

Jan BUREK¹
Paweł SUŁKOWICZ²
Robert BABIARZ³
Marcin PŁODZIEN⁴

SZLIFOWANIE WZDŁUŻNO-KSZTAŁTOWE WAŁKÓW ŚCIERNICĄ PROFILOWĄ TYPU 1F1

Obróbka wykończeniowa części walcowych może być prowadzona na wiele sposobów. W zależności od typu obrabianego przedmiotu najczęściej są stosowane procesy szlifowania wzdłużnego, wgłębnego oraz kształtowego. W pracy zaprezentowano metodę szlifowania wzdłużno-kształtowego, która polega na obróbce przedmiotów z zastosowaniem wąskiej ściernicy walcowej bądź profilowej, która porusza się po zaprogramowanym torze w układzie CNC. Metoda ta jest szczególnie przydatna w obróbce elementów o skomplikowanej geometrii. Przeprowadzono badania szlifowania wzdłużno-kształtowego wałka zawierającego powierzchnie walcowe, stożkowe oraz wklęsłe i wypukłe promienie zaokrąglenia, z użyciem ściernicy profilowej typu 1F1 z różnymi parametrami szlifowania. Przedstawiono przebiegi składowych siły szlifowania oraz emisji akustycznej. Przeanalizowano dokładność szlifowania części, w szczególności wartość odchyłki kształtu i chropowatość powierzchni.

Słowa kluczowe: szlifowanie wzdłużno-kształtowe, szlifowanie CPCG, ściernica profilowa, szlifowanie wałków

1. Wprowadzenie

Obróbka wykończeniowa walcowych powierzchni kształtowych realizowana jest tradycyjnie w procesie szlifowania kształtowego. Proces ten polega na odwzorowaniu kształtu ściernicy na powierzchni przedmiotu obrabianego. Ściernica jest wprowadzona w ruch obrotowy z prędkością v_s i wykonuje posuw wgłębny w kierunku materiału obrabianego. Dążenie do zwiększenia elastyczności tego procesu przez wyeliminowanie konieczności stosowania specjalnie zaprofilowanych ściernic do każdego rodzaju kształtu przedmiotu obrabianego powoduje, że stale poszukuje się nowych rozwiązań [6].

¹ Jan Burek, Politechnika Rzeszowska, e-mail: jburek@prz.edu.pl

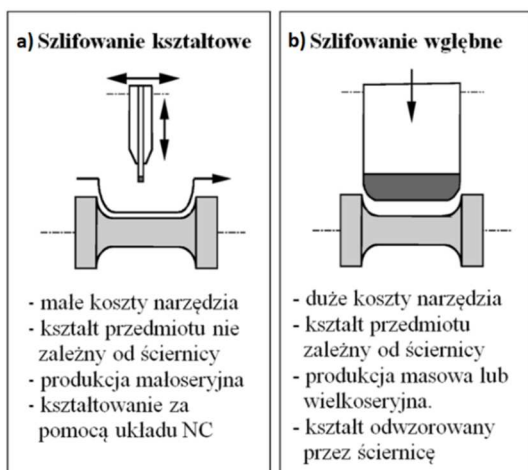
² Autor do korespondencji/corresponding author: Paweł Sułkowicz, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, tel.: 178651207, e-mail: sulkowicz@prz.edu.pl

³ Robert Babiarez, Politechnika Rzeszowska, e-mail: robertb@prz.edu.pl

⁴ Marcin Płodzień, Politechnika Rzeszowska, e-mail: plodzien@prz.edu.pl

Jeden z najnowszych trendów rozwojowych obróbki ściernej stanowią procesy szlifowania jednoprzęściowego. Polegają one na usuwaniu całego naddatku obróbkowego w trakcie jednego przejścia narzędzia ściernego, z zachowaniem odpowiedniej jakości powierzchni oraz dokładności wymiarowo-kształtowej przedmiotu obrabianego. Do najczęściej stosowanych procesów szlifowania jednoprzęściowego należy zaliczyć szlifowanie głębokie z posuwem pełzającym (*Creep Feed Grinding* – CFG) oraz szlifowanie wzdłużno-kształtowe [1, 7, 8].

Szlifowanie wzdłużno-kształtowe powierzchni walcowych, określane również jako szlifowanie z ciągłym sterowaniem torem ściernicy (*Continuous Path Controlled Grinding* – CPCG), jest alternatywą szlifowania kształtowego metodą obróbki ściernej. Zamiast obwodowego szlifowania wgłębnego ściernicą profilową, kontur przedmiotu powstaje w wyniku obróbki wąską ściernicą elektrokorundową lub z materiałów supertwardych, która porusza się po zaprogramowanym w układzie sterowania obrabiarki CNC torze [4, 5]. Porównanie metody szlifowania kształtowego wgłębnego oraz wzdłużno-kształtowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Metody szlifowania kształtowego wałków: a) szlifowanie kształtowe, b) szlifowanie wgłębne

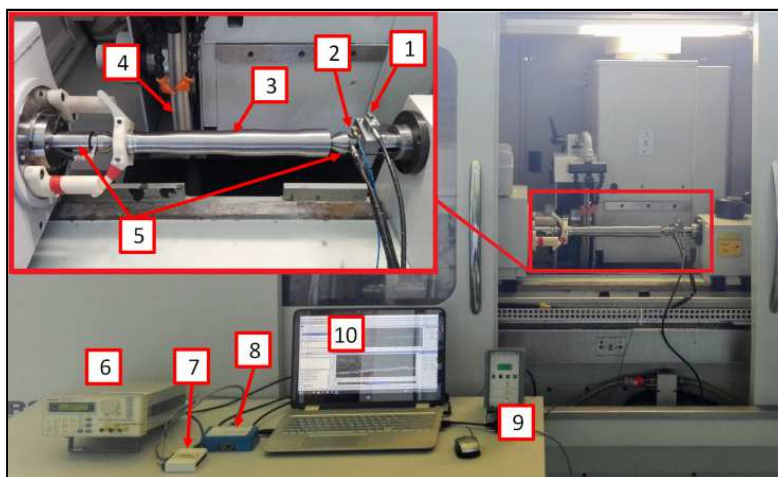
Fig. 1. Cylindrical parts grinding methods: a) contour grinding, b) plunge grinding

Metodę szlifowania wzdłużno-kształtowego można porównać do toczenia na twardo, z tym że zamiast jednopunktowego narzędzia tokarskiego jest stosowana ściernica, którą można obrabiać np. wał wielostopniowy, powierzchniami stożkowymi czy zaokrągleniami. Zaletą tego procesu, poza zwiększeniem elastyczności produkcji, jest zmniejszenie siły szlifowania oraz obciążenia cieplnego przez ograniczenie powierzchni styku ściernicy z przedmiotem obrabianym. Obróbka wzdłużno-kształtowa może być stosowana nie tylko w wielu przejściach, ale również jako proces jednoprzęściowy, określane nazwą szlif złuszczający. Podczas szlifowania wzdłużno-kształtowego są zwykle stosowane ściernice walcowe lub walcowo-stożkowe. Dalszą redukcję obszaru styku ściernicy można uzyskać przez pochycenie jej osi w stosunku do osi obrabianego przed-

miotu o kilka stopni. Proces szlifowania wzdłużno-kształtowego pozwala na szlifowanie wałów stopniowanych oraz powierzchni stożkowych. Metodę szlifowania wzdłużno-kształtowego można wykorzystać w obróbce wielu elementów, np. wałków przekładni, wirników i silników, okrągłych stempli, zaworów, części chwytowych narzędzi, czopów osi [2, 3].

2. Stanowisko badawcze i warunki badań

Badania doświadczalne zrealizowano na stanowisku badawczym, którego podstawę stanowiła 3-osiowa szlifierka do wałków RS 600 C firmy Geibel & Hotz (rys. 2).

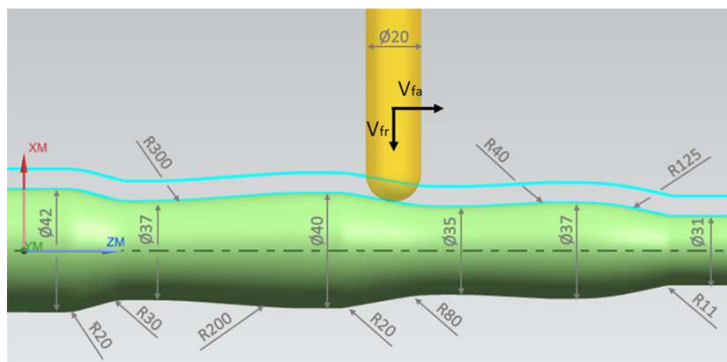


Rys. 2. Stanowisko badawcze: 1 – czujnik AE, 2 – czujnik drgań, 3 – przedmiot testowy, 4 – ściernica, 5 – siłomierz, 6 – zasilacz, 7 – przetwornik A/C, 8, 9 – wzmacniacz, 10 – komputer

Fig. 2. Test stand: 1 – AE sensor, 2 – vibration sensor, 3 – workpiece, 4 – grinding wheel, 5 – dynamometer, 6 – power supply, 7 – A/D converter, 8, 9 – amplifier, 10 – computer

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie możliwości zastosowania ściernicy o zarysie promieniowym do szlifowania wzdłużno-kształtowego części walcowych, w których występują powierzchnie stożkowe oraz powierzchnie zaokrąglone o różnych wartościach promieni (zarówno wklęsłych, jak i wypukłych). Przedmiot testowy ze stali C45 wykonano wstępnie na tokarce CNC NEF400 firmy DMG Mori. Następnie został on zamocowany na szlifierce w kłach siłomierza firmy Kistler typu 9601A, umożliwiającego pomiar składowych siły szlifowania. Pomiar emisji akustycznej (AE) realizowano za pomocą czujnika typu 8152C firmy Kistler, natomiast drgania mierzono z wykorzystaniem akcelerometru typu 621B40 firmy PCB Piezotronics. Przebiegi mierzonych

sygnałów rejestrowano w programie LabVIEW SignalExpress. Badania doświadczalne zrealizowano, szlifując wzdłużnie-kształtowo przedmiot testowy ściernicą o spoiwie ceramicznym typu 1F1 99A60K7VE01, o ziarnach ściernych z elektrokorundu 99A. Średnica ściernicy $d_s = 400$ mm, jej szerokość $b_s = 20$ mm, a promień zaokrąglenia $r = 10$ mm. Prędkość obwodowa ściernicy $v_c = 25$ m/s, natomiast przedmiotu obrabianego $v_w = 0,6$ m/s. Przyjęto dwie wartości dosuwu ściernicy: $a_e = 0,1$ mm oraz $a_e = 0,03$ mm. Prędkość posuwu wyniosła odpowiednio $v_f = 15; 30; 50; 75$ mm/min. Przedmiot testowy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przedmiot testowy

Fig. 3. Test workpiece

W przeciwieństwie do szlifowania kształtowego, gdzie ściernica wykonuje tylko posuw wgłębny, w szlifowaniu wzdłużno-kształtowym przedstawionego przedmiotu testowego konieczne jest stworzenie programu obróbkowego, w którym narzędzie będzie się poruszać po odpowiednim do szlifowanego profilu torze, z uwzględnieniem zmieniającego się punktu styku ściernicy w zależności od szlifowanego promienia. Do tego celu wykorzystano oprogramowanie NX CAM firmy Siemens.

3. Wyniki badań

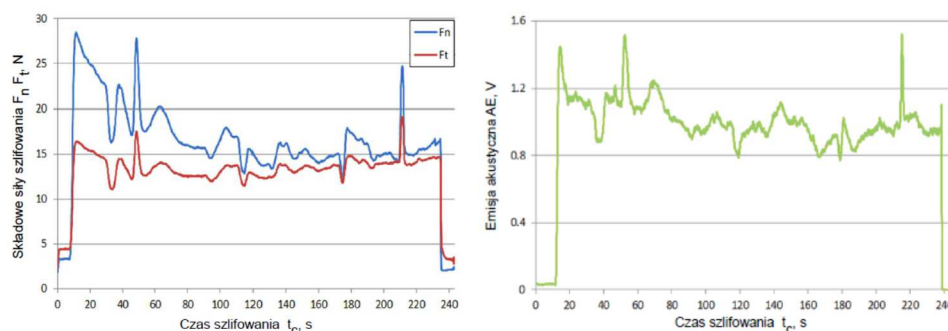
Zarejestrowane podczas obróbki przebiegi sygnałów składowych siły szlifowania, emisji akustycznej oraz amplitudy drgań zostały poddane analizie. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe przebiegi wartości skutecznych składowych siły szlifowania oraz emisji akustycznej dla dosuwu ściernicy $a_e = 0,1$ mm oraz prędkości posuwu $v_f = 75$ mm/min.

Zanotowane wartości przebiegów ukazują, że składowe siły szlifowania w badanym procesie przyjmowały niskie wartości, co wynika z małej warstwy szlifowanej oraz niskich prędkości posuwu. Wzrost wartości składowych siły na początku obróbki wynika z wejścia ściernicy w materiał, natomiast chwilowe wzrosty wartości siły podczas szlifowania są związane ze zmianami warstwy szli-

fowanej podczas szlifowania różnych promieni krzywizny obrabianego profilu. Przebiegi sygnałów AE dla poszczególnych przejść obróbkowych charakteryzowały się wysoką korelacją ze składowymi siły szlifowania. Współczynnik korelacji obliczono zgodnie ze wzorem:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

gdzie: x_i, y_i – wartości porównywanej emisji akustycznej oraz składowej siły, \bar{x}, \bar{y} – wartości średnie prób.



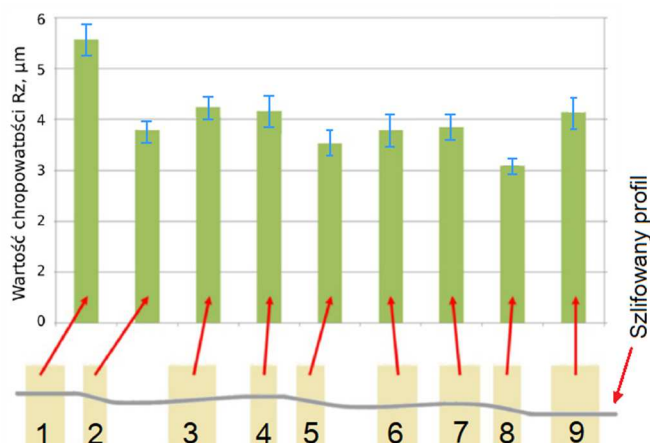
Rys. 4. Wybrane przebiegi wartości składowych siły szlifowania oraz emisji akustycznej

Fig. 4. Selected values of grinding force components and acoustic emission

Średni współczynnik korelacji dla wszystkich przejść wyniósł odpowiednio $R = 0,93$ ze składową styczną F_t oraz $R = 0,89$ ze składową normalną F_n . Z uwagi na obecność czujników emisji akustycznej w wielu szlifierkach pozwala to na kontrolę poprawności procesu przez operatora. Ponieważ powierzchnia styku ściernicy z przedmiotem obrabianym jest zmienna, to wartość chropowatości ulega zmianie wraz ze zmianą krzywizny profilu szlifowanego przedmiotu. Na rysunku 5 przedstawiono rozkład średnich wartości parametru Rz w dziewięciu miejscach szlifowanego profilu.

Podczas obróbki powierzchni walcowych zaokrąglonych bądź stożkowych wraz ze zmianą powierzchni styku ściernicy z przedmiotem obrabianym zmienia się kierunek działania siły szlifowania. Składowa normalna F_n maleje, natomiast składowa osiowa F_o rośnie, co może być jedną z przyczyn spadku amplitudy chropowatości w tych obszarach. Pomiar chropowatości powierzchni wykonano z użyciem profilometru MahrSurf M300. Pomiarzy zrealizowano w 9 odcinkach równomiernie rozmieszczonych wzdłuż profilu szlifowanego przedmiotu. Zmierzone parametry chropowatości przyjęły najniższe wartości podczas pomiaru przedmiotu po obróbce z dosuwem ściernicy $a_e = 0,1$ mm oraz prędkością posuwu

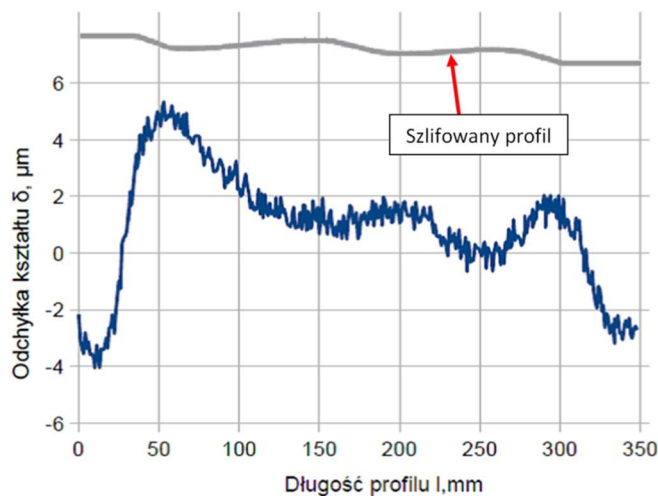
$v_f = 15$ mm/min. W tym przypadku średnie parametry chropowatości dla całego mierzonego profilu wyniosły odpowiednio $Ra = 0,65$ μm oraz $Rz = 3,7$ μm .



Rys. 5. Rozkład średnich wartości Rz dla różnych fragmentów profilu

Fig. 5. Distribution of average Rz values for different fragments of profile

Następnie zmierzono profil wykonanego przedmiotu na konturografie Mahr XC20. Pomiaru dokonywano wzdłuż profilu wałka, z wykorzystaniem końcówki pomiarowej PCV 350 x 58 mm 6033/1. Mierzono przedmiot po obróbce z dosuwem ściernicy $a_e = 0,1$ mm oraz prędkością posuwu $v_f = 75$ mm/min. Odchyłka kształtu mierzonego profilu wyniosła 0,009 mm. Wartość odchyłki kształtu w funkcji długości profilu przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Wartość odchyłki kształtu w funkcji długości profilu

Fig. 6. Values of shape deviation as a function of profile length

4. Podsumowanie

Proces szlifowania wzdłużno-kształtowego może w wielu przypadkach z powodzeniem zastąpić szlifowanie kształtowe. Zaletą tej obróbki jest brak konieczności stosowania ściernic dedykowanych do danego przedmiotu, a zatem większa elastyczność produkcji oraz mniejsze koszty narzędzi. Zmniejszenie powierzchni styku ściernicy z przedmiotem obrabianym powoduje redukcję siły szlifowania, co przekłada się na większą dokładność wymiarowo-kształtową szlifowanych przedmiotów. Fakt ten ma szczególne znaczenie podczas szlifowania długich i smukłych elementów. Co więcej, niskie wartości sił w procesie sprawiają, że szlifowanie wzdłużno-kształtowe może być stosowane jako wykończeniowa obróbka jednoprzęściowa.

Zredukowany kontakt ściernicy z przedmiotem obrabianym powoduje zmniejszenie obciążenia cieplnego, co pozwala na lepszą kontrolę procesu i może pomóc uniknąć powstawania przypaleń, nawet przy zastosowaniu wysokich wartości dosuwu ściernicy.

Zastosowanie ściernicy profilowej promieniowej umożliwia szlifowanie powierzchni stożkowych bądź wałków o bardziej skomplikowanym kształcie. W procesie tym, z uwagi na małą powierzchnię styku narzędzia z przedmiotem obrabianym, aby osiągnąć zadowalającą jakość powierzchni, konieczne jest stosowanie niskich wartości prędkości posuwu. Obróbka ta może zatem znaleźć zastosowanie w produkcji jednostkowej i małoseryjnej.

Literatura

- [1] Babiarz R., Żyłka Ł., Płodzień M., Sułkowicz P.: Nadzorowanie stanu ściernicy w szlifowaniu CFG z wykorzystaniem sygnałów akustycznych, *Mechanik*, 88 (2015) 1-3.
- [2] Klocke F., Hegener G.: Fast, good and flexible: continuous path controlled grinding, *IDR*, 33 (1999) 153-160.
- [3] Lopez L., Lamikiz A.: *Machine Tools for High Performance Machining*, Springer-Verlag, London 2009.
- [4] Mucke K.: Quickpoint-Schleifmaschine mit wendbarer Spindel umspannen des Werkstücks erubrigt sich, *Ind. Anz.*, 122 (2000) 43-51.
- [5] Nadolny K.: A review on single-pass grinding processes, *J. Cent. South Univ.*, 20 (2013) 1502-1509.
- [6] Oczko K.: Doskonalenie techniki szlifowania. Część II, *Mechanik*, 78 (2005) 747-756.
- [7] Rowe W.: *Principles of Modern Grinding Technology*, William Andrew, New York 2013.
- [8] Webster J., Tricard M.: Innovations in abrasive products for precision grinding, *Annals of CIRP*, 53 (2004) 597-617.

TRAVERSE-CONTOUR GRINDING OF SHAFTS USING 1F1 TYPE PROFILE GRINDING WHEEL

Summary

Finishing machining of cylindrical parts may be conducted in many different ways. Depending on the type of workpiece, the commonly used methods include traverse grinding, plunge grinding and shape grinding. This paper presents a method of traverse-contour grinding, which consists of machining workpieces using a narrow, cylindrical or profile grinding wheel, that moves along a CNC-programmed path. This method is especially useful for machining parts with complicated geometry. Traverse-contour grinding tests of workpiece characterised by cylindrical, conical and also convex as well as concave surfaces were conducted using a 1F1 profile grinding wheel at varying grinding parameters. Values of grinding force components as well as acoustic emission were presented. Grinding accuracy was analysed focusing on shape deviation and surface roughness.

Keywords: traverse-contour grinding, CPCG grinding, profile grinding wheel, cylindrical grinding

DOI: 10.7862/rm.2017.41

Przesłano do redakcji: 11.08.2017

Przyjęto do druku: 10.10.2017