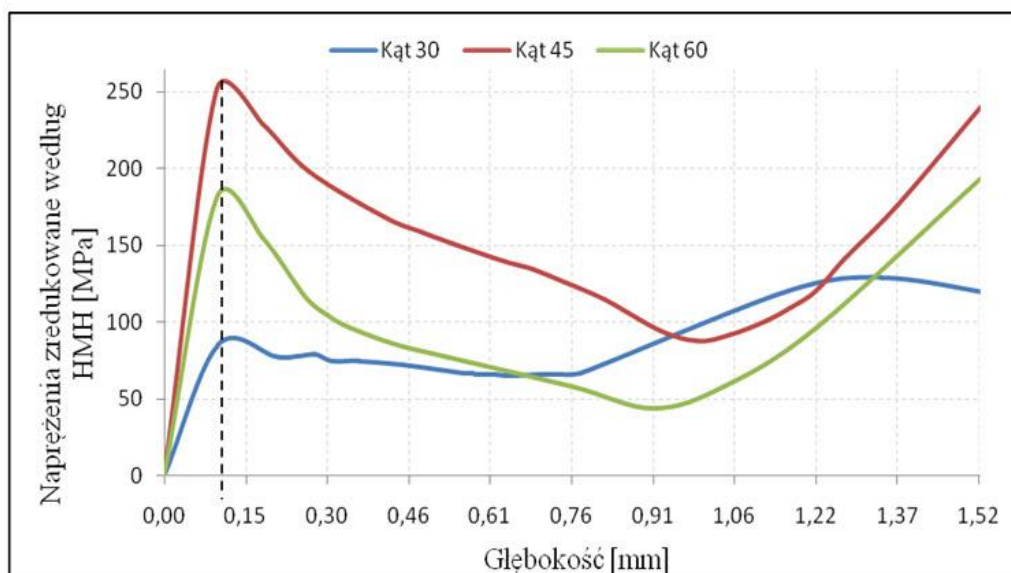
3. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ

Przykładowe wyniki symulacji numerycznych dla stanów naprężeń występujących w warstwie wierzchniej (WW) ceramiki po procesie szlifowania, przedstawiono na rysunku 2. Ziarno o ostrym ostrzu ogranicza pole naprężeń ściskających do skrajnie małego obszaru pod jego wierzchołkiem. W kierunku promieniowym istnieją wyłącznie naprężenia rozciągające, mogące prowadzić do powstawania pęknięć. Ziarno o dużym kącie wierzchołkowym ostrza, odpowiadające przypadkowi obciążenia Hertza, wywołuje pole naprężeń, składające się głównie z naprężeń ściskających. Na wykresach przedstawiono rozkład naprężeń dla poszczególnych kątów wierzchołkowych ziarna ściernego (rys. 3).



Rys. 2. Mapa naprężeń zastępczych według hipotezy HMM dla kąta wierzchołkowego $\alpha = 45^\circ$

Z przeprowadzonej analizy numerycznej dla różnych wartości kąta wierzchołkowego ziarna ściernego na wartość naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera – Misesa – Henckiego stwierdzono jego istotny wpływ. Na rysunku 3 linią przerywaną oznaczono granicę do jakiej głębokości w materiale zachodzi kruche pęknięcie materiału ceramicznego. Wartość ta dla wszystkich analizowanych wartości kąta wierzchołkowego wynosi ($< 0,116$). Poniżej tej granicy materiał odkształca się plastycznie (Rys. 3).

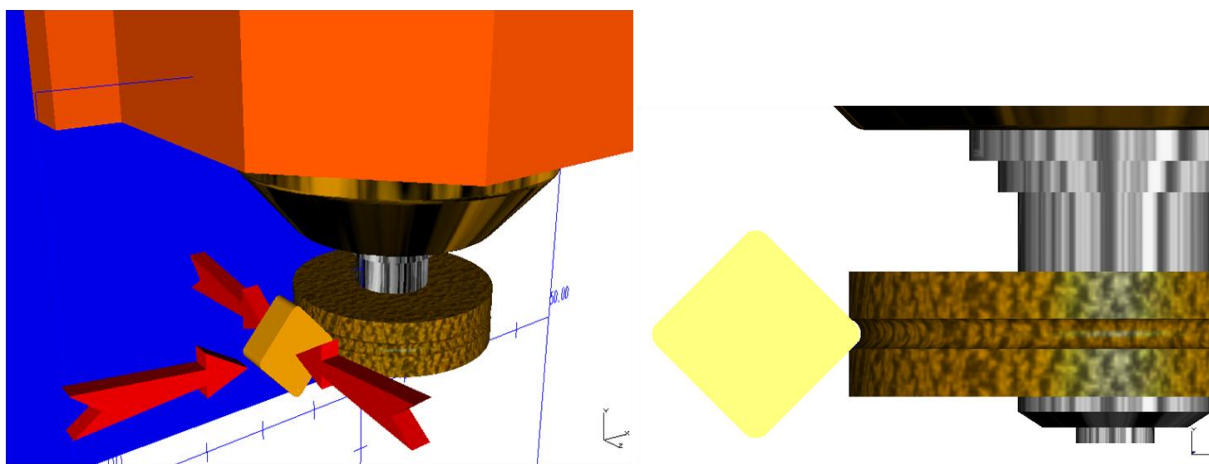


Rys. 3. Wykres zależności naprężeń od głębokości dla różnych wartości kąta wierzchołkowego

Oczekuje się, że możliwe będzie uzyskanie w strefie szlifowania efektu uplastycznienia warstwy skrawanej materiału ceramicznego, a dzięki temu ulepszenie jej (umocnienie) i zwiększenie jej wytrzymałości. Kolejne etapy badań będą podążały w kierunku modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów ceramicznych na skutek zastosowania optymalnych nastaw dosuwu oraz posuwu, a także prędkości szlifowania, w celu otrzymywania jak najmniej zdefektowanych powierzchni obrabianych oraz warstwy wierzchniej materiału ceramicznego.

4. BUDOWA STANOWISKA BADAWCZEGO

W celu rzeczywistej realizacji procesu szlifowania płytek ceramicznych, wykorzystane zostanie stanowisko badawcze do weryfikacji symulacji pojedynczym ziarnem ściernym materiałów ceramicznych. Stanowisko to będzie również spełniać zadanie precyzyjnej szlifierki umożliwiającej kształtowanie krawędzi tnącej płytki skrawającej, jak i odpowiednio zmodyfikowanej warstwy wierzchniej ostrza skrawającego (rys. 4). Zakłada się, że docelowo możliwe będzie osiągnięcie uplastycznienia warstwy wierzchniej obrabianego materiału i co za tym idzie wyraźną redukcję kruchego pęknięcia w warstwie wierzchniej obrabianego materiału. Kształtowanie krawędzi płytek narzędziowych będzie realizowane z wykorzystaniem zespołu dosuwu nanometrycznego oraz monitorującego ten proces sygnału EA oraz składowych sił w strefie szlifowania. W dalszych etapach badań przewiduje się oprócz szlifowania powierzchni bocznych płytek, kształtować również promień zaokrąglenia płytki (Rys. 4).



Rys. 4. Sposób realizacji szlifowania płytek ceramicznych

W tego typu badaniach konieczne będzie opracowanie specjalnych narzędzi ściernych do realizacji obróbki ostrzy skrawających. Stanowisko badawcze spełniać będzie również zadanie weryfikujące poprawność realizacji symulacji w odniesieniu do badania skrawności pojedynczym ziarnem ściernym. Stanowisko do weryfikacji symulacji dla pojedynczego ziarna wyposażone jest również w zespół dosuwu nanometrycznego (liniowy oparty na zespole dosuwu nanometrycznego) oraz dwustopniowy system pozycjonowania ostrza występujący jako klasyczny CNC).

5. PODSUMOWANIE

Symulacje pozwoliły określić, w jakim stopniu zmiana głębokości wnikania ziarna ściernego w obrabiany materiał powoduje zmianę wartości naprężeń w jego warstwie wierzchniej. Symulacje te należy traktować jako rozpoznawcze, które zostaną poddane weryfikacji na stanowisku badawczym, tak aby możliwe było dostosowanie modelu komputerowego do rzeczywistych warunków oraz charakterystyki materiału obrabianego.

Głównym celem realizowanych badań będzie uzyskanie informacji o minimalizacji naprężeń rozciągających w strefie szlifowania na korzyść ulepszenia warstwy wierzchniej materiału obrabianego. W klasycznym procesie szlifowania materiałów ceramicznych, występuje mechanizm kruchego pęknięcia dla głębokości szlifowania powyżej 1 μm . Przy mniejszych głębokościach wnikania ziarna ściernego w materiał obrabiany, istnieje możliwość znacznej redukcji mechanizmu kruchego pęknięcia, jeśli tylko wektor naprężenia ścinającego wewnątrz materiału obrabianego nie przekroczy punktu granicy płynności. Dlatego tak ważnym parametrem procesu szlifowania ceramiki technicznej jest kształt ziarna ściernego, gdyż pole naprężeń rozciągających powstałych w materiale pod wpływem oddziaływania ziarna ściernego ma istotne znaczenie dla sposobu usuwania materiału. Uzyskane wyniki wykazują dużą zgodność z danymi dostępnymi w literaturze zarówno krajowej, jak i światowej.

Opracowana w systemie Ansys aplikacja jest próbą wykorzystania metody elementów skończonych do analizy naprężeń w warstwie wierzchniej materiału obrabianego. W dalszym etapie przewiduje się wykorzystanie tej aplikacji do wstępnego ustalenia parametrów obróbkowych, które należy nastawić na stanowisku badawczym aby uzyskać powierzchnię szlifowaną o korzystnych właściwościach warstwy wierzchniej.

LITERATURA

- [1] Oczóś K.: Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 1996.
- [2] Zagrajek T., Krzesiński G., Marek P.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2006.
- [3] Musiał W.: Badania procesu mikroszlifowania w warunkach ciągłego usuwania materiału ceramicznego. Rozprawa doktorska. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2007.
- [4] ANSYS LS – DYNA *User's Guide*.
- [5] Kukielka K.: Modelowanie i analiza numeryczna stanów deformacji i naprężeń w warstwie wierzchniej gwintów o zarysach trapezowym i łukowym walcowanych na zimno. Rozprawa doktorska. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2009.