

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Wpływ procesu szlifowania wibracyjnego na stan powierzchni płaskich

The Influence of vibration assisted grinding process on the state of plane surface

GRZEGORZ BECHCIŃSKI
WITOLD PAWŁOWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.337

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych dotyczące wpływu procesu szlifowania wibracyjnego płaszczyn na obniżenie wartości wybranych parametrów stanu powierzchni. Badania przeprowadzono dla dwóch różnych materiałów przedmiotu obrabianego oraz z zastosowaniem dwóch różnych rodzajów ściernic. Za pomocą szlifowania wibracyjnego przeprowadzonego przy wybranych parametrach wprowadzonych drgań otrzymano poprawę stanu powierzchni obrabianej w postaci zmniejszenia falistości.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie wibracyjne płaszczyn, badania eksperymentalne, stolik wibracyjny, chropowatość i falistość powierzchni

The article presents the results of experimental studies on the impact of vibration assisted flat grinding process on the reduction of the selected parameters of state of the surface. Tests were conducted for two different workpiece materials and using two different types of grinding wheels. Vibration assisted flat grinding performed with selected vibration parameters proved to be beneficiary for obtaining better state of plane surface with lower waviness.

KEYWORDS: vibration assisted flat grinding process, experimental studies, vibratory table holder, surface roughness and waviness

Wstęp

Stały postęp, zachodzący w budowie szlifierek, ściernic oraz stosowanych procesach przyczynia się do zwiększenia wydajności i elastyczności obróbki oraz pozwala na obniżanie kosztów wytwarzania [13]. Do nowoczesnych i niekonwencjonalnych technik szlifowania zalicza się szlifowanie z dużą prędkością obwodową ściernicy [5], szlifowanie głębokie [2], [9], [14] oraz kombinację tych dwóch technik – szlifowanie wysoko wydajne (High Efficiency Deep Grinding -

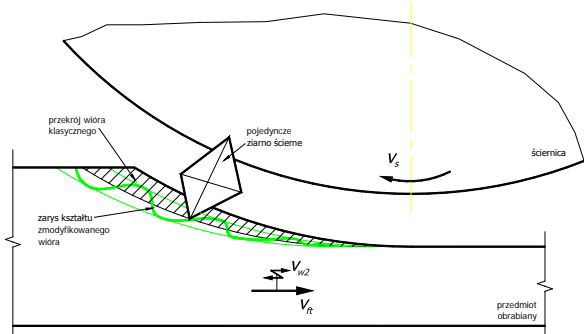
HEDG) [6], szlifowanie z efektywnym doprowadzeniem i ograniczonym wydatkiem cieczy chłodząco - smarującej (CCS) [7], szlifowanie kompletne [8] oraz szlifowanie z dużą prędkością przedmiotu (Speed - Stroke Grinding - SSG) [4]. Obróbka ścierna materiałów twardych i kruchych oraz ceramicznych materiałów technicznych coraz częściej prowadzona jest jako hybrydowe procesy [3]. Polegają one na jednoczesnym wykorzystywaniu różnych form energii do usuwania nadmiaru obróbkowego. Jednym z takich procesów jest szlifowanie wibracyjne, w którym do kinematyki konwencjonalnego szlifowania dołożono dodatkowy ruch oscylacyjny o określonej częstotliwości i amplitudzie.

Drgania wspomagające mogą być wprowadzane na przedmiot lub na ściernicę, w różnych kierunkach. Wprowadzane drgania do procesu szlifowania wywołują zmiany kierunku prędkości szlifowania oraz mechanizmów kształtowania warstwy wierzchniej przedmiotu i zużycia ściernicy. Ponadto wpływają korzystnie na strukturę śladów obróbkowych i obniżenie siły szlifowania. Zmniejszają ryzyko powstawania siatki mikropęknięć i przypaleń poprzez zmniejszenie odkształceń cieplnych szlifowanej powierzchni [12].

Duże możliwości podwyższenia jakości wytwarzanych wyrobów daje odpowiednie ukształtowanie dynamiki procesu skrawania. Oznacza to taki wybór parametrów charakteryzujących proces obróbki by zapewniona była odpowiednia jakość i dokładność wymiarowa obrabianej powierzchni pomimo występujących niekorzystnych zjawisk dynamicznych. W procesie szlifowania ze wspomaganie drganiami zmienia się długość styku pojedynczego ziarna ściernego. Schemat poglądowy kinematyki skrawania pojedynczym ziarnem ściernym w procesie szlifowania przeciwbieżnego płaszczyn z drganiami wspomagającymi zilustrowano na rysunku 1. Przyjęto w nim przykładowy wyidealizowany model kształtu wióra. Pojedyncze ziarno ściernic, które zostało wybrane ze ściernicy realizuje ruch obrotowy z prędkością obwodową ściernicy v_s . Przedmiot obrabiany przemieszcza się z prędkością posuwu stycznego v_f . Przy

* dr inż. Grzegorz Bechciński (grzegorz.bechcinski@p.lodz.pl),
dr hab. inż. Witold Pawłowski (witold.pawlowski@p.lodz.pl)

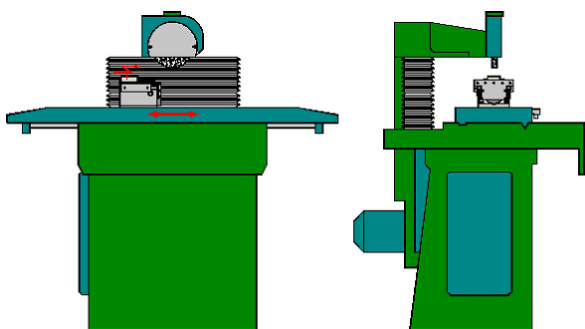
szlifowaniu tradycyjnym, pojedyncze ziarno ściernie skrawa wiór o przekroju klasycznym (obszar zakreskowany). Jeżeli na ruch przedmiotu obrabianego nałożymy modulację prędkości posuwu stycznego $v_{w2} = A \sin(2\pi f t)$ to uzyskuje się zmianę zarysu kształtu wióra (linia falista).



Rys. 1. Schemat poglądowy kinematyki skrawania pojedynczym ziarnem ściernym w procesie szlifowania przeciwbieżnego płaszczyn z drganiami wspomagającymi

Stanowisko doświadczalne

Badania doświadczalne szlifowania wibracyjnego powierzchni płaskich [1] przeprowadzono na szlifierce typu SPC-20 (rysunek 2). Na stole szlifierki zamontowano stolik wibracyjny. Stolik ten jest przeznaczony do mocowania oraz do wprowadzania przedmiotu obrabianego w drgania oscylacyjne.



Rys. 2. Stanowisko badawcze szlifowania wibracyjnego płaszczyn

Stolik oscylacyjny sterowany jest elektromagnetycznym wzbudnikiem drgań typ PR 9270 firmy Philips. Wzmacniacz mocy typu PO-21 firmy KABI D ZOPAN w układzie sterowania stolika, spełniał funkcję zasilacza oraz generatora sygnału dla wzbudnika.

Do badań procesu szlifowania przygotowano próbki z dwóch rodzajów materiałów: ze stali węglowej konstrukcyjnej wyższej jakości C45 i ze stali stopowej konstrukcyjnej do ulepszania cieplnego 42CrMo4 (wcześniejsze oznaczenie 40HM). Stal 42CrMo4 jest stalą trudno szlifowaną z uwagi na zawartość dodatków stopowych. Próbki poddano obróbce cieplnej (nawęglanie i hartowanie w oleju). Uzyskano twardość $60 \div 63$ HRC dla stali 45 i ok. 60 HRC dla stali 42CrMo4. Po zakończonych badaniach doświadczalnych zmierzono ponownie twardość i uzyskano ok. 57 ± 3 HRC dla obu typów materiałów. Pomiar twardości zrealizowano twardościomierzem laboratoryjnym Rockwella.

Do prób szlifowania zastosowano 2 rodzaje ściernic produkowanych przez koncern Saint-Gobain Abrasives w Kole. Pierwszą z nich była ściernica typu 1-A-200x20x51-38A 60 G12 VBEP-33. Ściernica ta należy do grupy bardzo miękkich. Ma strukturę wielkoporową z ziarnami ściernymi z elektrokorundu szlachetnego i spoi-

wem ceramicznym. Drugą stosowaną w badaniach była ściernica typu 1-A-200x20x51-GF 46 J8 VX-33. Jest to ściernica hybrydowa systemu GF (GLOBAL FORCE). Wykonana jest z mieszaniny ziaren ściernych elektrokorundu szlachetnego (ok. 83% obj.) i subkryształicznego korundu spiekane go SG (ok. 17% obj. ścierniwa) z wykorzystaniem nowoczesnych, niskostopowych spoiw ceramicznych typu VX (ściernice normalne).

Jako ciecz chłodząco – smarującą CCS zastosowano $3 \div 5\%$ emulsję wodną na bazie oleju emulgującego do obróbki metali typu Emulgoł ES-12 (producent Petro-Oil).

Badania eksperymentalne

Podczas badań eksperymentalnych realizowany był proces węgłnego obwodowego szlifowania prostoliniowo – zwrotnego (stycznego) płaszczyn bez i z drganiami wprowadzanymi na przedmiot w kierunku posuwu wzdłużnego stołu szlifierki. Dobrano parametry procesu szlifowania, które były wielkościami sterującymi procesu szlifowania. Te parametry to:

- prędkość posuwu wzdłużnego ($v_{ft} = 1, 5, 10, 15, 20$ m/min),
- dosuw nominalny ($a_n = 0; 0,005; 0,01; 0,02; 0,03$ mm),
- rodzaj ściernicy (S1: 38A60G12VBEP i S2: GF46J8VX),
- rodzaj materiału szlifowanego (stal 45 i 42CrMo4 zahartowane),
- częstotliwość i amplituda drgań wprowadzanych,
- szlifowanie zgrubne bez i z drganiami wprowadzanymi,
- szlifowanie wykańczające bez i z drganiami wprowadzanymi,
- szlifowanie wygładzające (wyiskrzanie) bez i z drganiami wprowadzanymi.

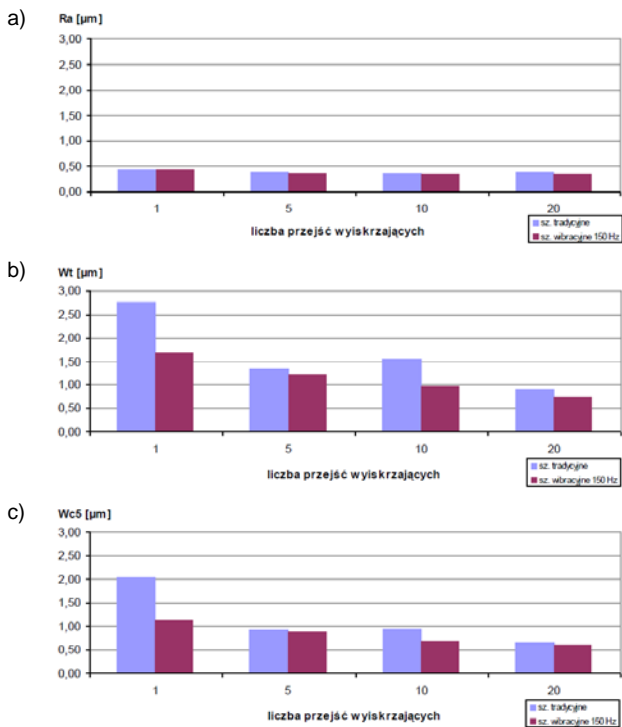
Wpływ drgań wprowadzanych do procesu szlifowania na stan warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego określano poprzez pomiar parametru chropowatości Ra oraz parametrów falistości Wt i Wc5. Po każdej serii prób szlifowania wykonywano profilogramy szlifowanych powierzchni. Wyniki pomiarów parametrów powierzchni Ra, Wt i Wc5 poddano analizie statystycznej.

Profil falistości powierzchni szlifowanych na próbach badawczych rejestrowano stacjonarnym przyrządem - profilografometrem ME10 firmy Karl Zeis Jena (NRD). Przyrząd ten umożliwiał pomiar parametru Wt (całkowita wysokość profilu falistości) wg PN-EN ISO 4287: 1999 [11] za pomocą pomiarowej końcówki kulistej, która spełnia funkcję mechanicznego filtra na długości odcinka pomiarowego $l_n = 25$ mm. Parametr Wc5 (średnia wysokość elementów profilu falistości) wyznaczany był na podstawie zarejestrowanego profilu jako średnia wartość wysokości elementów profilu falistości na długości pięciu odcinków elementarnych. Do pomiarów przyjęto odcinek elementarny $l_w = 5$ mm.

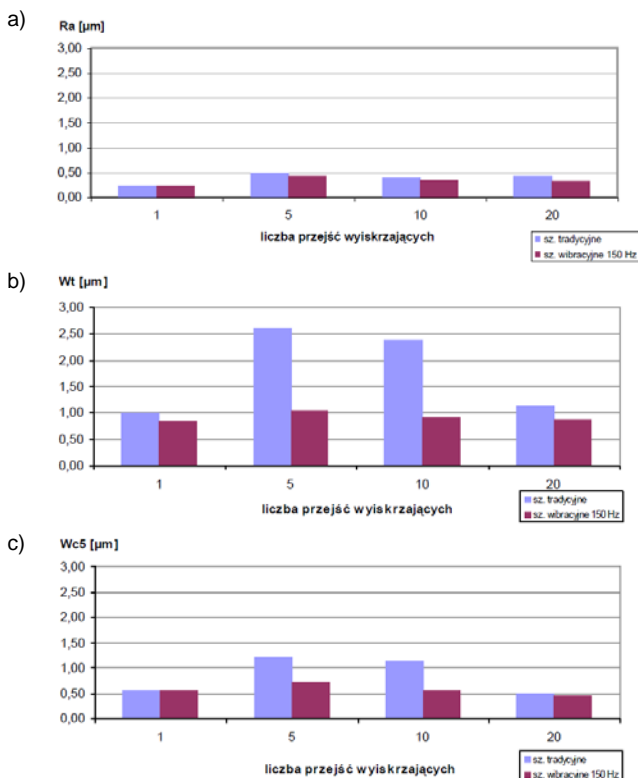
Pomiary chropowatości szlifowanych powierzchni ograniczono jedynie do określenia parametru Ra jako najbardziej popularnego w praktyce przemysłowej. Zrezygnowano z pomiarów parametru Rz, gdyż stosuje się go do większych wartości chropowatości, a ponadto nie ma odpowiednika metody pomiarowej tego parametru w aktualnych polskich normach [10]. Parametr Ra jako średnie arytmetyczne odchylenie mierzono przenośnym przyrządem do pomiaru chropowatości typu SurfTest firmy MITUTOYO. Odcinek pomiarowy wynosił $l_n = 2,5$ mm.

Średnie wartości parametrów profilu falistości powierzchni próbek uzyskiwanych w badaniach doświadczalnych

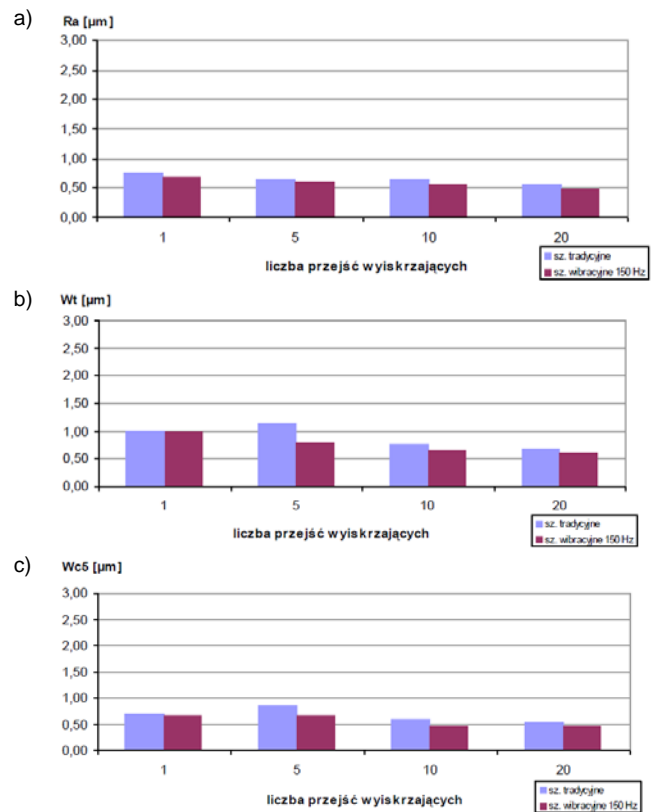
szlifowania wibracyjnego (z drganiami wprowadzanymi) dla różnych liczb przejęć wyskrzających zilustrowano w sposób graficzny na rysunkach 3, 4, 5 i 6.



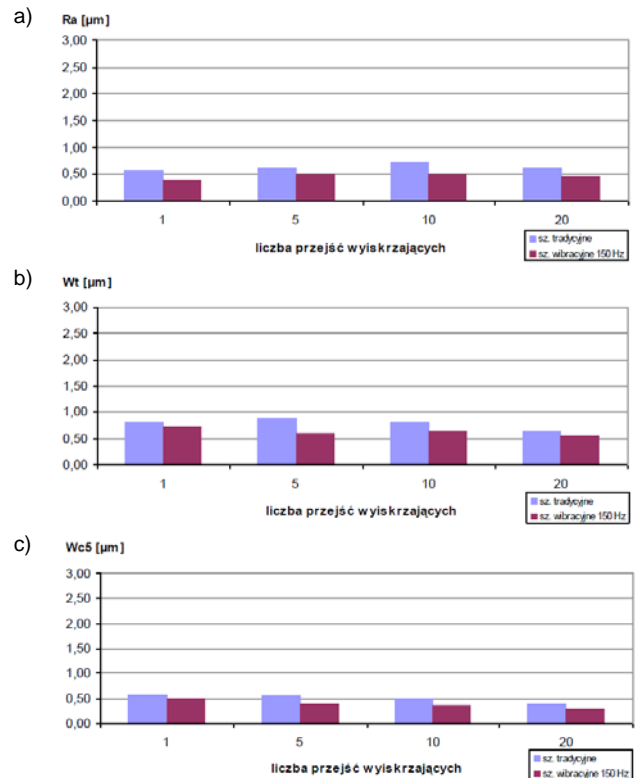
Rys. 3. Średnie wartości parametrów powierzchni próbki ze stali C45 dla szlifowania tradycyjnego oraz wibracyjnego (częstotliwość 150 Hz) przy użyciu ściernicy typu S1 i z prędkością posuwu wzdluznego $v_f = 10$ m/min: a) parametr chropowatości Ra, b) parametr falistości Wt i c) parametr falistości Wc5



Rys. 4. Średnie wartości parametrów powierzchni próbki ze stali 42CrMo4 dla szlifowania tradycyjnego oraz wibracyjnego (częstotliwość 150 Hz) przy użyciu ściernicy typu S1 i z prędkością posuwu wzdluznego $v_f = 10$ m/min: a) parametr chropowatości Ra, b) parametr falistości Wt i c) parametr falistości Wc5



Rys. 5. Średnie wartości parametrów powierzchni próbki ze stali C45 dla szlifowania tradycyjnego oraz wibracyjnego (częstotliwość 150 Hz) przy użyciu ściernicy typu S2 i z prędkością posuwu wzdluznego $v_f = 10$ m/min: a) parametr chropowatości Ra, b) parametr falistości Wt i c) parametr falistości Wc5



Rys. 6. Średnie wartości parametrów powierzchni próbki ze stali 42CrMo4 dla szlifowania tradycyjnego oraz wibracyjnego (częstotliwość 150 Hz) przy użyciu ściernicy typu S2 i z prędkością posuwu wzdluznego $v_f = 10$ m/min: a) parametr chropowatości Ra, b) parametr falistości Wt i c) parametr falistości Wc5

Wykresy słupkowe 3 i 4 dotyczą porównania wartości średnich parametru chropowatości R_a , parametru falistości W_t (całkowita wysokość profilu falistości) i parametru falistości W_c5 (średnia wysokość elementów profilu falistości) dla szlifowania tradycyjnego oraz wibracyjnego (częstotliwość 150 Hz) próbek ze stali C45 oraz 42CrMo4 przy użyciu ściernicy typu S1 i z prędkością posuwu wzdłużnego $v_{ft} = 10$ m/min. Natomiast wykresy słupkowe 5 i 6 przedstawiają porównanie wartości parametru chropowatości R_a , parametru falistości W_t i parametru falistości W_c5 dla szlifowania tradycyjnego oraz wibracyjnego (częstotliwość 150 Hz) próbek ze stali C45 oraz 42CrMo4 przy użyciu ściernicy typu S2 i z prędkością posuwu wzdłużnego $v_{ft} = 10$ m/min.

Przy stałej prędkości posuwu wzdłużnego $v_{ft} = \text{const}$, mniejsze wartości parametrów powierzchni R_a , W_t i W_c5 uzyskiwano dla wyiskrzania, niż dla szlifowania. W przypadku szlifowania zgrubnego i wykańczającego stosowanie mniejszych prędkości posuwu wzdłużnego powodowało powstawanie na powierzchni przypaleń. Stosowanie szlifowania wibracyjnego w tych przypadkach również nie poprawiało stanu warstwy wierzchniej. Wartości parametrów powierzchni R_a , W_t i W_c5 próbek szlifowanych wyiskrzająco przy niskich prędkościach posuwu wzdłużnego ($v_{ft} = 1$ m/min oraz $v_{ft} = 5$ m/min) były mniejsze niż przy dużych prędkościach posuwu wzdłużnego ($v_{ft} = 10$ m/min, $v_{ft} = 15$ m/min i $v_{ft} = 20$ m/min), ale oczywiście efektywność takiego procesu jest niewystarczająca. Najlepsze efekty obniżenia wartości parametrów falistości uzyskano przy szlifowaniu z drganiami wprowadzanymi o częstotliwości 150 Hz dla prędkości posuwu wzdłużnego $v_{ft} = 10$ m/min. Również dla prędkości posuwu wzdłużnego $v_{ft} = 15$ m/min uzyskiwano zmniejszenie wartości parametrów falistości.

Podsumowanie

Szlifowanie z drganiami wprowadzanymi o amplitudzie 10 μm i częstotliwości 150 Hz daje poprawę stanu WW przy szlifowaniu gładkościowym (wyiskrzaniu). W przypadku szlifowania zgrubnego i wykańczającego być może korzystniejsze byłyby wyższe częstotliwości drgań przy odpowiednio dużej amplitudzie. Natomiast zastosowany wzbudnik ma zbyt małą moc aby uzyskać drgania o odpowiedniej amplitudzie przy wyższych częstotliwościach.

Z analizy wyników pomiarów parametru chropowatości R_a stwierdzono dla szlifowania wibracyjnego próbek ze stali C45 oraz 42CrMo4 nieznaczne obniżenie wartości średniej parametru R_a w stosunku do szlifowania tradycyjnego. Przyjęty kierunek wprowadzania drgań z zewnątrz do procesu szlifowania nie wpływał na chropowatość powierzchni. Ściernica S1 jest lepsza od ściernicy S2 pod względem uzyskiwania chropowatości na powierzchni próbek. Wynika to z faktu, że ściernica S1 ma drobniejsze ziarna.

Poprawę parametrów falistości uzyskano dla szlifowania gładkościowego (wyiskrzania) przy posuwie wzdłużnym stołu $v_{ft} = 10$ m/min oraz $v_{ft} = 15$ m/min.

Porównując szlifowanie tradycyjne i wibracyjne (drgania wprowadzane o amplitudzie 10 μm i częstotliwości 150 Hz) próbek ze stali C45 z użyciem ściernicy typu S1 dla 10 przejść wyiskrzających stwierdzono obniżenie parametrów falistości powierzchni W_t i W_c5 odpowiednio o 37,8% i 30,6%. Największą poprawę parametrów falistości powierzchni W_t i W_c5 odpowiednio o 62,4% i 53,2% dla 10 przejść wyiskrzających uzyskano w przypadku zastosowania szlifowania wibracyjnego próbek ze stali 42CrMo4 z użyciem ściernicy typu S1.

Zastosowanie do prób szlifowania ściernicy typu S2 okazało się korzystniejsze ze względu na obniżenie wartości parametrów falistości w stosunku do prób szlifowania z użyciem ściernicy S1. W przypadku szlifowania wibracyjnego próbek ze stali C45 obniżono wartości parametrów falistości W_t i W_c5 odpowiednio o 15,1% i 25,5% dla 10 przejść wyiskrzających. Natomiast w przypadku szlifowania wibracyjnego próbek ze stali 42CrMo4 obniżono wartości parametrów falistości W_t i W_c5 odpowiednio o 22,3% i 31,2% dla 10 przejść wyiskrzających. Można więc stwierdzić, że zastosowanie szlifowania wibracyjnego jest efektywniejsze w przypadku obróbki stali trudno szlifowalnej.

LITERATURA

1. Bechciński G.: Aktywne oddziaływanie poprzez drgania na zmniejszenie falistości szlifowanych powierzchni płaskich. Praca Doktorska, Politechnika Łódzka, 2006.
2. Hanasaki S., Fujivara J., Wada T., Hasegawa Y.: Vibratory Creep Feed Grinding. Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu C Hen, vol. 60/573/1994, pp. 1829-1834.
3. Inasaki I.: Grinding of Hard and Brittle Materials. Annals of the CIRP, vol. 36/2/1987, pp. 463-471.
4. Inasaki I.: Speed-Stroke Grinding of Advanced Ceramics. Annals of the CIRP, vol. 37/1/1998, pp. 299-302.
5. Klocke F., Brinksmeier E., Evans C., Howes T., Inasaki I., Minke E., Tönshoff H. K., Webster J. A., Stuff D.: High-Speed Grinding - Fundamentals and state of the art in Europe, Japan, and the USA. Annals of the CIRP, vol. 46/2/1997, pp. 715-724.
6. Nakagawa T., Suzuki K., Uematsu T.: Highly Efficient Grinding of Ceramic and Hard Metals on Grinding Center. Annals of the CIRP, vol. 35/1/1986, pp. 205-210.
7. Oczko K. E.: Postęp w obróbce skrawaniem, II. Obróbka na sucho i ze zminimalizowanym smarowaniem. Mechanik, 71(1998)5/6, s. 307-318.
8. Oczko K. E.: Światowa Wystawa Obrabiarek EMO '99 w Paryżu. Część III. Obrabiarki i narzędzia do obróbki ściernic. Mechanik, 72(1999)11, s. 697-705.
9. Oryński F., Bechciński G.: Tłumiący wpływ procesu szlifowania głębokiego płaszczyzn na drgania relaksacyjne stołu szlifierki. XIX Naukowa Szkoła Obróbki Ściernic, Łódź – Bełchatów 1996, s. 321-326.
10. PN-ISO 3274:1997/Ap1:1999: Specyfikacje geometrii wyrobów – Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa – Charakterystyki nominalne przyrządów stykowych (z ostrzem odwzorowującym).
11. PN-EN ISO 4287:1999: Specyfikacje geometrii wyrobów – Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa – Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
12. Qu W., Wang K., Miller M., Huang Y., Chandra A.: Using vibration - assisted grinding to reduce subsurface damage. Precision Engineering, 24/4/2000, pp. 329-337.
13. Tönshoff H. K., Karpuschewski B., Mandrysch T., Inasaki I.: Grinding process achievements and their consequences on machine tools challenges and opportunities. Annals of the CIRP, vol. 47/2/1998, pp. 651-668.
14. Uhlmann E.: Surface Formation in Creep Feed Grinding of Advanced Ceramics with and without Ultrasonic Assistance. Annals of the CIRP, vol. 47/1/1998, pp. 249-252.