

Wstępne badania czołowego szlifowania ze wspomaganie ultradźwiękowym ceramiki korundowej po wstępnym spieczeniu

Initial investigations of ultrasonic assisted face grinding of pre-sintered Al_2O_3 based ceramic material

ROMAN WADOWIK
MAREK MAGDZIAK
JANUSZ PORZYCKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.348

Procesy hybrydowe cieszą się coraz większą popularnością wśród naukowców oraz przedsiębiorców. Szlifowanie ze wspomaganie ultradźwiękowym jest jednym z wielu procesów hybrydowych. W pracy przedstawiono wybrane zagadnienia wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi szlifowania czołowego otworów. W badaniach zastosowano ceramikę korundową po wstępnym spieczeniu. Wykonano wstępne badania mające na celu porównanie wartości odchyłki okrągłości po procesie konwencjonalnym i hybrydowym. W trakcie realizacji procesu rejestrowano siłę osiową.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie, szlifowanie ze wspomaganie ultradźwiękowym, obróbka hybrydowa

Hybrid processes are becoming more popular among scientists and entrepreneurs. Ultrasonic assisted grinding is one of many hybrid processes. The paper presents the selected issues of holes machining. Pre-sintered Al_2O_3 based ceramic material was applied during investigations. Initial experiments were performed in order to compare the roundness of machined holes after ultrasonic assisted and conventional grinding. Axial process force was recorded during investigations.

KEYWORDS: grinding, ultrasonic assisted grinding, hybrid machining

Procesy hybrydowe stają się coraz bardziej popularne, ponieważ mogą przynosić korzyści związane ze wzrostem efektywności procesu obróbki [1, 2]. Procesy te dzielą się na: procesy bazujące na połączeniu różnych źródeł energii lub narzędzi oraz takie, w których mają miejsce kontrolowane zastosowania mechanizmów procesowych [3].

Szlifowanie ze wspomaganie ultradźwiękowym jest procesem hybrydowym, w którym wykorzystywana jest synergia energii pochodzącej od ruchu obrotowego ściernicy oraz oscylacyjnego ściernicy lub/i przedmiotu obrabianego. Jedną z odmian tego procesu jest szlifowanie czołowe ze wspomaganie drganiami ściernicy. Ma ono zastosowanie m.in. w obróbce materiałów ceramicznych [4]. Na potrzeby realizacji procesu stosuje się drażone ściernice diamentowe przypominające kształtem rurkę. Ściernice umożliwiają wykonywanie otworów o średnicy odpowiadającej zewnętrznej średnicy narzędzia. Podczas obróbki powstaje także rdzeń, który musi być usuwany po wykonaniu otworu. Otwory mogą być wykonywane m.in. w ceramice korundowej po wstępnym spieczeniu (mniejsza niż docelowa twardość ceramiki) lub po końcowym spiekaniu (docelowa twardość materiału ceramicznego).

dowej po wstępnym spieczeniu (mniejsza niż docelowa twardość ceramiki) lub po końcowym spiekaniu (docelowa twardość materiału ceramicznego).

Stanowisko badawcze i przebieg badań

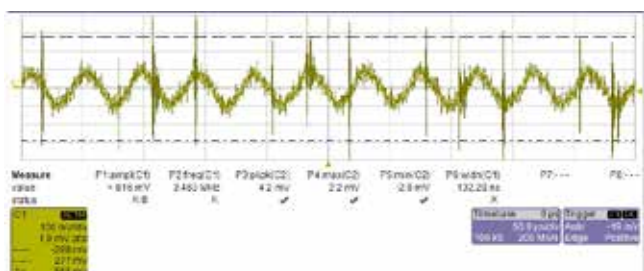
Do obróbki zastosowano hybrydową obrabiarkę Ultrasonic 20 linear. Pomiary odchyłek okrągłości zrealizowano na współrzędnościowej maszynie pomiarowej ACCURA II firmy Carl Zeiss wyposażonej w głowicę pomiarową VAST XT oraz współpracującą z oprogramowaniem Calypso. Siłę osiową rejestrowano w oprogramowaniu LabVIEW Signal Express na podstawie zmian napięcia na wyjściu karty pomiarowej National Instruments USB-6009 podłączonej do wzmacniacza ładunku Kistler 5019A. Przedmiot obrabiany zamocowano w imadle przymocowanym do siłomierza Kistler 9256C2. Wykonano dwanaście przelotowych otworów w prostopadłościennym kostce z ceramiki korundowej po wstępnym spieczeniu (tabl. 1). W obróbce sześciu pierwszych otworów zastosowano prędkość obrotową $n_s = 7\ 000$ obr/min (prędkość skrawania była równa $v_c \approx 2,9$ m/s). Kolejne sześć otworów obrabiano z prędkością $n_s = 3\ 500$ obr/min ($v_c \approx 1,47$ m/s). Mała prędkość skrawania jest charakterystyczna dla tej odmiany procesu z uwagi na konstrukcję, dostarczonej przez producenta obrabiarki, głowicy z przetwornikiem piezoelektrycznym, do której mocowana jest ściernica. Podczas obróbki otworów o numerach nieparzystych (tabl. 2 i 3) zastosowano drgania ultradźwiękowe ściernicy. Otwory o numerach parzystych wykonywane były w procesie konwencjonalnym (bez wspomaganie ultradźwiękowego). Wybrane dane wejściowe procesów przedstawiono w tabl. 1.

TABLICA I. Wybrane dane wejściowe procesów

	<p>Narzędzie obróbkowe: diamentowa ściernica galwaniczna Schott z otworem drażonym o średnicy zewnętrznej 8 mm.</p> <p>Prędkości obrotowe wrzeciona n_s: 7000 obr/min (otwory 1–6), 3500 obr/min (otwory 7–12).</p> <p>Prędkość posuwu v_f: 20 mm/min (podczas obróbki wszystkich otworów).</p> <p>Właściwości ceramiki korundowej: nasiąkliwość $\approx 12\%$, porowatość $\approx 31\%$, gęstość $\approx 2,6$ g/cm³.</p>
--	--

* Mgr inż. Roman Wdowik (rwdowik@prz.edu.pl), dr inż. Marek Magdziak (marekm@prz.edu.pl), dr hab. inż. Janusz Porzycki (jpor@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

W celu realizacji procesu hybrydowego wykonano pomiary mające na celu znalezienie częstotliwości operacyjnej prądu generatora ultradźwięków, dla której występują największe przemieszczenia końca ściernicy (największa amplituda drgań). Pomiary przeprowadzono z zastosowaniem układu eddyNCDT3300 firmy Micro-Epsilon z ekranowanym czujnikiem wiroprowadowym ES04. Kalibracji urządzenia nie dokonano na mierzonej ściernicy z uwagi na jej niewielkie pole powierzchni czołowej. Kalibracji tej dokonano na innym obiekcie o właściwościach ferromagnetycznych. Największej amplitudy drgań poszukiwano, zmieniając częstotliwość prądu generatora od 20 000 Hz do 30 499 Hz z krokiem równym 100 Hz. Rejestrowanie amplitudy drgań realizowano z zastosowaniem oscyloskopu. Największą ich wartość uzyskano przy częstotliwości około 22 000 Hz. Wartość ta wynosiła około 2 μm , co odpowiada połowie wartości międzyszczytowej zmiany napięcia równej 100 mV (rysunek). Wspomnianą wartość częstotliwości prądu generatora (22 000 Hz) przyjęto w badaniach.



Rys. Amplituda drgań przy częstotliwości 22 000 Hz

Pomiary siły osiowej

W tabelicy II przedstawiono wyniki pomiarów siły osiowej podczas obróbki każdego z dwunastu otworów. Obliczono wartości średniej siły rejestrowanej od początku wiercenia przelotowego otworu do chwili wyjścia ściernicy z materiału. Obliczenia realizowano na podstawie danych numerycznych. Podano także trend zmiany wartości siły podczas obróbki otworu. Oznaczenie R dotyczy sytuacji, gdy wartość siły rosła. W przypadku oznaczenia M wartość siły malała, natomiast oznaczenie S dotyczy procesu, gdy nie obserwowano wyraźnych zmian wartości siły. Podczas wiercenia niektórych otworów zauważono także zmianę trendu, co uwzględniono w tabl. II.

TABLICA II. Wyniki pomiarów średniej siły osiowej

Numer otworu	Średnia wartość siły osiowej, N	Trend w czasie	Numer otworu	Średnia wartość siły osiowej, N	Trend w czasie
1	15	R	7	44	M
2	34	R	8	41	M, S
3	40	R, M	9	36	M, S
4	35	M, R	10	36	S
5	33	M	11	34	S
6	35	M, S	12	37	M, R, M

Pomiary odchyłki okrągłości na współrzędnościowej maszynie pomiarowej

Odchyłki okrągłości zmierzono dla każdego otworu trzykrotnie na tej samej głębokości względem powierzchni górnej wyrobu. W trakcie analizy wyników pomiarów uwzględniono usuwanie błędów nadmiernych. Prędkość skanowania wynosiła 2,5 mm/s, a odległość między punktami pomiarowymi była równa 0,2 mm. W tabelicy III przedstawiono średnie wartości odchyłki okrągłości.

TABLICA III. Wyniki pomiarów odchyłki okrągłości

Numer otworu	Średnia arytmetyczna odchyłek okrągłości, mm	Numer otworu	Średnia arytmetyczna odchyłek okrągłości, mm
1	0,002	7	0,003
2	0,002	8	0,002
3	0,002	9	0,002
4	0,003	10	0,003
5	0,002	11	0,002
6	0,002	12	0,002

Podsumowanie

Głównymi parametrami decydującymi o różnicach w wartościach sił rejestrowanych dla procesu konwencjonalnego (bez wspomaganie ultradźwiękowego) i procesu szlifowania ze wspomaganie ultradźwiękowym jest amplituda drgań i twardość materiału przedmiotu obrabianego. Takie wnioski można wyciągnąć m.in. na podstawie prac [2, 5]. Podobne spostrzeżenia wynikają także z innych badań procesu szlifowania czołowego prowadzonych w Katedrze Technik Wytwarzania i Automatykacji Politechniki Rzeszowskiej [6]. Dla niewielkich amplitud proces hybrydowy nie różni się znacznie od procesu konwencjonalnego. Przy większych wartościach amplitudy drgań dla materiału po wstępnym spieczeniu obserwowano różnice w wartościach sił.

Przedstawione w pracy wyniki pomiarów sił nie wskazują na różnice pomiędzy procesem hybrydowym i konwencjonalnym. Obserwowane są jednak różnice w wartościach średniej siły osiowej, a także zmiany wartości siły podczas wykonywania otworów. Te zjawiska wymagają dalszych szczegółowych badań procesu szlifowania czołowego. Przypuszcza się, że wpływ na wartość siły osiowej ma stan czynnej powierzchni ściernicy, która mogła zmieniać się podczas wykonywania kolejnych otworów. Dalsze prace będą miały na celu określenie wpływu zużycia ściernicy na wartości sił procesowych przy większych wartościach amplitudy drgań.

Wyniki przedstawionych badań dotyczących odchyłki okrągłości otworów wykonywanych w procesie hybrydowym i konwencjonalnym nie wskazują na różnice pomiędzy tymi procesami.

Publikacja powstała w ramach realizacji projektu „Technologia wysokowydajnej obróbki ze wspomaganie ultradźwiękowym przedmiotów ceramicznych o złożonej geometrii” dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Program Badań Stosowanych, PBS2/B6/17/2013).

LITERATURA

- Marinescu I.D., Hitchiner M., Uhlmann E., Rowe W.B., Inasaki I. "Handbook of Machining with Grinding Wheels". CRC Press, Taylor and Francis Group 2007, pp. 549÷562.
- "Ultrasonic Assisted Grinding of brittle hard materials. Final Technical report" – April 28th 8u7'3'2010, CORNET Project, pp. 1÷75.
- Lauwers B. "Surface Integrity in Hybrid Machining Processes". *Procedia Engineering*. Vol. 19, 2011: pp. 241÷251.
- Li Z.C., Pei Z.J., Treadwell C. "Recent Advances in Rotary Ultrasonic Machining of Ceramics". Rosslere D. (ed.): *Developments in eramic Materials Research*, red. Rosslere D, Nova Science Publishers. Inc. New York, 2007: pp. 40÷52.
- Wdowik R. "Analiza szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej ze wspomaganie ultradźwiękowym". Praca doktorska. Rzeszów 2015.
- Wdowik R., Ratnayake Ch. "A Robust Design Based Methodology for Investigation of Optimal Parameters' Combination in Ultrasonic Assisted Face Grinding". *The 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*.