

Szlifowanie wzdłużne wałków o małej sztywności z korekcją toru ruchu ściernicy

Traverse grinding of low-stiffness shafts with the use of a grinding wheel's path correction

JAN BUREK
PAWEŁ SUŁKOWICZ
ROBERT BABIARZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.120>

Prezentowano metodę sterowania głębokością szlifowania wzdłużnego wałków o małej sztywności. W tym celu wykorzystano pomiar siły szlifowania, który umożliwił obliczenie korekcji toru ruchu ściernicy, aby zmniejszyć błędy walcowości i wymiary szlifowanych przedmiotów.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie wzdłużne, szlifowanie wałków, wałki o małej sztywności, odchyłka walcowości

This paper presents a method of increasing the shape and dimensional accuracy of low-stiffness shafts manufactured in traverse grinding process. In order to achieve that, grinding force measurement was used. It allowed to calculate such a correction of a grinding wheel's path, that allowed to decrease dimensional and shape errors of grinded workpieces.

KEYWORDS: traverse grinding, cylindrical grinding, low-stiffness shafts, cylindricity error

W zespołach maszyn i urządzeń powszechnie stosuje się wałki o małej sztywności. Znajdują one zastosowanie m.in. w przemyśle narzędziowym, maszynowym, motoryzacyjnym i lotniczym oraz w mechanice precyzyjnej. Przedmioty te charakteryzują się nieproporcjonalnością wymiarów gabarytowych oraz małą sztywnością w określonych kierunkach i przekrojach.

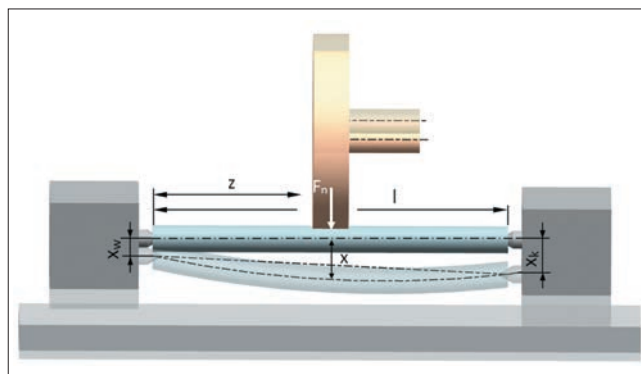
Do wałków o małej sztywności zalicza się takie, w których stosunek długości wałka do jego średnicy jest większy od 10. Częściom tym stawiane są zazwyczaj wysokie wymagania co do jakości powierzchni, dokładności kształtu i wymiarów [1, 2].

Wałki o małej sztywności w praktyce przemysłowej są zwykle obrabiane w procesie szlifowania jako końcowej operacji kształtowania. Specyfika obróbki tego typu elementów sprawia, że uzyskanie wymaganych parametrów dokładności wymiarowo-kształtowej oraz jakości powierzchni jest utrudnione. Procesy szlifowania są zakłócanie przez wiele czynników, takich jak: duże odkształcenia własne wałków, podatność podzespołów obrabiarki, zmiany temperatury, drgania, wióry czy zmiany właściwości skrawnych ściernicy [3].

Głównymi czynnikami wpływającymi na dokładność wymiarowo-kształtową szlifowanych wzdłużnie części o małej sztywności są sztywność obrabianych przedmiotów oraz sztywność podzespołów obrabiarki [4].

Najmniej sztywnymi elementami układu OPN przy szlifowaniu wzdłużnym wałków o małej sztywności są z reguły kły wrzeciennika przedmiotu i konika, a także obrabiany przedmiot. Zależnie od geometrii szlifowanego przedmiotu elementy te mogą decydować – w ponad 90% – o podatności całego układu [4].

Przemieszczenie sprężyste przedmiotu oraz kłów wrzeciennika przedmiotu i konika pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Przemieszczenie sprężyste przedmiotu oraz kłów wrzeciennika przedmiotu (x_w) i konika (x_k)

Całkowita wartość przemieszczenia sprężystego przedmiotu w dowolnym punkcie podczas szlifowania wzdłużnego może być w przybliżeniu opisana równaniem:

$$x = x_1 + x_2 + x_3 \quad (1)$$

gdzie: x_1 – wartość ugięcia przedmiotu w miejscu przyłożenia siły, x_2 – przemieszczenie przedmiotu na skutek podatności kła wrzeciennika przedmiotu, x_3 – przemieszczenie przedmiotu na skutek podatności kła konika.

Te przemieszczenia można określić z wykorzystaniem następujących zależności:

$$x_1 = \frac{F_n \cdot z^2 \cdot (l - z)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} \quad (2)$$

$$x_2 = \left(1 - \frac{z}{l}\right)^2 \cdot \frac{F_n}{k_w} \quad (3)$$

$$x_3 = \left(\frac{z}{l}\right)^2 \cdot \frac{F_n}{k_k} \quad (4)$$

gdzie: F_n – składowa normalna siły szlifowania, l – długość wałka, z – pozycja styku ściernicy z przedmiotem, E – moduł Younga, I – moment bezwładności przekroju kołowego, k_w – sztywność kła wrzeciennika przedmiotu, k_k – sztywność kła konika.

Całkowita wartość przemieszczenia będzie więc równa:

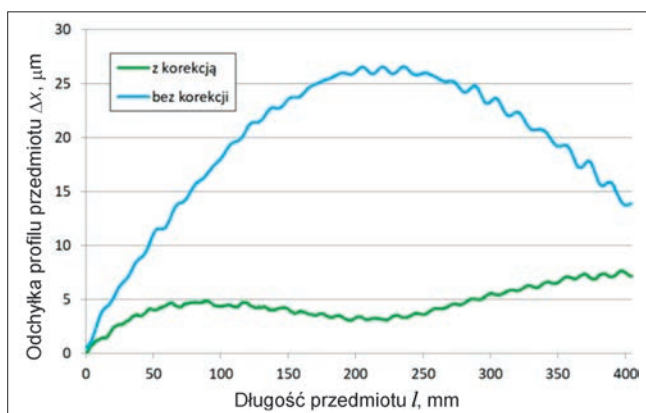
$$x(F_n, z) = \frac{F_n \cdot z^2 \cdot (l - z)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} + \left(\frac{z}{l}\right)^2 \cdot \frac{F_n}{k_k} + \left(1 - \frac{z}{l}\right)^2 \cdot \frac{F_n}{k_w} \quad (5)$$

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRZ (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkiewicz (sulkowicz@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarsz (robertb@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyizacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

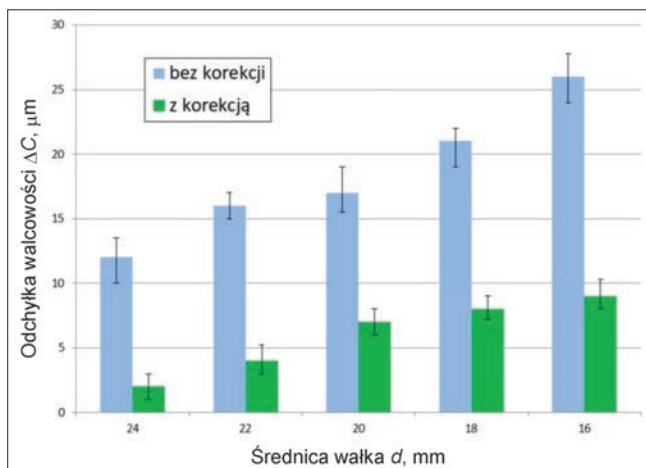
Wyniki badań

Szlifowane wałki po obróbce mierzono z wykorzystaniem czujnika indukcyjnego, zamocowanego na wrzecienniku obrabiarki. Pomiary wykonywano w ten sposób, że stół szlifierki wraz z obrabianym przedmiotem przemieszczano względem czujnika indukcyjnego po tworzącej powierzchni walcowej wzdłuż osi przedmiotu z prędkością $v_m = 100$ mm/min. Zarys obrobionej powierzchni mierzono sześciokrotnie co 60° . Na rys. 5 przedstawiono przebieg odchyłki profilu dla przedmiotu o średnicy $d = 16$ mm, szlifowanego bez korekacji oraz z korekcją toru ruchu ściernicy. Można zauważyć, że zastosowanie korekcji toru ruchu ściernicy spowodowało znaczącą poprawę dokładności szlifowanego przedmiotu. Dla wałka szlifowanego z korekcją toru ruchu ściernicy maksymalna wartość odchyłki profilu wyniosła ok. $5 \mu\text{m}$, co oznacza ponad czterokrotny spadek jej wartości w porównaniu ze szlifowaniem bez korekcji. W obu przypadkach wyższe wartości odchyłki profilu zarejestrowano po stronie kła konika szlifierki, co jest efektem jego mniejszej sztywności w porównaniu ze sztywnością kła wrzeciennika przedmiotu.

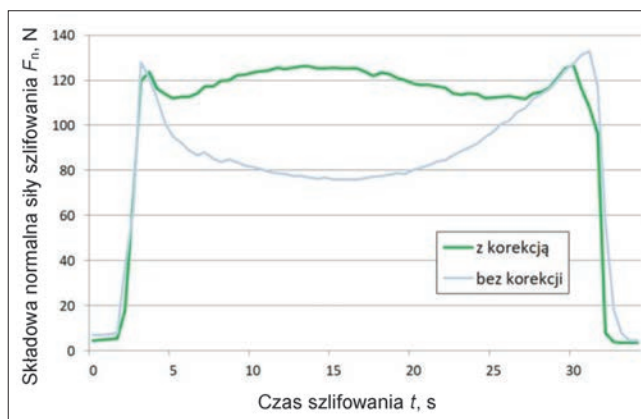
Wartości odchyłek walcowości dla szlifowanych przedmiotów w zależności od zmiany ich średnicy przedstawiono na rys. 6. Jak widać, zastosowanie korekcji toru ruchu ściernicy spowodowało znaczące obniżenie wartości odchyłki walcowości dla wszystkich szlifowanych przedmiotów. Największą poprawę dokładności kształtu uzyskano w przypadku wałka o średnicy 16 mm, dla którego odnotowano spadek odchyłki walcowości o ok. $18 \mu\text{m}$.



Rys. 5. Przebieg odchyłki profilu przedmiotu o średnicy $d = 16$ mm, szlifowanego bez korekcji oraz z korekcją toru ruchu ściernicy



Rys. 6. Odchyłki walcowości przedmiotów szlifowanych z korekcją i bez korekcji toru ruchu ściernicy



Rys. 7. Przebieg składowej normalnej siły szlifowania F_n podczas szlifowania przedmiotu o średnicy $d = 16$ mm z korekcją oraz bez korekcji toru ruchu ściernicy

Na rys. 7 przedstawiono przebieg wartości składowej normalnej siły szlifowania podczas obróbki przedmiotu o średnicy $d = 16$ mm z korekcją oraz bez korekcji toru ruchu ściernicy. Przebieg siły F_n dla szlifowania bez korekcji wskazuje na jej wyraźny spadek, wynikający z ugięcia przedmiotu i w rezultacie – ze zmniejszenia głębokości skrawania. Dla obróbki z korekcją toru ruchu ściernicy wartości siły F_n były zbliżone do 120 N w całym zakresie szlifowania.

Podsumowanie

W procesie szlifowania wzdłużnego wałków o małej sztywności w wyniku odkształcenia sprężystego układu OPN powstają błędy wymiaru i kształtu. Badania potwierdziły, że zastosowanie korekcji toru ruchu ściernicy podczas szlifowania umożliwia bardzo dużą poprawę dokładności wykonywanych wałków.

Zastosowanie korekcji toru ruchu ściernicy na podstawie pomiaru siły szlifowania spowodowało uzyskanie kilkakrotnie niższych wartości odchyłek walcowości w porównaniu z tradycyjną obróbką. Z uwagi na wysoki koszt siłomierzy piezoelektrycznych, a także trudności w ich montażu na obrabiarkę, należy przeprowadzić badania mające na celu sprawdzenie możliwości zastosowania – zamiast siłomierzy – np. czujnika emisji akustycznej.

Reasumując, metoda szlifowania wzdłużnego z korekcją toru ruchu ściernicy zapewnia poprawę dokładności szlifowanych wałków o małej sztywności i może stanowić alternatywę dla szlifowania wieloprzejściowego bądź szlifowania z użyciem podrzymek.

LITERATURA

- Świć A. „Technologia obróbki wałków o małej sztywności”. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2009.
- Oliveira J., Silva E., Guo C. „Industrial challenges in grinding”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 58, 2 (2009): s. 663–680.
- Park W., Kim D., Lee S. „Shape prediction during the cylindrical traverse grinding of a slender workpiece”. *Journal of Materials Processing Technology*. 88, 1 (1999): s. 23–32.
- Burek J. „Regulacja i nadzorowanie procesu szlifowania węgelnego walcowych powierzchni zewnętrznych”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2017.
- Jianliang G., Rhondi H. „A united model of diametral error in slender bar turning with a follower rest”. *International Journal of Material Forming*. 46, 1 (2006): s. 1002–1012.
- Nadolny K. „Klasyfikacja procesów szlifowania jednoprzejściowego”. *Mechanik*. 5–6 (2008): s. 450–455.
- Wołos D., Taranenkov V., Świć A. „Klasyfikacja metod osiągnięcia niezawodności technologicznej obróbki wałków o małej sztywności”. *Przegląd Mechaniczny*. 5 (2007): s. 154–155.