



# BADANIA TOCZENIA SPIEKANYCH PROSZKOWO MATERIAŁÓW Z ZASTOSOWANIEM OPROGRAMOWANIA PRODUCTION MODULE

Andrzej Matras, Wojciech Zębala

*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**

toczenie, symulacje, inconel

**RESEARCH OF SINTERED POWDER MATERIAL TURNING USING PRODUCTION MODULE SOFTWARE**

**KEYWORDS**

turning, simulation, inconel

**ABSTRACT**

This paper proposes a scheme of investigations aimed at stabilizing the value of the components of cutting force along the cutting tool path. The proposed optimization method is based on the modification of the feed rate and calculated components of cutting forces on the basis of the cross-section layer and material model. As part of the study the proposed method was verified. The turning process of the aircraft engine element was analyzed. The stabilization of the cutting force components caused a significant reduction their maximum values.

## 1. Wprowadzenie

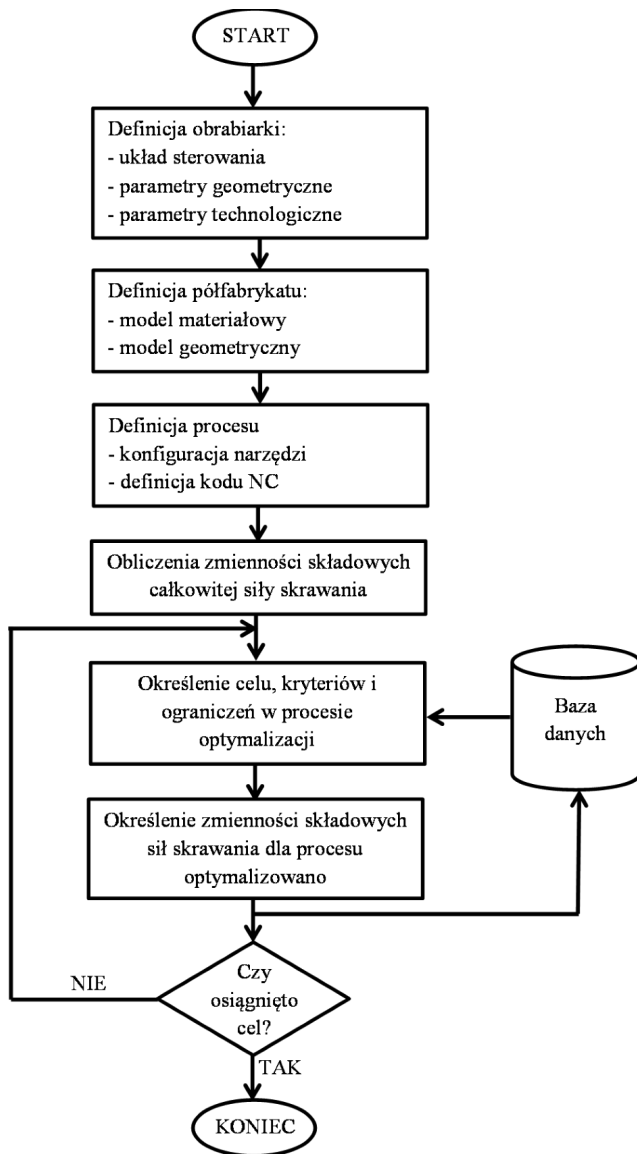
Współczesny rozwój technik wytwarzania części maszyn, głównie w przemyśle lotniczym i samochodowym skierowany jest ku umożliwieniu wykonywania części o lepszej jakości i większej powtarzalności oraz skróceniu czasu obróbki i kosztocłonności procesu technologicznego [1–5]. Optymalizacja procesu wytwarzania może mieć różne cele, np. zwiększenie wydajności objętościowej procesu skrawania, redukcję czasu obróbki, wydłużenie okresu trwałości ostrzy skrawających, poprawę jakości uzyskiwanych wyrobów lub stabilizację procesu obróbki [6–8]. Stosowane metody optymalizacji procesu skrawania polegają głównie na wykorzystaniu oprogramowania komputerowego bazującego na metodzie elementów skończonych. Oprogramowanie to, poprzez kontrolę wartości sił skrawania, naprężeń lub temperatury w strefie obróbki, umożliwia zmianę parametrów skrawania w celu osiągnięcia żądanych efektów [9–11]. Przykładową aplikacją stosowaną do optymalizacji procesu obróbki jest pakiet oprogramowania Production Module firmy AdvantEdge [12].

## 2. Proponowana metoda stabilizacji procesu obróbki

W pracy omówiono możliwość zastosowania pakietu oprogramowania Production Module. Został on wy-

korzystany do przeprowadzenia procesu optymalizacji mającego na celu ustabilizowanie przebiegów wartości składowej stycznej całkowitej siły skrawania. Przeprowadzenie, z użyciem stosowanego oprogramowania, procesu optymalizacyjnego powoduje określenie zmienności w czasie przekroju warstwy skrawanej. Umożliwia to, poprzez znajomość właściwości fizycznych materiału obrabianego, określonych w modelu materiałowym, obliczenie zmienności wartości składowych całkowitej siły skrawania. Podczas badań symulacyjnych przeprowadzono obliczenia oraz określono metodologię optymalizacji wybranych operacji tokarskich obrabianej części. Proponowana metoda optymalizacyjna bazuje na wykorzystaniu utworzonego uprzednio kodu NC. Jako przykład wykorzystania metody przeprowadzono analizę wybranych operacji obróbki tokarskiej części silnika lotniczego. W pierwszym etapie zdefiniowano parametry technologiczne, geometryczne oraz układy współrzędnych używanej obrabiarki. Następnie zdefiniowane zostały modele: materiałowy oraz geometryczny. Analiza obliczonych wartości umożliwiła określenie kryteriów optymalizacji analizowanego procesu. Podczas realizowanych badań analizowane były operacje toczenia i wytaczania powierzchni, prowadzone dwoma narzędziami skrawającymi. Narzędzie nr 14 wyposażone było w płytkę skrawającą o oznaczeniu CBN19-1. Narzędzie nr 19 wyposażone było natomiast w płytkę skrawającą o oznaczeniu A4R0200M02P00GMP wyprodukowaną przez firmę KENNAMETAL. Wszystkie operacje ob-

robkowe wykonywane były ze stałą prędkością skrawania  $v_c = 168$  m/min, a zastosowane prędkości posuwu wynosiły odpowiednio  $f = 0,0254 \div 0,0762$  mm/obr dla narzędzia 14 oraz  $f = 0,0508 \div 0,0762$  mm/obr dla narzędzia 19. Proponowana w pracy metoda stabilizacji wartości składowych całkowitej siły skrawania polega na postępowaniu zgodnie z przedstawionym algorytmem (rys. 1).

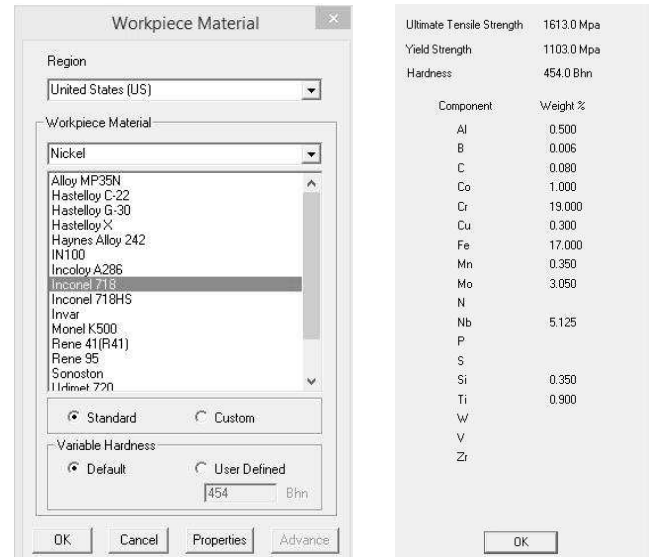


Rys. 1. Proponowana metoda stabilizacji procesu obróbki tokarskiej

### 3. Weryfikacja proponowanej metody – definicja procesu obróbki

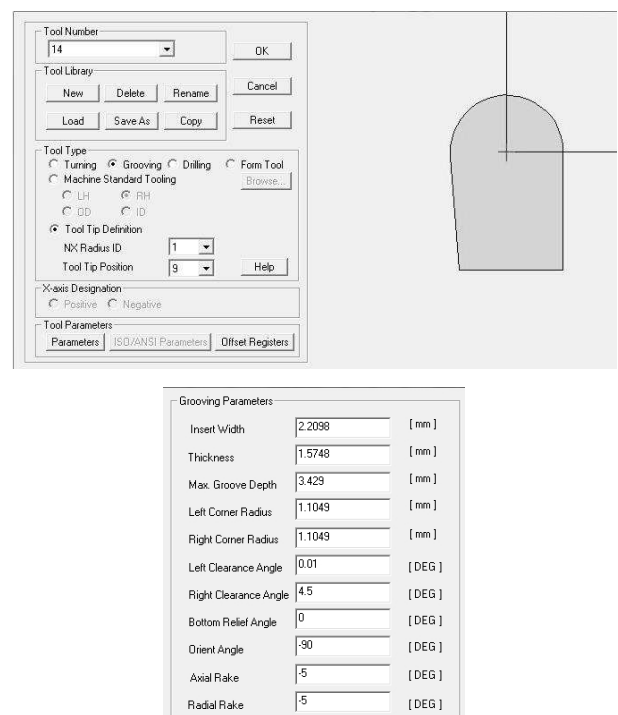
Aby zweryfikować proponowaną metodę stabilizacji składowych całkowitej siły skrawania w pierwszym etapie zdefiniowano parametry technologiczne, geometryczne oraz układ sterowania obrabiarki, na której realizowany jest proces. Następnie wczytano parametry geometryczne półfabrykatu oraz model materiałowy przedmiotu obrabianego. Przedmiot obrabiany wy-

konany jest ze stopu PWA metodą spiekania proszków. Stop ten charakteryzuje się właściwościami zbliżonymi do stopu Inconel 718. Do wykonania obliczeń wykorzystano model materiałowy tego stopu. Okno definicji materiału półfabrykatu i właściwości materiału obrabianego pokazano na rysunku 2.

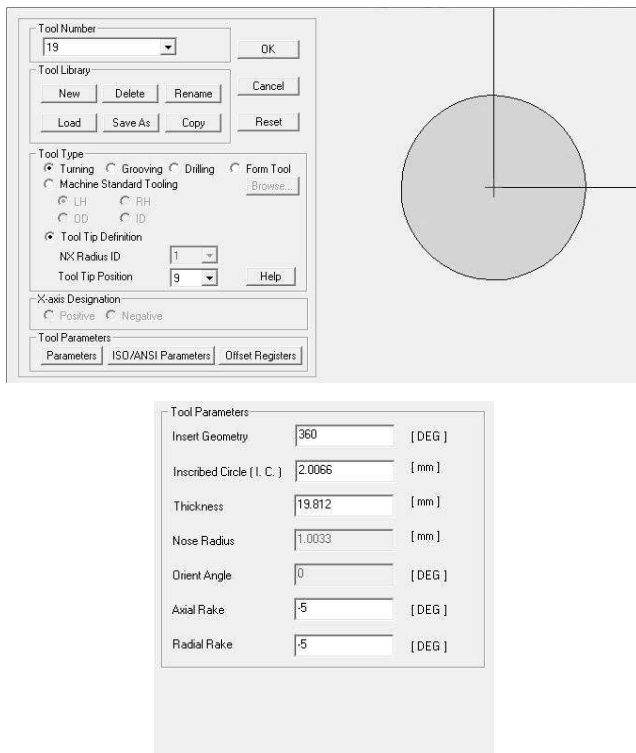


Rys. 2. Okno definicji materiału półfabrykatu oraz właściwości stopu Inconel 718

Półfabrykat zdefiniowano jako model przygotówki w formacie STL ze zdefiniowanym uprzednio układem współrzędnych. W następnym kroku realizacji badań zdefiniowano narzędzia skrawające. Na rysunkach 3. i 4. pokazano sposób zdefiniowania oraz parametry geometryczne używanych w analizowanych operacjach narzędzi skrawających.



Rys. 3. Sposób definicji narzędzia nr 14

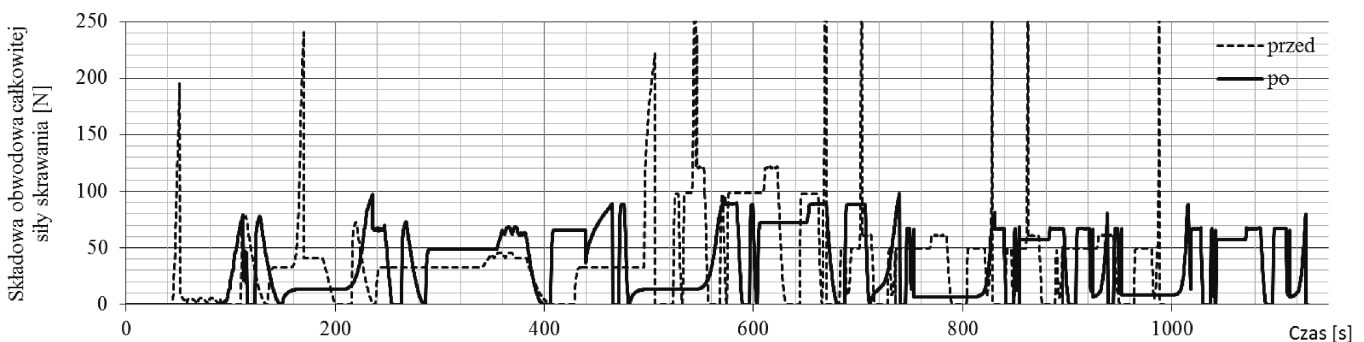


Rys. 4. Sposób definicji narzędzia nr 19

Po zdefiniowaniu narzędzi skrawających, parametrów obrabiarki, ścieżek narzędzi oraz modelu geometrycznego i materiałowego obrabianej części obliczono zmiany w czasie wartości składowych całkowitej siły skrawania oraz wydajności objętościowe procesu obróbki. W następnym kroku wykonywano optymalizację prędkości posuwu. Jako kryterium optymalizacyjne wybrano wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania.

#### 4. Weryfikacja proponowanej metody – Symulacja i stabilizacja operacji wytaczania powierzchni wewnętrznej prowadzonej narzędziem nr 14

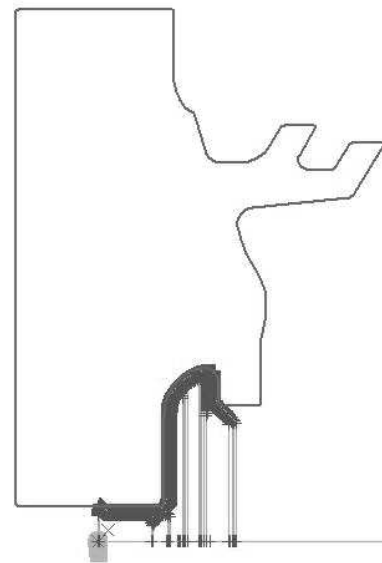
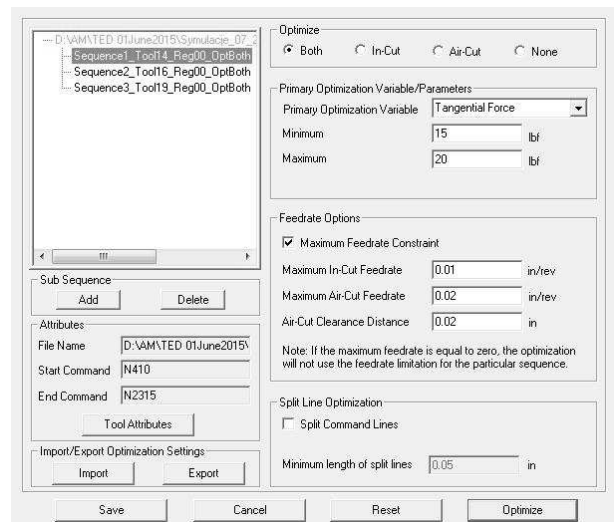
Celem przeprowadzonej optymalizacji prędkości posuwu było ustabilizowanie wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania w zakresie 67–89 N



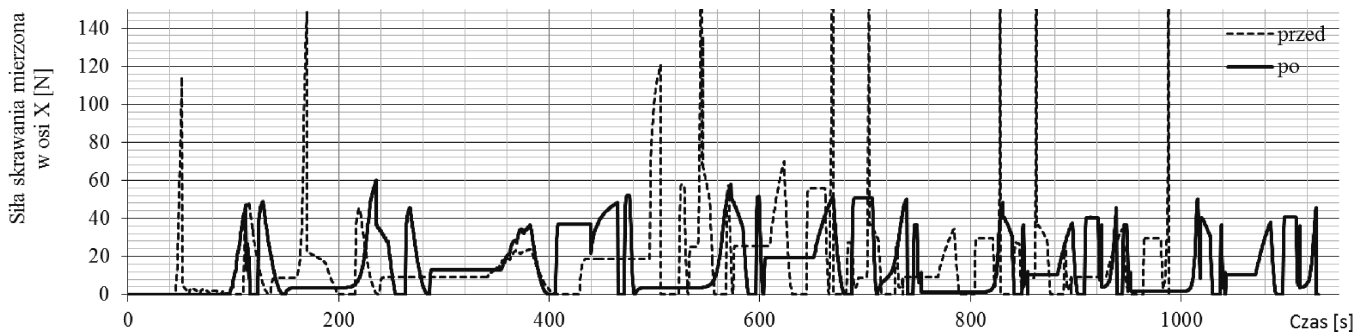
Rys. 6. Przebieg wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania dla operacji wytaczania

(15–20 LBF). Zdefiniowane okno parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżek narzędzia pokazano na rysunku 5.

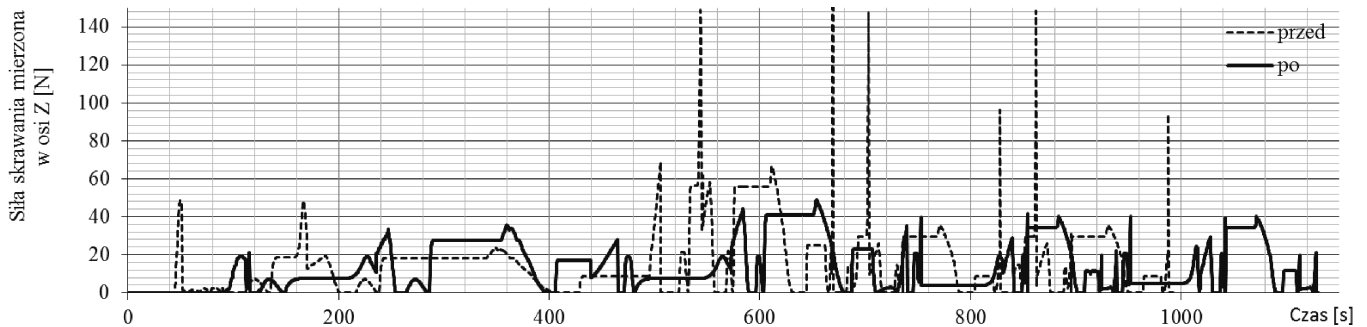
Na rysunku 6. pokazano zmiany wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania zachodzące w czasie skrawania dla optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.



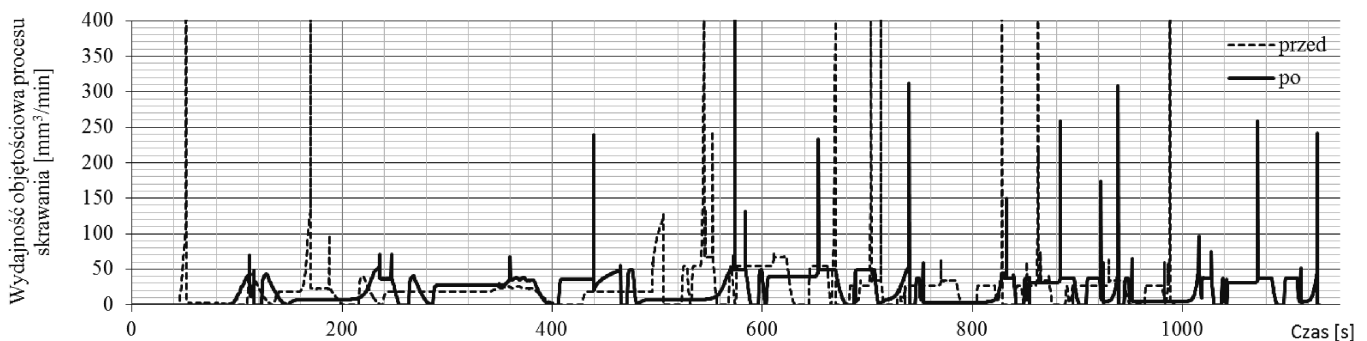
Rys. 5. Okno definicji parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżki narzędzia dla operacji wytaczania



Rys. 7. Przebieg wartości składowej siły skrawania mierzonej w osi X dla operacji wytaczania



Rys. 8. Przebieg wartości składowej siły skrawania mierzonej w osi Z dla operacji wytaczania



Rys. 9. Zmiany wartości wydajności objętościowej skrawania dla operacji wytaczania

Analogiczne obliczenia uzyskano dla składowych siły skrawania mierzonych w osiach X i Z. Na rysunkach 7. i 8. przedstawiono przebiegi w czasie wartości tych składowych dla optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.

Na rysunku 9. można zaobserwować zmiany w czasie wydajności objętościowej procesu skrawania.

## 5. Weryfikacja proponowanej metody – Symulacja i stabilizacja operacji toczenia powierzchni czołowej prowadzonej narzędziem nr 19

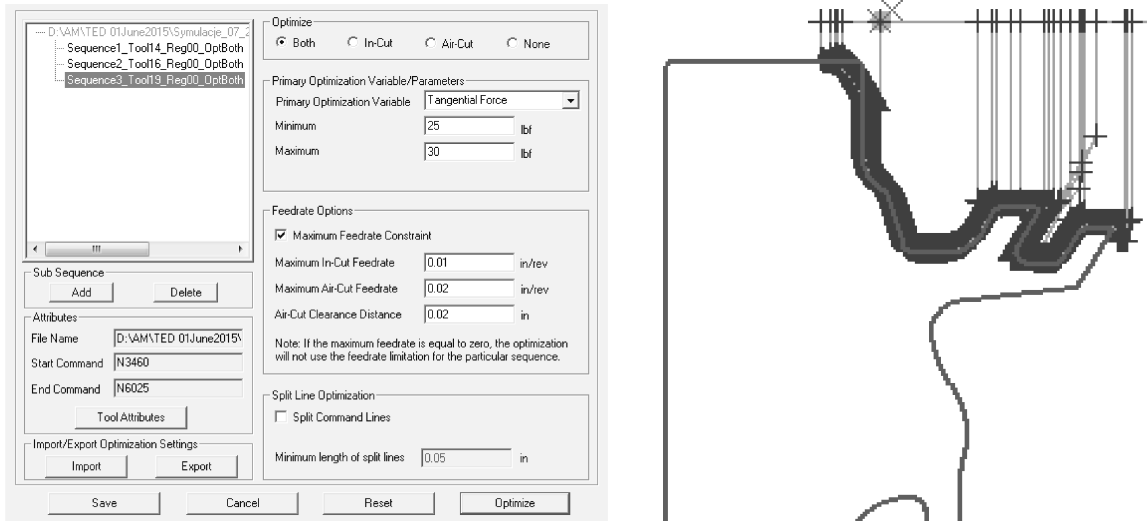
Dla operacji prowadzonej narzędziem nr 19, analogicznie jak uprzednio, przeprowadzono optymalizację prędkości posuwu, mającą na celu ustabilizowanie war-

tości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania w zakresie 112–133 N (25–30 LBF). Zdefiniowane okno parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżek narzędzia pokazano na rysunku 10.

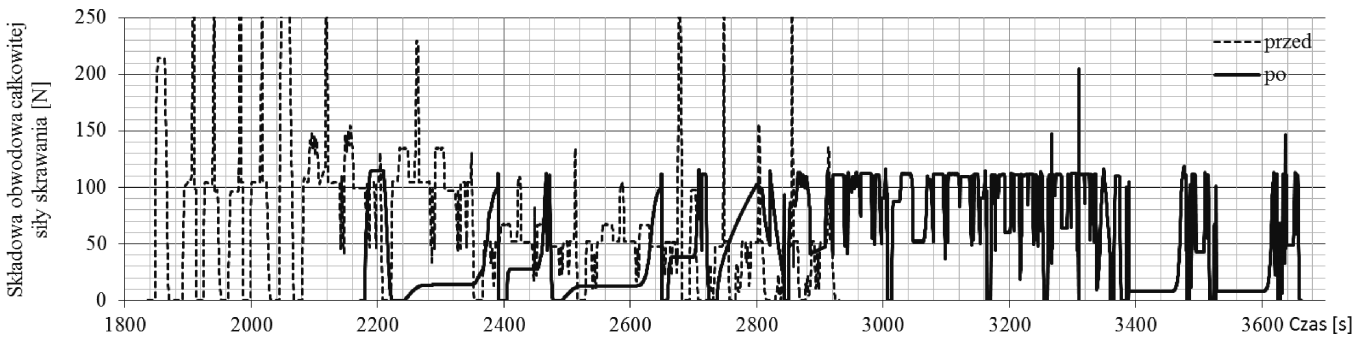
Na rysunku 11. pokazano zmiany wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania zachodzące w czasie skrawania dla optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.

Analogiczne obliczenia uzyskano dla składowych siły skrawania mierzonych w osiach X i Z. Na rysunkach 12. oraz 13. przedstawiono przebiegi w czasie wartości tych składowych dla optymalizowanego i nieoptymalizowanego procesu obróbki.

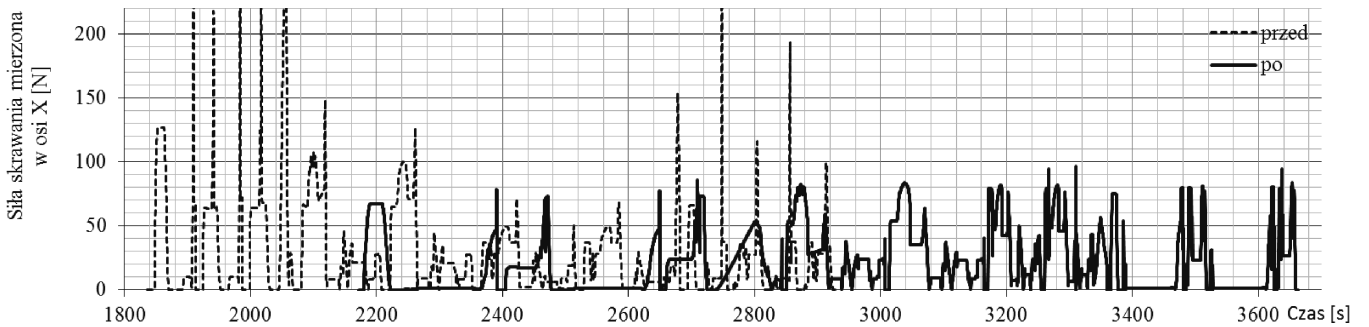
Natomiast na rysunku 14. można zaobserwować zmiany w czasie wydajności objętościowej procesu skrawania.



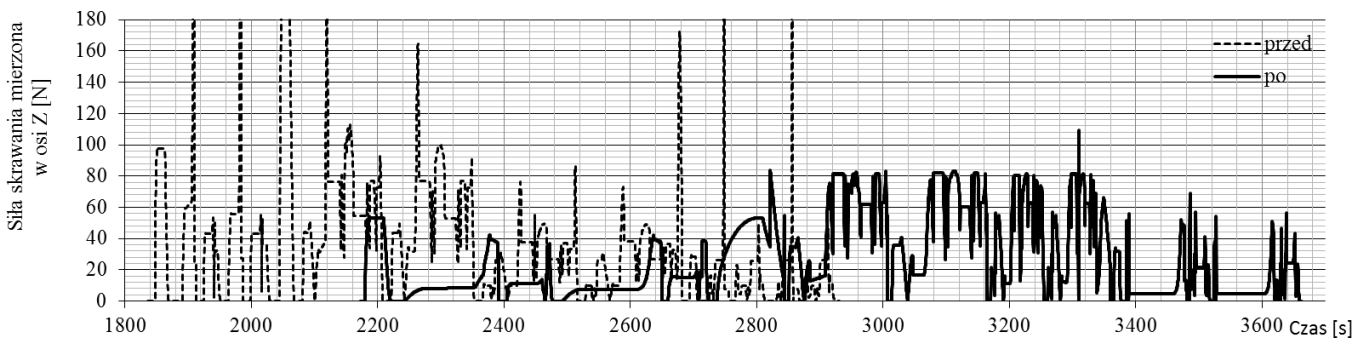
Rys. 10. Okno definicji parametrów optymalizacji obróbki oraz widok ścieżki narzędzia dla operacji toczenia powierzchni zewnętrznej



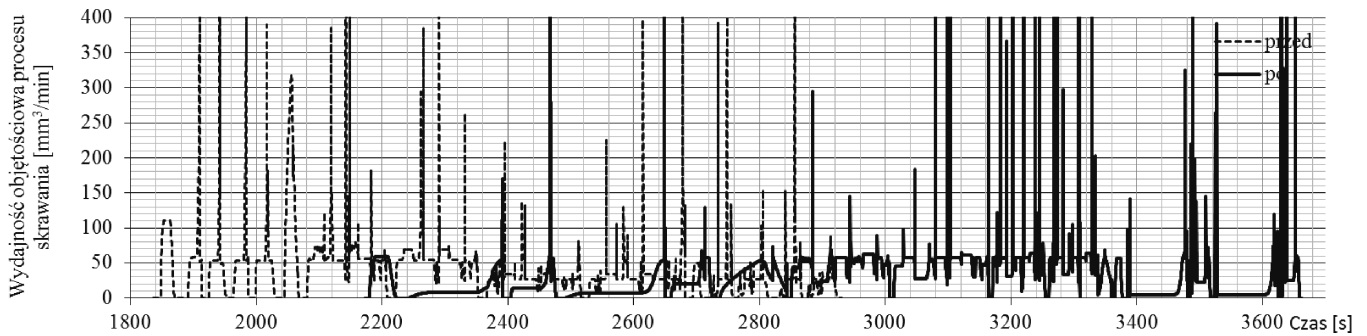
Rys. 11. Przebieg wartości składowej obwodowej całkowitej siły skrawania w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej



Rys. 12. Przebieg wartości składowej siły skrawania mierzonej w osi X w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej



Rys. 13. Przebieg wartości składowej siły skrawania mierzonej w osi Z w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej



Rys. 14. Zmiany wartości wydajności objętościowej skrawania w czasie toczenia powierzchni zewnętrznej

## 6. Podsumowanie

Podczas prowadzonych badań wykonano obliczenia wartości składowych całkowitej siły skrawania oraz wydajności objętościowej procesu obróbki. Do tego celu wykorzystano symulacyjny model materiałowy obrabianej części oraz m.in. zdefiniowano proces obróbki, model geometryczny półfabrykatu i narzędzia skrawające. W wyniku przeprowadzonej optymalizacji uzyskano zakładany cel, którym było ustabilizowanie przebiegów wartości składowych sił skrawania wykonany dla analizowanych operacji toczenia. W wyniku przeprowadzonej stabilizacji dla operacji prowadzonej narzędziem nr 14 uzyskano zmniejszenie wartości maksymalnej składowej obwodowej całkowitej siły skrawania z 698 N do 98 N. Przeprowadzenie procesu optymalizacji spowodowało jednocześnie wydłużenie czasu skrawania o około 138 s. Natomiast, w wyniku przeprowadzenia procesu optymalizacji dla obróbki realizowanej narzędziem nr 19, uzyskano zmniejszenie wartości maksymalnej składowej obwodowej całkowitej siły skrawania z 736 N do 205 N. Przeprowadzenie procesu optymalizacji obróbki prowadzonej narzędziem nr 19 spowodowało wydłużenie czasu skrawania o około 295 s.

*A financial support of The National Centre for Research and Development Project No INNOLOT/I/7/NCBR/2013 "Advanced methods for manufacturing of power turbine module components" is gratefully acknowledged.*

## Literatura

- [1] Baskar N., Asokan P., Saravanan R., Prabhakaran G., *Optimization of Machining Parameters for Milling Operations Using Non-conventional Methods*. "Int. J. Adv. Manuf. Technol." 25/2005, pp. 1078–1088.
- [2] Camposeco-Negrete C., *Optimization of cutting parameters using Response Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum*. "Journal of Cleaner Production" 91/2015, pp. 109–117.
- [3] Huang P., Lee W.B., Chan C.Y., *Investigation of the effects of spindle unbalance induced error motion on machining accuracy in ultra-precision diamond turning*. "International Journal of Machine Tools and Manufacture" 94/2015, pp. 48–56.
- [4] Laxman Abhang L., Hameedullah M., *Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics In Turning EN-31 Steel*. "Materials Today: Proceedings" 2/4-5/2015, pp. 2640–2647.
- [5] Li Z.Z., Zhang Z., Zheng H., *Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force prediction*. "Int. J. Adv. Manuf. Technol." 24/2004, pp. 541–552.
- [6] Merdol S.D., Yusuf Y., *Virtual cutting and optimization of three-axis milling processes*. "International Journal of Machine Tools & Manufacture" 48/2008, pp. 1063–1071.
- [7] Ramesha S., Karunamoorthy L., Palanikumar K., *Measurement and analysis of surface roughness in turning of aerospace titanium alloy (gr5)*. "Measurement" 45/5/2012, pp. 1266–1276.
- [8] Sadílek M., Dubský J., Sadílková Z., Poruba Z., *Cutting forces during turning with variable depth of cut*. "Perspectives in Science" 7/2016, pp. 357–363.
- [9] Słodki B., *Chipformers reliability in Inconel 625 longitudinal turning*. "Management and Production Engineering Review" 4/2/2013, pp. 93–101.
- [10] *User's Manual of Production Module v7.1 machining simulation software*. Minneapolis, MN, 2015.
- [11] Wanga Q., Wub Y., Guc J., Lud D., Jie Y., Nomurab M., *Fundamental Machining Characteristics of the In-base-plane Ultrasonic Elliptical Vibration Assisted Turning of Inconel 718*. "Procedia CIRP" 42/2016, pp. 858–862.
- [12] Zębala W., *Milling optimization of difficult to machine alloys*. "Management and Production Engineering Review" 1/1/2010, pp. 59–70.