

ZAAWANSOWANA METODA SYMULACYJNA ZWIĘKSZENIA EFEKTYWNOŚCI OBRÓBKI STOPU NIKLU – STUDIUM PRZYPADKU

Wojciech Zębała, Andrzej Matras, Tadeusz Otko

InstituT Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska

Autor korespondencyjny:

Andrzej Matras

InstituT Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji

Wydział Mechaniczny

Politechnika Krakowska

Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Polska

telefon: +48 12 374 3229

e-mail: amatras@mech.pk.edu.pl

SŁOWA KLUCZOWE

optymalizacja, toczenie, wydajność skrawania

ADVANCED SIMULATION METHOD OF EFFICIENCY INCREASE WHEN NICKEL ALLOY MACHINING – CASE STUDY

KEYWORDS

simulation, efficiency, nickel alloy, machining

ABSTRACT

Paper presents some investigations concerning FEM simulation analysis and optimization of turning process of the external engine block surface. As a part of examinations carried out, selected cutting operations of upper flange were analyzed. These concerned facing, external and internal turning. To conduct the feed speed optimization process a force model was built which enabled to calculate cutting forces values depending on cutting parameters and cross section of machined layer. The optimization research had the aim to stabilize the time course of cutting force values taking place during machining.

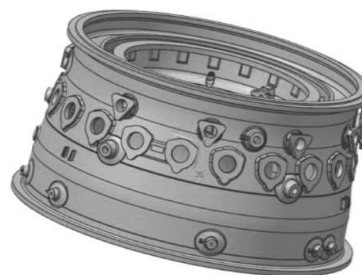
1. Wprowadzenie

Nowoczesne konstrukcje, szczególnie w przemyśle lotniczym, wymagają podstawowej wiedzy na temat mechanicznych własności materiałów [1–5]. Modelowanie obróbki skrawaniem jest skomplikowane z uwagi na złożony charakter zjawisk zachodzących w strefie tworzenia wióra [6]. Techniki symulacyjne wymagają informacji odnośnie właściwości materiałów [7], które w przypadku stopów metali stanowią duże wyzwanie w procesie ich przetwarzania [8, 9]. Z tego powodu, poprawnie skonstruowany model materiałowy, zaadoptowany do modelu symulacyjnego jest podstawowym narzędziem do analizy zachowania się materiału obrabianego w warunkach dużych odkształceń, wysokiej temperatury oraz szybkich zmian obciążenia ostrza [10].

Artykuł przedstawia badania symulacyjne toczenia powierzchni części lotniczej. Przeprowadzono analizę kształtu i wymiarów obrabianej powierzchni bloku silnika o cylindrycznym kształcie i grubości ścianki ok. 10 mm (rys. 1).

Po wstępnej analizie obróbki przedmiotu pokazanego na rysunku 1. zauważono możliwość zwiększenia prędkości skrawania, tym samym dając możliwość skrócenia okresu trwałości ostrza do wartości niezbędnej do wykonania potrzebnych operacji. Jednakże, wraz

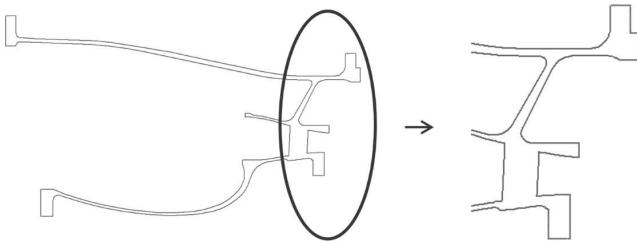
ze zmianą prędkości skrawania, należy kontrolować wpływ tej zmiany na dokładność wymiarowo kształtową oraz chropowatość obrobionych powierzchni i stabilność układu OUPN. Zmiany prędkości posuwu możliwe są pod warunkiem, że zwiększenie ich wartości nie spowoduje nadmiernego podwyższenia oporów skrawania, mogących negatywnie wpływać na odkształcenia geometrii obrabianego korpusu.



Rys. 1. Geometria obrabianej części

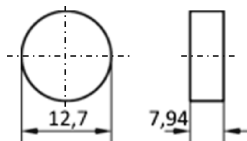
W celu przeprowadzenia procesu optymalizacji prędkości posuwu zbudowano model siłowy, umożliwiający obliczenie wartości sił skrawania w zależności od wartości parametrów obróbki. W ramach badań analizowano wybrane operacje toczenia górnych części korpusu. Analizowane powierzchnie charakteryzu-

ją się złożoną budową geometryczną. Składają się one m.in. z podcięć oraz załamań powierzchni o niewielkich promieniach. Kołnierze analizowanej części zorientowane są względem siebie koncentrycznie i znajdują się w niewielkiej odległości od siebie, co powoduje utrudniony dostęp narzędzi skrawających do obrabianych powierzchni. Wymiary geometryczne kołnierzy zapewniają ich stosunkowo wysoką sztywność, jednakże ułożone są one na cienkościennych częściach korpusu. Rysunek 2. przedstawia geometrię półfabrykatu i ścieżkę narzędzia dla operacji tokarskiej.

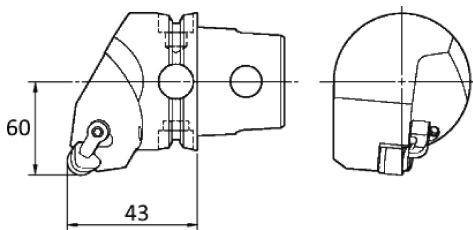


Rys. 2. Geometria półfabrykatu dla operacji tokarskich

Operacje zgrubne tokarskie wykonywane są za pomocą płytki skrawającej o oznaczeniu RNGN120700-T01020 (rys. 3) w gatunku KY1540, zamocowanej w oprawce o oznaczeniu KM63TSCRGNL12 (rys. 4).

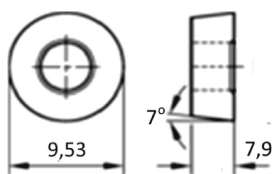


Rys. 3. Płytki RNGN120700T01020

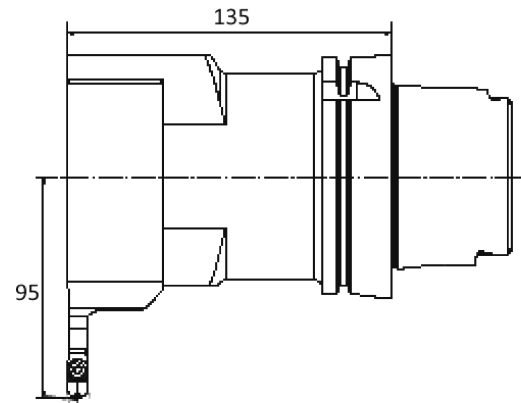


Rys. 4. Oprawka KM63TSCRGNL12

Parametry skrawania zastosowane podczas operacji wynoszą $v_c = 200$ m/min, posuw $f_n = 0,15$ m/obr. Maksymalne obroty wrzeciona zostały ograniczone do prędkości $n = 350$ obr/min. Do operacji toczenia wykończeniowego używana jest płytka skrawająca o oznaczeniu RPGX090700E w gatunku KY1540 (rys. 5), zamocowana w oprawce o oznaczeniu katalogowym RPGX090700E (rys. 6).



Rys. 5. Płytki RPGX090700E



Rys. 6. Oprawka do płytki RPGX090700E

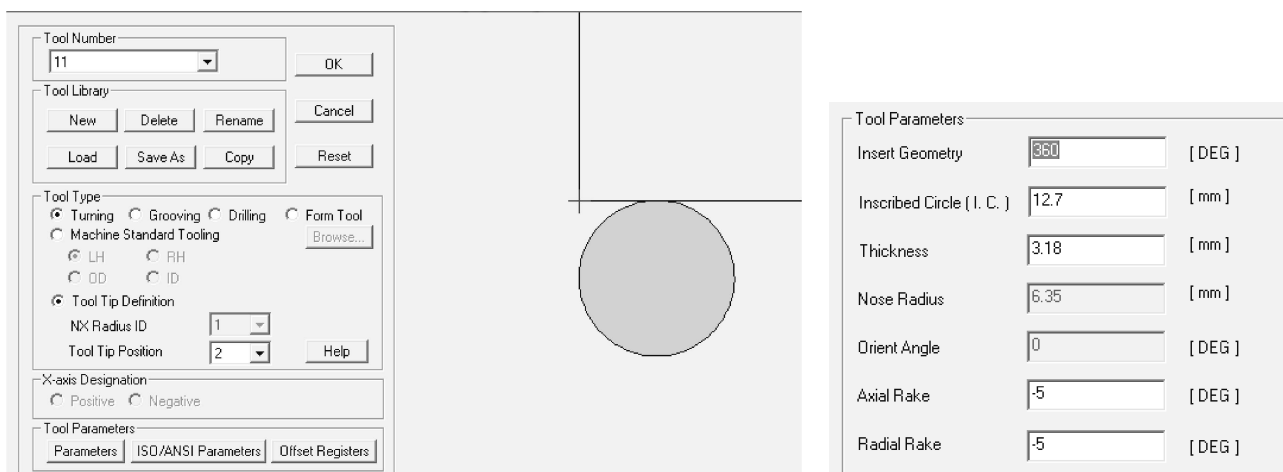
Parametry skrawania zastosowane podczas toczenia wynoszą $v_c = 160$ m/min, $f_n = 0,13$ mm/obr. Dla zastosowanych narzędzi skrawających zalecane parametry skrawania wynoszą $v_c = 140-320$ m/min oraz posuw $f_z = 0,08-0,6$ mm/ostrze. Parametry skrawania stosowane podczas obróbki mieszczą się w zakresach zalecanych przez producenta narzędzi.

Blok silnika był obrabiany na 5-cioosiowym centrum CNC. Podczas toczenia wykorzystano oś C jako obrotową i dwie osie translacyjne (X, Y). Z uwagi na cienkościenny charakter przedmiotu, w wyniku działania sił skrawania następowało geometryczne odkształcenie przedmiotu, co powodowało niewłaściwą obróbkę. Ważną rolę odgrywają tutaj wartości sił skrawania.

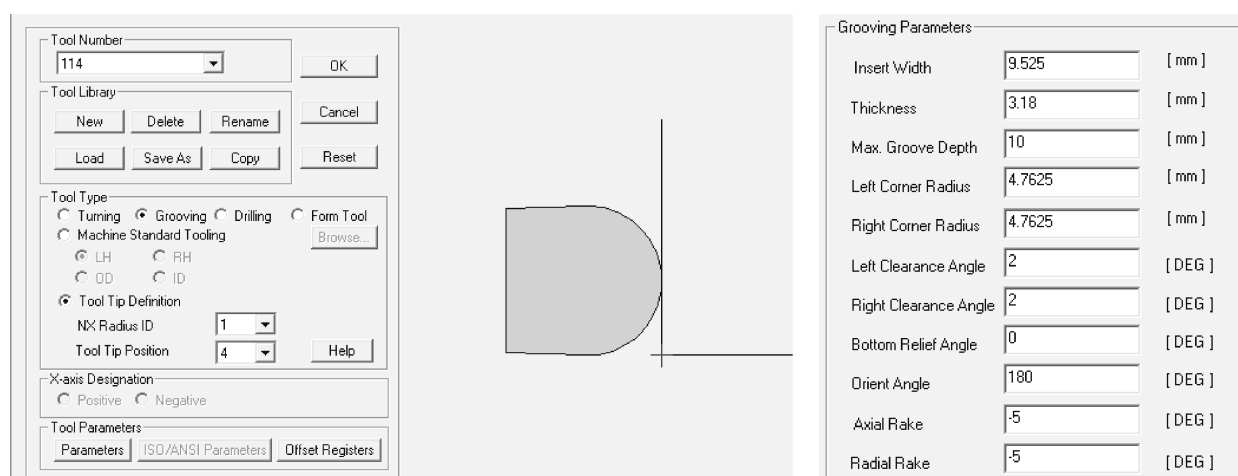
W wyniku analizy i praktycznych testów skrawania określono, że dobre wyniki daje stopniowa, przemienna obróbka raz z jednej strony, raz z drugiej strony obrabianego przedmiotu. Proces optymalizacji miał na celu poprawę efektywności wytwarzania oraz stabilizację wartości siły wzdłuż całej ścieżki narzędzia.

W pierwszym etapie badań symulacyjnych zdefiniowano narzędzia skrawające, wykorzystywane w czasie procesu toczenia kołnierzy. Przeanalizowano przejścia zgrubne i wykończeniowe prowadzone dwoma narzędziami. Pierwszym narzędziem jest nóż o oznaczeniu ST1 z płytką skrawającą o oznaczeniu RNGN120700-T01020 w gatunku KY1540. Drugim narzędziem wykorzystywanym do operacji tokarskich jest nóż o oznaczeniu SO1 z płytką skrawającą o oznaczeniu RPGX090700E w gatunku KY1540. Sposób definicji używanych narzędzi skrawających pokazano na rysunkach 7–8.

W następnym kroku badań symulacyjnych zdefiniowano półfabrykat oraz materiał przedmiotu obrabianego. Półfabrykatem był model przygotówki w formacie STL ze zdefiniowanym uprzednio układem współrzędnych, zgodnym z układem pracy obrabiarki CNC. Przedmiot obrabiany wykonany jest ze stopu Inconel 718. Do wykonania obliczeń, wykorzystano model materiałowy tego stopu zaimplementowany w używanym oprogramowaniu. Przeprowadzono obliczenia numeryczne wartości składowych sił skrawania oraz wydajności objętościowej w czasie trwania obróbki tokarskiej kołnierzy.



Rys. 7. Sposób definicji narzędzia ST1



Rys. 8. Sposób definicji narzędzia SO1

W następnym kroku przeprowadzono optymalizację prędkości posuwu, aby ustabilizować przebiegi wartości składowych siły skrawania w czasie całej obróbki. Jednocześnie ograniczono maksymalne wartości dopuszczalne prędkości posuwu, tak aby nie spowodować nadmiernego pogorszenia chropowatości powierzchni obrabianych. Jako kryterium optymalizacyjne wybrano wartości siły obwodowej. Ustawiano ją w taki sposób, aby jej wartość była równa wartości średniej obliczonej dla każdego z używanych narzędzi.

2. Symulacja i optymalizacja obróbki tokarskiej powierzchni zewnętrznej kołnierza, prowadzonej narzędziem ST1

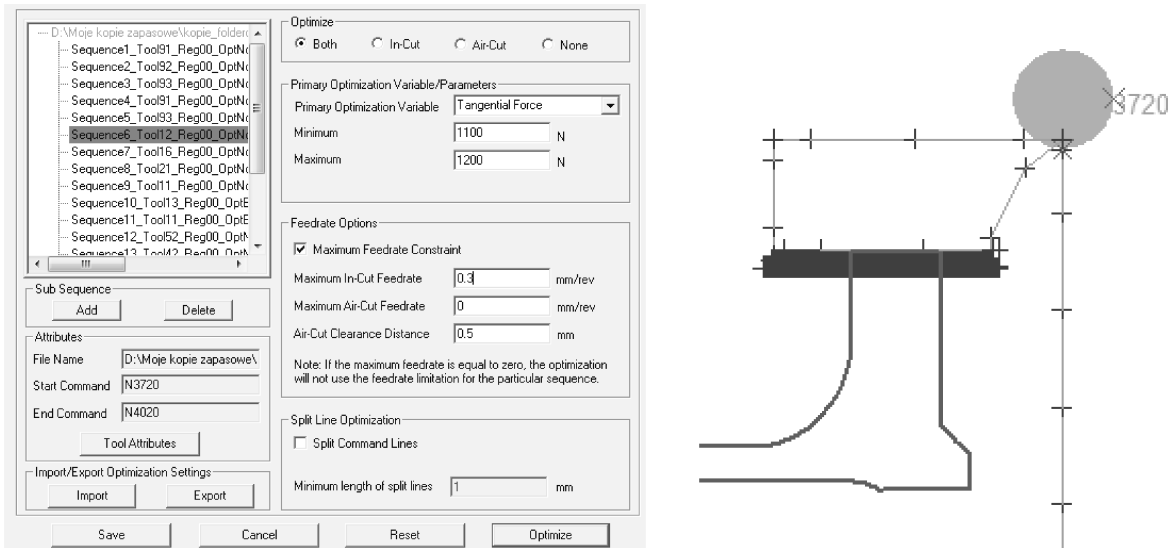
Na podstawie wykorzystanego modelu materiałowego wykonano obliczenia wartości składowych całkowi-

tej siły skrawania występujących podczas obróbki fragmentu zewnętrznego kołnierza korpusu. Przeprowadzono także optymalizację prędkości posuwu, której celem było uzyskanie wartości składowej obwodowej siły skrawania w zakresie 1100–1200 N. Zdefiniowane okno parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżek narzędzia pokazano na rysunku 9.

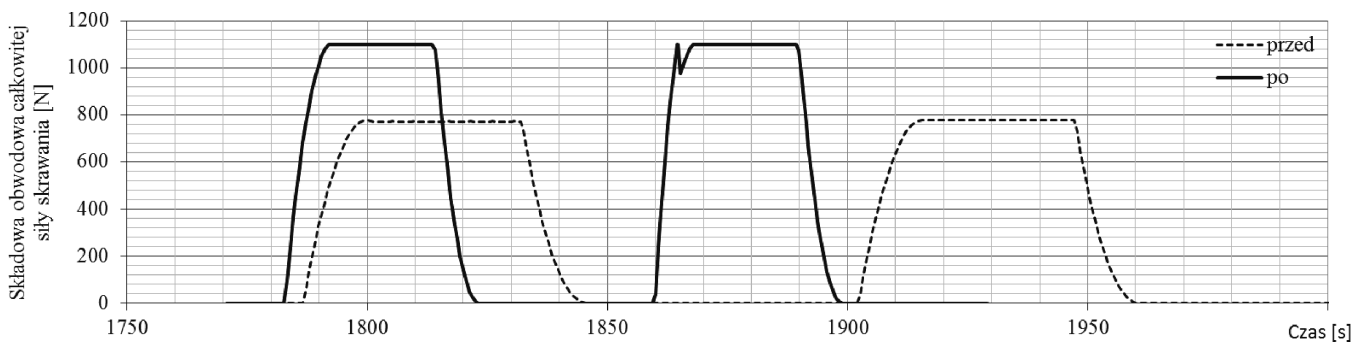
Na rysunku 10. pokazano zmiany wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania zachodzące w czasie obróbki dla optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.

W wyniku przeprowadzenia optymalizacji uzyskano zwiększenie wartości maksymalnej składowej obwodowej całkowitej siły skrawania z 710 N do 1100 N. Przeprowadzenie procesu optymalizacji spowodowało także skrócenie czasu skrawania o około 75 s.

Na kolejnych rysunkach 11. i 12. można zaobserwować zmiany w czasie wydajności objętościowej procesu skrawania oraz grubości wióra.



Rys. 9. Okno definicji parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżki narzędzia dla operacji toczenia powierzchni zewnętrznej kołnierza zewnętrznego



Rys. 10. Przebieg wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej kołnierza zewnętrznego



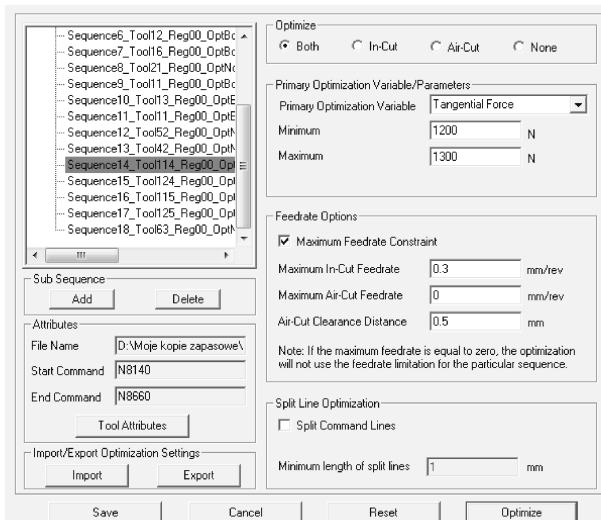
Rys. 11. Zmiany wartości wydajności objętościowej skrawania w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej kołnierza zewnętrznego



Rys. 12. Zmiany wartości grubości wióra w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej kołnierza zewnętrznego

3. Symulacja i optymalizacja obróbki tokarskiej powierzchni czołowej kołnierza, prowadzonej narzędziem SO1

Na podstawie wykorzystanego modelu materiałowego wykonano obliczenia wartości składowych całkowitej siły skrawania występujących podczas obróbki fragmentu zewnętrznego kołnierza korpusu. Przeprowadzono także optymalizację prędkości posuwu, której celem było uzyskanie wartości składowej obwodowej siły skrawania w zakresie 1200–1300 N. Zdefiniowane okno parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżek narzędzia pokazano na rysunku 13.

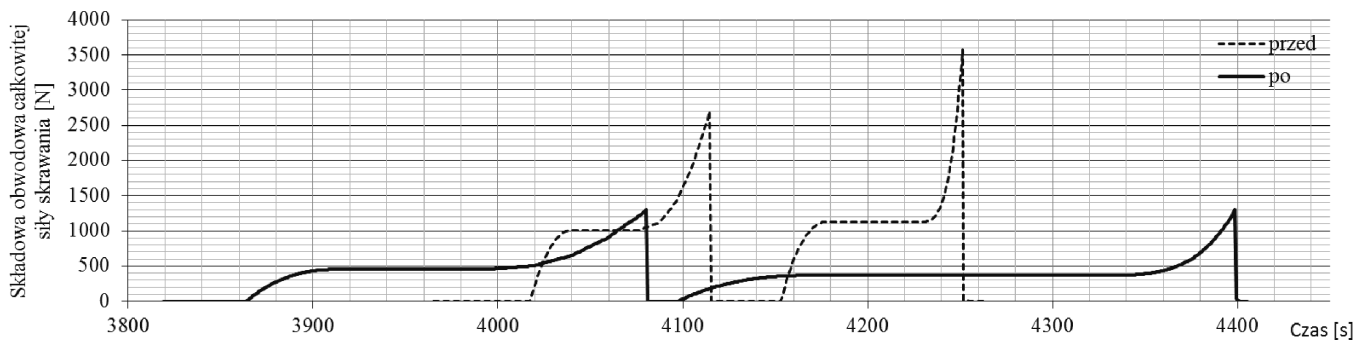
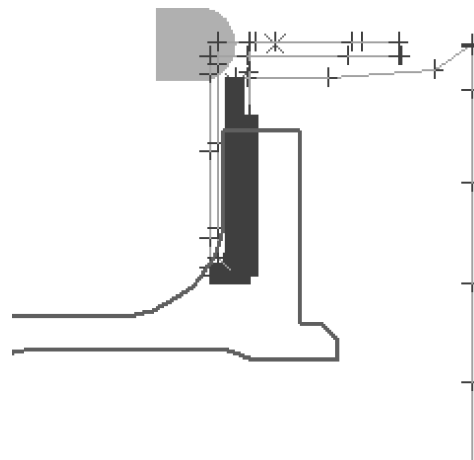


Rys. 13. Okno definicji parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżki narzędzia dla operacji toczenia powierzchni czołowej kołnierza zewnętrznego

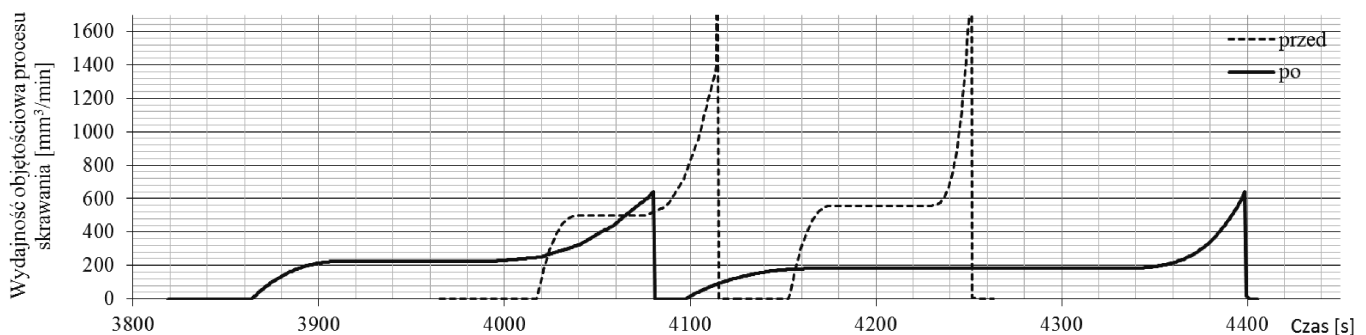
Na rysunku 14. pokazano zmiany wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania zachodzące w czasie obróbki dla optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.

W wyniku przeprowadzenia optymalizacji ograniczono wartości maksymalnej składowej obwodowej całkowitej siły skrawania z 3600 N do 1250 N. Przeprowadzenie procesu optymalizacji spowodowało także wydłużenie czasu skrawania o około 290 s.

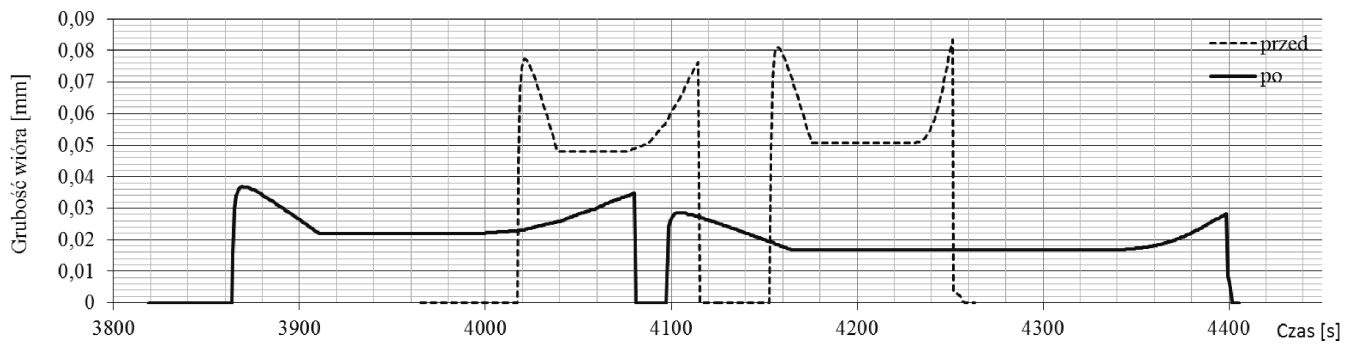
Na kolejnych rysunkach 15. i 16. można zaobserwować zmiany w czasie wydajności objętościowej procesu skrawania oraz grubości wióra.



Rys. 14. Przebieg wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania w czasie toczenia powierzchni czołowej kołnierza zewnętrznego



Rys. 15. Zmiany wartości wydajności objętościowej skrawania w czasie toczenia powierzchni czołowej kołnierza zewnętrznego



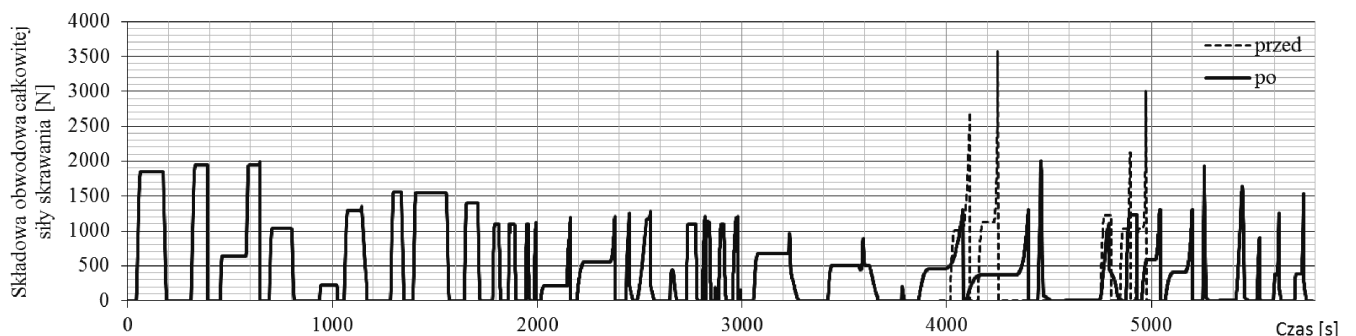
Rys. 16. Zmiany wartości grubości wióra w czasie toczenia powierzchni czołowej kołnierza zewnętrznego

4. Wnioski

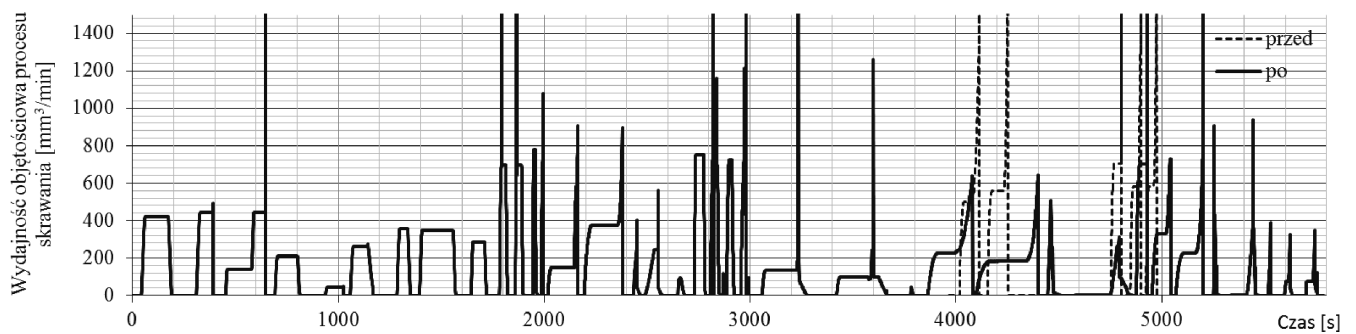
W wyniku przeprowadzonej optymalizacji uzyskano zakładany cel, którym było ustabilizowanie przebiegów wartości składowych sił skrawania dla operacji toczenia narzędziami ST1 i SO1. Czas skrawania procesu optymalizowanego prowadzonego narzędziem ST1 uległ skróceniu o 75 sekund. Natomiast czas skrawania dla procesu optymalizowanego narzędziem SO1 uległ wydłużeniu o 290 sekund. Cały proces skrawania dla kodu

optymalizowanego uległ wydłużeniu o 215 sekund, co stanowi 3,8% czasu obróbki z użyciem kodu nieoptymalizowanego, który wynosi 92 minut 54 sekund. Na rysunku 17. pokazano przebiegi wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania dla całego optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.

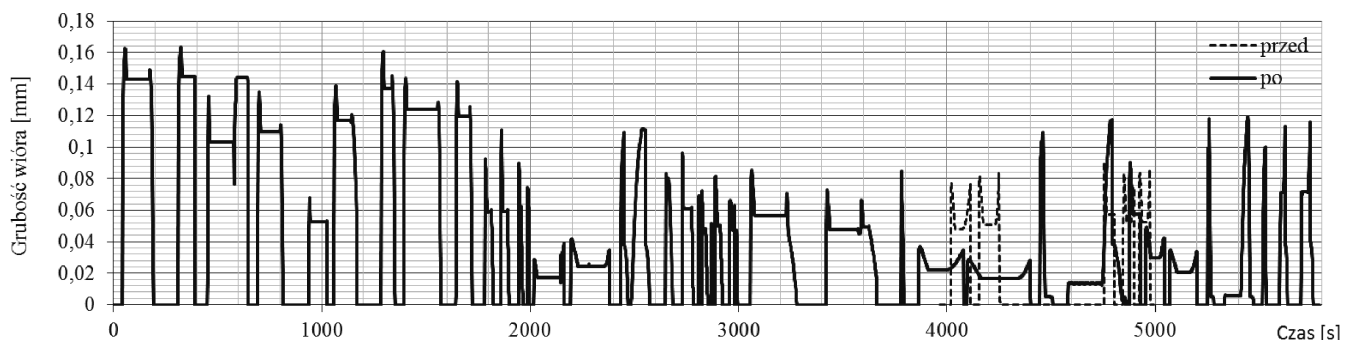
Na rysunkach 18. i 19. można zaobserwować zmiany w czasie wydajności objętościowej procesu skrawania oraz grubości wióra podczas trwania procesu obróbki kołnierzy korpusu.



Rys. 17. Przebieg wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania w czasie toczenia powierzchni kołnierza korpusu



Rys. 18. Zmiany wartości wydajności objętościowej skrawania w czasie toczenia powierzchni kołnierza korpusu



Rys. 19. Zmiany wartości grubości wióra w czasie toczenia powierzchni kołnierza korpusu

A financial support of The National Centre for Research and Development Project No INNO-LOT/I/9/NCBR/2013 "Advanced methods for manufacturing of aero engine case module components" is gratefully acknowledged.

Literatura

- [1] Choudhary S.K., Appa Rao I.V.K., *Optimization of cutting parameters for maximizing tool life*. "International Journal of Machine Tools and Manufacture" 39/1999, pp. 343–353.
- [2] Dudzinski D., Devillez A., Moufki A., Larrouque're D., Zerrouki V., Vigneau J., *A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy* "International Journal of Machine Tools & Manufacture" 44/2004, pp 439–456.
- [3] Eckstein M., Mankova I., Vrabel M., Beno J., *Comparison of Sensors Signal Quality when Drilling Inconel 718* "Procedia CIRP" 33/2015, pp. 227–232.
- [4] Jakubowski J., Peterka J., *Design for manufacturability in virtual environment using knowledge engineering*. "Management and Production Engineering Review" 5/1/2014, pp. 3–10.
- [5] Radkowski G., Sęp J., *Surface quality of a milled gamma titanium aluminide for aeronautical applications*. "Management and Production Engineering Review" 5/2/ 2014, pp. 60–65.
- [6] Singaravel B., Selvaraj T., *Experimental investigation on cutting forces, specific cutting pressure, co-efficient of friction and shear energy in turning of HSLA steel*. "Management and Production Engineering Review" 7/1/2016, pp. 71–76.
- [7] Ulutan D., Ozel T., *Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review*. "International Journal of Machine Tools & Manufacture" 51/2011, pp. 250–280.
- [8] *User's Manual of Production Module v7. 1 machining simulation software*, Minneapolis, MN, 2015.
- [9] Varga G., *Possibility to increase the life time of surfaces on parts by the use of diamond burnishing process*. "Key Engineering Materials" 686/2016, p. 100.
- [10] Vaz Jr. M., Owen D.R.J., Kalhori V., Lundblad M., Lindgren L.-E., *Modelling and Simulation of Machining Prozesse*, "Archives of Computational Methods in Engineering" 14/2/2007, pp. 173–204.
- [11] Zębala W., *Milling optimization of difficult to machine alloys*. "Management and Production Engineering Review" 1/1/2010, pp. 59–70.