

Optimalizacja parametrów toczenia powierzchni bocznych tłoków silników spalinowych

Optimization of cutting parameters for the longitudinal turning of combustion engines' pistons

SZYMON WOJCIECHOWSKI
PAWEŁ LISIAK
PAWEŁ TWARDOWSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.228

Prezentowane wyniki badań dotyczących optymalizacji procesu stabilnego toczenia powierzchni bocznych tłoków. Badania obejmowały dobór parametrów skrawania umożliwiających poprawę efektów ekonomicznych obróbki, a także zapewnienie stabilności procesu toczenia.

SŁOWA KLUCZOWE: toczenie wzdłużne, optymalizacja, stabilność, zużycie ostrza

In this paper, the research results related to the optimization of the longitudinal turning of combustion engines' pistons are presented. The carried out research included the selection of cutting parameters enabling the improvement of machining economics, as well as the stability of the turning process.

KEYWORDS: longitudinal turning, optimization, stability, tool wear

Głównym celem optymalizacji procesów skrawania jest poprawa efektów ekonomicznych oraz technologicznych obróbki. Z przeglądu literatury wynika, że problematyka ta dotyczy głównie skracania czasu i obniżania kosztów produkcji, wydłużania trwałości ostrza, podnoszenia jakości obrobionej powierzchni, a także 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]. Podejście to umożliwia wyznaczenie ekonomicznej prędkości skrawania v_{ce} , odpowiadającej wygenerowaniu minimalnych kosztów jednostkowych K_j zabiegu, oraz wydajnościowej prędkości skrawania v_{cw} , zapewniającej maksymalizację wydajności obróbki W . Aby zrealizować to zadanie, niezbędne jest przeprowadzenie badań trwałościowych ostrzy skrawających i wyznaczenie wykładnika potęgowego s występującego we wzorze Taylora:

$$T = C_T / v_c^s$$

gdzie: T – trwałość, C_T – globalny współczynnik skrawalności, v_c – prędkość skrawania.

To podejście zostało zaadaptowane w ramach badań dotyczących toczenia wzdłużnego powierzchni bocznych tłoków silników spalinowych. Wyniki badań umożliwiają dobór parametrów skrawania wpływających na poprawę wydajności obróbki i obniżenie jej kosztów jednostkowych.

Warunki i metodyka badań

Przeprowadzone badania obejmowały pomiary szerokości starcia powierzchni przyłożenia na narożu – VB_c (rys. 1) podczas toczenia wzdłużnego. Pomiary wykonano mikroskopem warsztatowym. Jako kryterium stopienia

przyjęto pojawienie się niedopuszczalnej falistości i/lub widocznych rozwarstwień, co miało najczęściej miejsce po przekroczeniu $VB_c = 0,3$ mm. Badania zużycia powtórzone trzykrotnie, w celu określenia powtarzalności przebiegów zużycia i uwzględnienia tych wyników podczas wyznaczania równania Taylora.



Rys. 1. Widok płytek diamentowych o różnym stopniu zużycia

Narzędziem zastosowanym w badaniach był składany nóż tokarski do toczenia wzdłużnego SEGN 120308 z płytką skrawającą z polikrystalicznego diamentu. Materiałem obrabianym był stop aluminium (nazwa stopu zastrzeżona, $d = 82$ mm). Kolejny etap badań obejmował wyznaczenie kosztów jednostkowych oraz trwałości ekonomicznej i wydajnościowej ostrza. Zastosowano podejście opisane w pracy [6]. W tabl. I przedstawiono dane na temat procesu toczenia powierzchni bocznych tłoka uzyskane z przedsiębiorstwa produkcyjnego.

TABLICA I. Dane dotyczące procesu toczenia tłoka

Czas wymiany narzędzia t_z , min	1
Koszty minutowe obrabiarki K_o , PLN/min	4,2
Koszty narzędziowe K_n , PLN/trwałość ostrza	656

Przeprowadzono próby w zakresie zmiennych parametrów skrawania (patrz – tabl. II), obejmujące pomiar przyspieszenia drgań narzędzia skrawającego. Zastosowano trójskładowy piezoelektryczny akcelerometr zamocowany do narzędzia. Sygnały przyspieszenia drgań zarejestrowano w dziedzinie czasu, z użyciem programu Analizator.

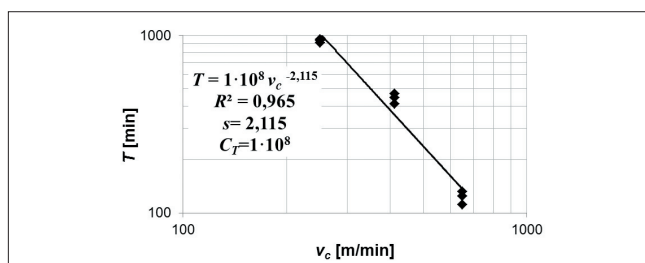
TABLICA II. Zastosowane parametry toczenia

Głębokości skrawania a_p , mm	1; 1,5
Posuw f , mm/obr	0,4; 0,8
Prędkość skrawania v_c , m/min	134; 250; 412; 650

Wyniki badań i ich analiza

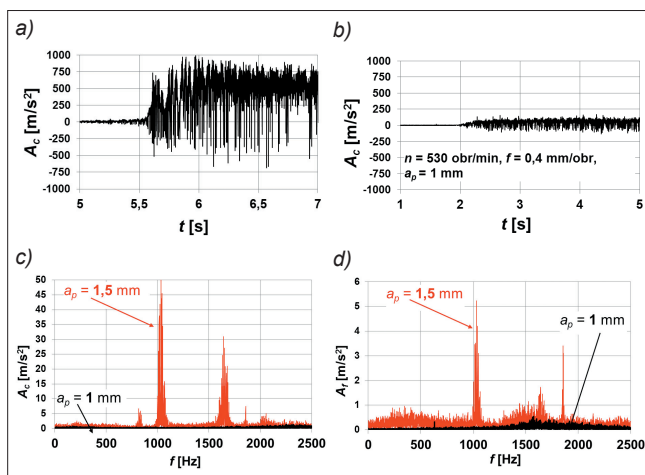
Na rys. 2 przedstawiono wpływ prędkości skrawania v_c na trwałość ostrza T z polikrystalicznego diamentu podczas toczenia wzdłużnego powierzchni bocznych tłoka. Z rysunku wynika, że wzrost prędkości skrawania powoduje monotoniczny spadek trwałości ostrza. Zależność ta pozostaje w zgodzie z modelem Taylora i stanowi typową zależność występującą podczas skrawania metali. Uzyskany przebieg $T = f(v_c)$ umożliwił wyznaczenie doświadczalnego równania Taylora, którego współczynniki: s , C_T posłużyły do optymalizacji efektów ekonomicznych procesu toczenia.

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



Rys. 2. Wpływ prędkości skrawania na trwałość ostrza

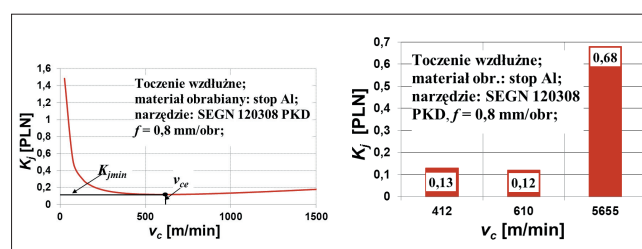
Celem badań był również dobór parametrów skrawania zapewniających stabilne toczenie powierzchni bocznych łtoków. Wyniki pomiarów przyspieszeń drgań ukazują, że dla głębokości skrawania $a_p \leq 1$ mm, niezależnie od prędkości skrawania v_c , proces skrawania był stabilny. Jednak podczas toczenia z głębokością skrawania $a_p = 1,5$ mm i prędkością $v_c = 134$ m/min nastąpiła utrata stabilności charakteryzująca się znaczącym wzrostem wartości przyspieszenia drgań. Przebiegi czasowe i charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe przyspieszeń drgań ukazują, że amplitudy sygnału są ponad sześciokrotnie większe dla kierunku obwodowego A_c i czterokrotnie większe dla kierunku posuwowego A_f w przypadku pojawienia się drgań samowzbudnych ($a_p = 1,5$ mm – rys. 3a, c, d) w porównaniu z przebiegami wygenerowanymi dla procesu stabilnego ($a_p = 1$ mm – rys. 3b, c, d). Rezultaty badań umożliwiają dobór granicznej głębokości skrawania $a_{plim} \approx 1$ mm, zapewniającej stabilność toczenia powierzchni bocznych łtoków.

Rys. 3. Wyniki pomiarów przyspieszeń drgań: a) A_c zakres niestabilny; b) A_c zakres stabilny; c) widmo dla A_c – zakres stabilny (kolor czarny) i niestabilny (kolor czerwony); d) widmo dla A_f – zakres stabilny (kolor czarny) i niestabilny (kolor czerwony)

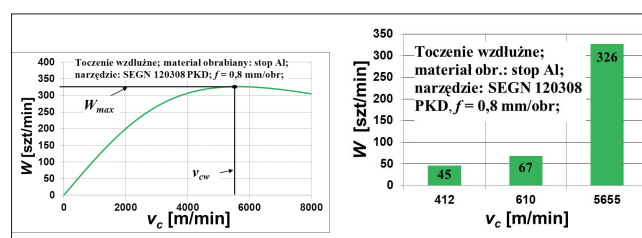
Badania wykazały, że przy aktualnie stosowanej przez przedsiębiorstwo prędkości skrawania $v_c = 412$ m/min koszty jednostkowe K_j procesu są na poziomie 0,13 PLN. Natomiast najmniejszą wartość kosztu jednostkowego (0,12 PLN) można uzyskać dla ekonomicznej prędkości skrawania $v_{ce} = 610$ m/min. Stanowi to ponad siedmioprocentowe obniżenie kosztów jednostkowych toczenia wzdłużnego (rys. 4).

Dobór prędkości skrawania na poziomie $v_{ce} = 610$ m/min umożliwi również znaczne zwiększenie wydajności skrawania W (rys. 5). Z obliczeń wynika, że przy obecnie stosowanej prędkości skrawania ($v_c = 412$ m/min) wykonywanych jest 45 operacji na minutę, natomiast w przypadku podniesienia prędkości do $v_{ce} = 610$ m/min możliwe będzie zwiększenie tej liczby do 67 szt/min. Stanowi to poprawę wydajności procesu o niemal 49%.

Obliczenia wykazały także, że maksymalną wydajność produkcji $W_{max} = 326$ szt/min można otrzymać dla wydajnościowej prędkości skrawania $v_{cw} = 5655$ m/min. Należy jednak podkreślić, że otrzymana wartość prędkości wydajnościowej ma jedynie znaczenie umowne, wynikające z ekstrapolacji równania Taylora poza zbadany zakres prędkości skrawania. Uzyskanie tak dużej prędkości w warunkach przemysłowych jest praktycznie niemożliwe ze względu na ograniczenia konstrukcyjne napędów obrabiarek i bardzo wysokie temperatury skrawania. Utrzymanie wydajności produkcji na poziomie 326 szt/min wiązałoby się również ze znaczącym wzrostem kosztu jednostkowego zabiegu o ponad 500% w stosunku do jego aktualnej wartości (0,13 PLN).



Rys. 4. Wpływ prędkości skrawania na koszty jednostkowe toczenia



Rys. 5. Wpływ prędkości skrawania na wydajność toczenia

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i obliczeń można wytypować optymalne wartości parametrów skrawania procesu: $v_c = 610$ m/min, $a_p \leq 1$ mm. Obróbka powierzchni bocznych łtoków w tym zakresie umożliwi zmniejszenie kosztów jednostkowych zabiegu o 7% oraz zwiększenie wydajności produkcji o około 49% w stosunku do stanu aktualnego, a także zapewni stabilność procesu.

Podczas toczenia powierzchni bocznych łtoków z $a_p = 1,5$ mm następuje utrata stabilności charakteryzująca się ponad sześciokrotnym wzrostem wartości składowej A_c w stosunku do wartości uzyskanych dla procesu stabilnego.

LITERATURA

- Krolczyk G.M., Niesiony 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa: WNT 2010.