

# Optymalizacja parametrów toczenia rowka pod pierścienie tłokowe

## Optimization of cutting parameters for the groove turning of piston rings

PAWEŁ LISIAK  
PAWEŁ TWARDOWSKI  
SZYMON WOJCIECHOWSKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.229

Praca dotyczy optymalizacji procesu toczenia rowków pod pierścienie tłokowe. Badania obejmowały dobór prędkości skrawania  $v_c$  i posuwu  $f$  umożliwiające poprawę efektów ekonomicznych toczenia. Przeprowadzono optymalizację procesu ze względu na trwałość ostrza w celu minimalizacji kosztów jednostkowych  $K_j$  oraz maksymalizacji wydajności obróbki  $W$ .  
**SŁOWA KLUCZOWE:** tłok silnika, toczenie, optymalizacja, trwałość

*This work concerns the optimization of cutting parameters for the groove turning of piston rings. The research included the selection of cutting speed and feed per tooth values enabling the improvement of turning economics. The tool life optimization was carried out in order to minimize machining unit costs and maximize the productivity.*

**KEYWORDS:** combustion engine piston, turning, optimization, tool life

Tematem pracy jest optymalizacja procesu toczenia rowków pod pierścienie tłokowe polegająca na skracaniu czasu, obniżaniu kosztów produkcji, wydłużaniu trwałości ostrza, a także poprawie jakości obrabianej powierzchni oraz minimalizacji drgań układu obrabiarka–uchwyt–przedmiot–narzędzie [1÷5]. Jedną z metod mających na celu poprawę efektów ekonomicznych skrawania jest optymalizacja ze względu na trwałość ostrza [6].

Badania obejmowały dobór prędkości skrawania  $v_c$  i posuwu  $f$ . Przeprowadzono optymalizację procesu ze względu na trwałość ostrza, aby zminimalizować koszty jednostkowe  $K_j$  oraz zmaksymalizować wydajność obróbki  $W$ . Optymalizacja posuwu  $f$  miała na celu zmniejszenie wartości składowych siły całkowitej ( $F_c$ ,  $F_r$ ) i przyspieszeń drgań ( $A_c$ ,  $A_r$ ) wygenerowanych podczas toczenia rowków z jednoczesną maksymalizacją wydajności objętościowej skrawania  $Q_v$ .

### Warunki i wyniki badań

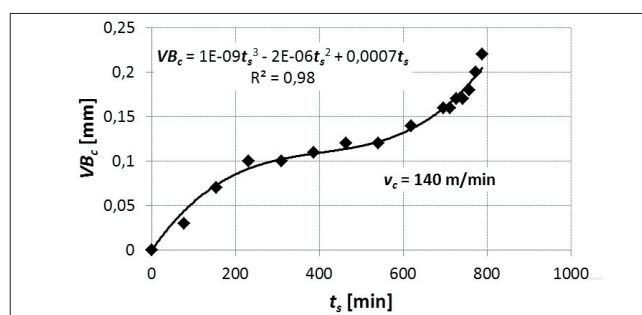
Przeprowadzono pomiary szerokości starcia powierzchni przyłożenia na prostoliniowym odcinku głównej krawędzi skrawającej ostrza podczas toczenia poprzecznego rowków w zakresie zmiennej prędkości skrawania  $v_c$  (tablica). Jako kryterium stopienia przyjęto  $VB_c = 0,2$  mm. Pomiary wykonano mikroskopem warsztatowym, a przykładowe wyniki zużycia pokazano na rys. 1. Badania zużycia powtórzono trzykrotnie dla trzech różnych płytek skrawających tego samego typu, w celu określenia powtarzalności przebiegów zużycia i uwzględnienia tych wyników podczas wyznaczania równania Taylora.

Narzędziem zastosowanym w badaniach był specjalny nóż tokarski do toczenia rowków (rys. 2) z płytką skrawającą wykonaną z węgliku spiekanego. Materiałem obrabianym było żeliwo.

\* Mgr inż. Paweł Lisiak (pawel.lisiak@pl.mahle.com) – Mahle Krotoszyn; dr hab. inż. Paweł Twardowski (pawel.twardowski@put.poznan.pl), dr inż. Szymon Wojciechowski (szymon.wojciechowski@put.poznan.pl) – Politechnika Poznańska

TABLICA. Parametry skrawania w badaniach trwałościowych

Prędkość skrawania $v_c$ , m/min°	90; 140; 230
Prędkość obrotowa $n$ , obr/min	333; 518; 851
Posuw $f$ , mm/obr	0,04±0,20
Głębokość toczenia $a_p$ , mm	2,5



Rys. 1. Przykładowe wyniki zużycia dla  $v_c = 140$  m/min

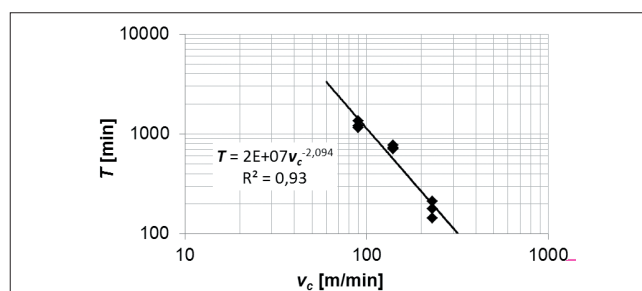


Rys. 2. Narzędzie zastosowane w badaniach

Na rys. 3 przedstawiono wpływ prędkości skrawania  $v_c$  na trwałość ostrza  $T$  z węgliku spiekanego podczas toczenia poprzecznego rowka. Uzyskany przebieg  $T = f(v_c)$  umożliwił wyznaczenie doświadczalnego równania Taylora, którego współczynniki:  $s$ ,  $C_T$  posłużyły do optymalizacji efektów ekonomicznych procesu toczenia.

Kolejny etap badań obejmował wyznaczenie kosztów jednostkowych  $K_j$ , kosztów minutowych obrabiarki  $K_o$  i kosztów narzędziowych  $K_n$ .

Podczas toczenia rowków głębokość skrawania jest stała i równa długości głównej krawędzi skrawającej ( $a_p = l_c$ ), dlatego optymalizacja parametrów skrawania nie uwzględnia tej wielkości. W związku z tym kolejne badania dotyczyły wielokryterialnej optymalizacji posuwu  $f$ . Wykorzystano procedurę zaimplementowaną w oprogramowa-



Rys. 3. Wpływ prędkości skrawania na trwałość ostrza

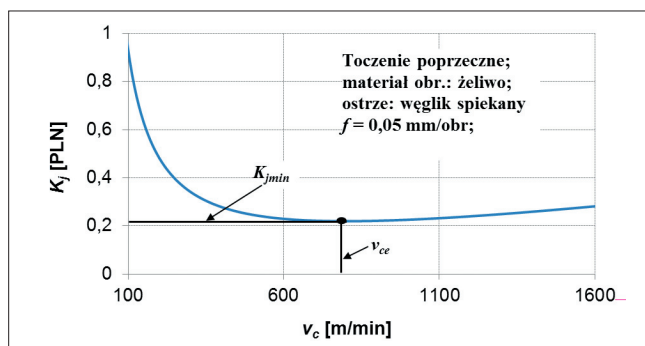
niu StatSoft Statistica 12, polegającą na przekształceniu aproksymowanych wartości wielu wielkości wyjściowych w pojedynczą wartość całkowitej użyteczności  $u_{tot}$ .

Zagadnienie jednoczesnej optymalizacji wielu wielkości wyjściowych upraszcza się do znalezienia wartości wielkości wejściowej, która maksymalizuje całkowitą użyteczność odpowiedzi wielkości wyjściowych.

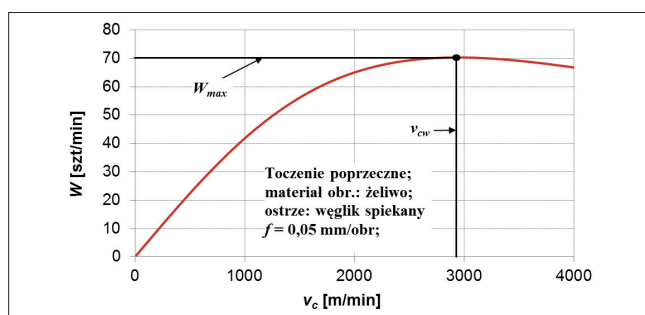
Pierwszym etapem było przeprowadzenie serii badań zgodnie z centralnym kompozycyjnym planem doświadczeń. Badania te obejmowały pomiary składowych siły całkowitej i przyspieszeń drgań podczas toczenia poprzecznego rowka.

Na rys. 4 przedstawiono wpływ prędkości skrawania na wartości kosztów jednostkowych  $K_j$  toczenia poprzecznego rowka. Przy aktualnie stosowanej przez przedsiębiorstwo Mahle prędkości skrawania  $v_c = 140$  m/min koszty jednostkowe  $K_j$  procesu są na poziomie ok. 0,67 PLN. Obliczenia wskazują, że najmniejszą wartość kosztu jednostkowego, wynoszącą 0,22 PLN, można uzyskać dla ekonomicznej prędkości skrawania  $v_{ce} = 803$  m/min. Stanowi to obniżenie kosztów jednostkowych toczenia poprzecznego o ponad 300%.

Dobór ekonomicznej prędkości skrawania  $v_{ce}$  umożliwi również znaczne podniesienie wydajności skrawania  $W$  (rys. 5). Z obliczeń wynika, że przy obecnie stosowanej prędkości skrawania ( $v_c = 140$  m/min) wykonywanych jest 6 operacji na minutę, natomiast w przypadku zwiększenia prędkości do  $v_{ce} = 803$  m/min możliwe będzie wykonanie nawet 35 szt./min. Stanowi to zwiększenie wydajności procesu o 580%.



Rys. 4. Wpływ prędkości skrawania na koszty jednostkowe toczenia poprzecznego rowka



Rys. 5. Wpływ prędkości skrawania na wydajność toczenia poprzecznego rowka

Obliczenia ekonomicznej prędkości skrawania  $v_{ce}$  na podstawie doświadczalnego równania Taylora umożliwiającą prognozę minimalnej wartości kosztu jednostkowego zabiegu. Należy jednak podkreślić, że tego typu podejście charakteryzuje się pewnymi ograniczeniami dotyczącymi możliwości ekstrapolacyjnych modelu. W praktyce oznacza to, że oszacowanie trwałości ostrza poza doświad-

czalnie zbadany zakres prędkości skrawania może nie być w pełni miarodajne. Podobnie jest w przypadku wydajności – oszacowana wartość prędkości  $v_{cw}$  znacząco wykracza poza zakres poddany badaniom trwałościowym. Ze względu na ograniczone możliwości ekstrapolacyjne modelu nie należy brać jej pod uwagę podczas doboru optymalnej prędkości skrawania.

Kolejny etap analizy procesu toczenia rowków pod pierścienie tłoków dotyczył wielokryterialnej optymalizacji posuwu  $f$ . Wyniki badań doświadczalnych ukazują, że w procesie toczenia poprzecznego rowków występuje monotoniczny wzrost wartości sił  $F_c$ ,  $F_f$  wraz ze zwiększeniem wartości posuwu  $f$ . Podobną zależność zaobserwowano dla przyspieszeń drgań. Największe wartości sił i przyspieszeń drgań występują dla kierunku obwodowego ( $F_c$ ,  $A_c$ ), niezależnie od zbadanej wartości posuwu  $f$ . W związku z tym kierunek obwodowy ma krytyczne znaczenie w aspekcie optymalizacji przeprowadzanej ze względu na minimalizację sił i drgań.

Wygenerowany w programie Statistica 12 przebieg użyteczności całkowitej  $u_{tot} = f(f)$  umożliwia dobór optymalnej wartości posuwu  $f$ . Maksymalna wartość parametru  $u_{tot}$ , wynosząca 0,7, przypada dla posuwu  $f = 0,8$  mm/obr. Stanowi to optymalną wartość parametru  $f$  ze względu na minimalizację sił i drgań oraz maksymalizację wydajności objętościowej skrawania.

## Wnioski

Badania obejmowały dobór prędkości skrawania  $v_c$  i posuwu  $f$  umożliwiającą poprawę efektów ekonomicznych toczenia. Przyjętymi kryteriami optymalizacji były: koszt jednostkowy  $K_j$ , wydajność  $W$ , siły  $F_c$ ,  $F_f$ , przyspieszenia drgań  $A_c$ ,  $A_f$  oraz wydajność objętościowa skrawania  $Q_V$ .

Badania wykazały, że w zakresie prędkości skrawania 90÷230 m/min wzrost tego parametru wpływał na obniżenie trwałości ostrza.

Na podstawie wykonanych badań oraz symulacji można wytypować optymalne wartości parametrów skrawania procesu:  $v_c = 230$  m/min,  $f = 0,8$  mm/obr. Obróbka rowków pod pierścienie tłokowe z prędkością skrawania  $v_c = 230$  m/min może wpłynąć na obniżenie kosztów jednostkowych zabiegu  $K_j$  o ok. 56% oraz zwiększenie wydajności produkcji  $W$  o ok. 67% w stosunku do stanu aktualnego. Dobór posuwu na obrót  $f = 0,8$  mm/obr umożliwi uzyskanie podczas toczenia rowków wartości sił i drgań nieprzekraczających kolejno: 102 N i 25 m/s<sup>2</sup>, a także wydajności objętościowej skrawania  $Q_V$  na poziomie ok. 46 000 mm<sup>3</sup>/min.

## LITERATURA

1. Krolczyk G.M., Niesłony P., Legutko S. "Determination of tool life and research wear during duplex stainless steel turning". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 15 (2) (2015): pp. 347-354.
2. Wang X., Jawahir I.S. "Optimization of multi-pass turning operations using genetic algorithms for the selection of cutting conditions and cutting tools with tool-wear effect". *International Journal of Production Research*. 43 (2005): pp. 3543-3559.
3. Subramanian M., Sakthivel M., Sooryaprakash K., Sudhakaran R. "Optimization of end mill tool geometry parameters for Al7075-T6 machining operations based on vibration amplitude by response surface methodology". *Measurement*. 46 (2013): pp. 4005-4022.
4. Kivak T. "Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts". *Measurement*. 50 (2014): pp. 19-28.
5. Karabulut S. "Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al2O3 metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method". *Measurement*. 66 (2015): pp. 139-149.
6. Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa: WNT 2010. ■