

# Optimization of Inconel 718 milling strategies

## Optymalizacja strategii frezowania stopu Inconel 718

PIOTR SZABLEWSKI  
TOMASZ DOBROWOLSKI  
TADEUSZ CHWALCZUK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.12.112>

This paper applies to the tests of the machining of a part made of super alloy – nickel alloy – Inconel 718, using a monolithic carbide cutter. The paper includes a different versions of cutting methods with variable cutting parameters and machining strategies. The used sustainable machining process allowed to obtain control over the tool wear.

KEYWORDS: Inconel 718, tool wear, milling

Artykuł dotyczy badań obróbki ubytkowej części wykonanej ze stopu na osnowie z niklu – Inconel 718, z zastosowaniem monolitycznego frezu z węglików spiekanych. Przedstawiono różne metody obróbki części przy zmiennych parametrach skrawania oraz strategiach. Zastosowano zrównoważony proces obróbki, który pozwolił uzyskać kontrolę nad zużyciem narzędzi skrawających.

SŁOWA KLUCZOWE: Inconel 718, zużycie narzędzia, frezowanie

### Wprowadzenie

Materiał o nazwie handlowej Inconel 718 należy do grupy superstopów na osnowie z niklu. W takich stopach zawartość niklu może dochodzić nawet do 70%. Jedną z właściwości stopu Inconel 718 jest niski współczynnik przewodności cieplnej (11,4 W/mK), utrudniający odprowadzenie ciepła ze strefy skrawania, co w dużej mierze jest powodem przyspieszonego zużycia ostrza skrawającego [1, 6, 7]. Inną właściwością tego stopu jest umacnianie się podczas obróbki. To oznacza, że w kolejnych przejściach narzędzie skrawa materiał, który ma twardość nawet do 10 HRC większą niż materiał rodzimy. Właściwość ta sugerowałaby obróbkę superstopu z jak największą głębokością skrawania, niestety parametr ten jest determinowany kolejną właściwością, a mianowicie wysoką wytrzymałością na rozciąganie (1310 MPa) [3, 9].

Odporność na korozję oraz możliwość stosowania w zakresie temperatur od  $-250^{\circ}\text{C}$  do  $700^{\circ}\text{C}$  powodują, że materiał ten jest szeroko wykorzystywany do produkcji części silników lotniczych w ich gorących sekcjach [2, 8].

Badania nad wpływem naprężeń wprowadzonych do warstwy wierzchniej podczas skrawania na trwałość narzędzia prowadzili autorzy pracy [4], którzy potwierdzają, że należy minimalizować ilość generowanych naprężeń. Zużyte narzędzie wprowadza znacznie większe napężenia niż nowe ostrze.

Optymalizacja procesów skrawania jest przedmiotem wielu badań. Tematem tym zajmowali się m.in. autorzy pracy [5]. Zwrócili oni uwagę, że dokładne przygotowanie modelu materiałowego jest bardzo pracochłonne. Nie-

stety, wdrożenia produkcyjne pokazują, że skrawalność materiału, nawet pochodzącego z jednego źródła ale z różnych wytopów, jest zróżnicowana.

### Zakres, warunki i technika badań

Badania dotyczyły frezowania współbieżnego elementu typu obudowa łożyska, wykonanego ze stopu Inconel 718. Zastosowano frez toroidalny UDDE-1600A5ARB KC643M z wielowarstwową powłoką AlTiN (nakładaną metodą PVD) o średnicy 16 mm i liczbie ostrzy  $z = 5$  z oprawką HSK-A100-HMC32S-115. Parametry skrawania, takie jak: prędkość skrawania  $v_c$ , posuw  $f$  i głębokość frezowania  $a_p$ , podczas testów pozostały niezienne. Zmieniano szerokość frezowania  $a_e$ . Próby frezowania przeprowadzono z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej (emulsji 6%). Zużycie ostrzy skrawających zarejestrowano na przyrządzie Zoller Venturion 450. Oceniano parametr  $VB_B$  i  $KE$ .

W systemie CAD/CAM opracowano model obrabianej części, który umożliwił zaprojektowanie i ocenę różnych strategii optymalizacji podczas frezowania współbieżnego (rys. 1).

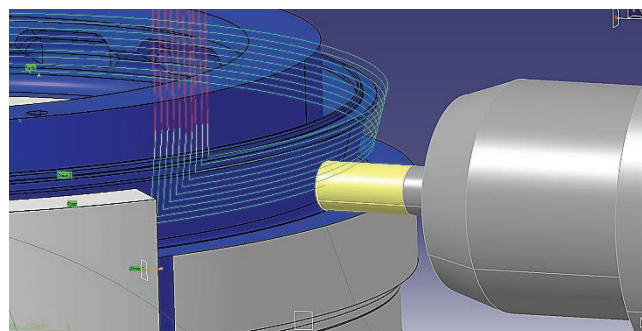


Fig. 1. Example view of the generated tool path in the Catia V5R22 application

Rys. 1. Przykład wygenerowanego toru ruchu narzędzia w aplikacji Catia V5R22

W aplikacji Catia zaprojektowano trzy strategie obróbki:

- frezowanie współbieżne ze stałą pozycją frezu w osi Z,
- frezowanie współbieżne ze zmienną pozycją frezu w osi Z,
- frezowanie współbieżne ze zmienną pozycją frezu w osi Z oraz zwiększoną o 30% szerokością frezowania  $a_e$ .

Poprawność wygenerowanej ścieżki narzędzia pod kątem kolizyjności oraz ruchów kinematycznych obrabiarki sprawdzono w MSG-Catia-NC Machine Tool Simulation Product (rys. 2).

\* Dr inż. Piotr Szablewski, piotr.szablewski@pwk.com.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2435-2126> – Pratt & Whitney Kalisz, Polska; Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Kalisz, Polska

Mgr inż. Tomasz Dobrowolski, tomasz.dobrowolski@pwk.com.pl – Pratt & Whitney Kalisz, Polska

Mgr inż. Tadeusz Chwalczuk, tadeusz.chwalczuk@put.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0002-4009-0552> – Politechnika Poznańska, Poznań, Polska

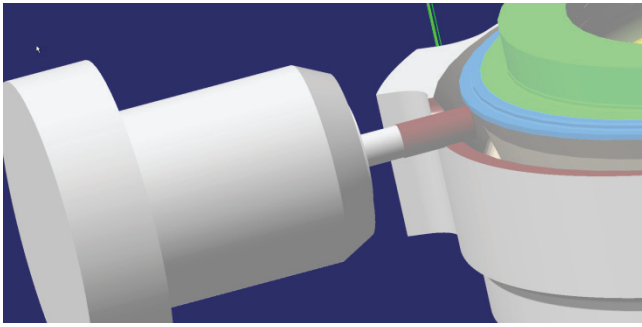


Fig. 2. Verifying the correctness of the generated tool path in the MSG-Catia-NC Machine Tool Simulation Product module

Rys. 2. Weryfikacja poprawności wygenerowanej ścieżki narzędzia w module MSG-Catia-NC Machine Tool Simulation Product

### Analiza wyników badań

W pierwszym rozpatrywanym wariantie obróbkę przeprowadzono po czasie  $t_s = 44$  min 11 s z powodu zaobserwowanego zwiększonego obciążenia na wrzecionie frezarskim, które było spowodowane zużyciem narzędzia. Zużycie na powierzchni przyłożenia przedstawiono na rys. 3. Jego wartość, w zależności od numeru ostrza, zawierała się w przedziale  $VB_B = 1,362 \div 1,495$  mm.

W drugim wariantie narzędzie usunęło materiał przewidziany do obróbki. Czas pracy narzędzia  $t_s = 49$  min 8 s. Zużycie na powierzchni przyłożenia w tym wariantie przedstawiono na rys. 4. Zarówno w wariantie 1, jak i 2 wystąpiło bardzo duże zużycie skoncentrowane.



Fig. 3. Application surface after machining time  $t_s = 44$  min 11 s in variant 1 ( $VB_B = 1,362$  mm)

Rys. 3. Powierzchnia przyłożenia po czasie obróbki  $t_s = 44$  min 11 s w wariantie 1 ( $VB_B = 1,362$  mm)

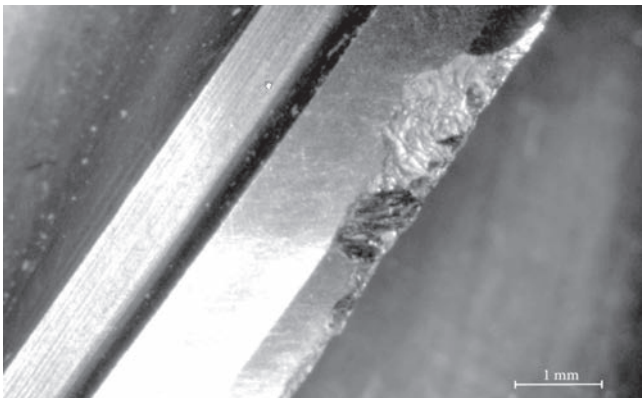


Fig. 4. Application surface after machining time  $t_s = 49$  min 8 s in variant 2 ( $VB_B = 0,524$  mm)

Rys. 4. Powierzchnia przyłożenia po czasie obróbki  $t_s = 49$  min 8 s w wariantie 2 ( $VB_B = 0,524$  mm)

Zwiększenie szerokości skrawania  $a_e$  o 30% (w wariantach 1 i 2 było 1,73 mm) do wartości 2,249 mm wpłynęło korzystnie na stan narzędzia po wykonaniu pełnego cyklu obróbkowego (rys. 5).

Rezultaty pomiarów zużycia ostrza  $VB_B$  przedstawiono na rys. 6. Wynika z niego jednoznacznie, że najbardziej korzystna ze względu na trwałość ostrza strategia obróbki została zastosowana w wariantie 3.

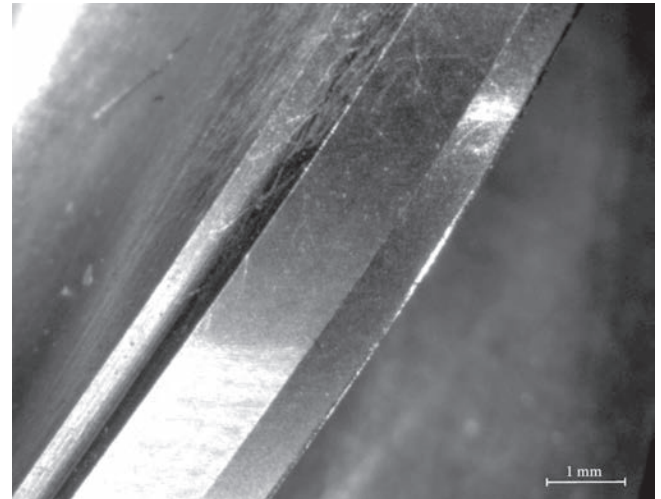


Fig. 5. Application surface after machining time  $t_s = 38$  min 1 s in variant 3 ( $VB_B = 0,133$  mm)

Rys. 5. Powierzchnia przyłożenia po czasie obróbki  $t_s = 38$  min 1 s w wariantie 3 ( $VB_B = 0,133$  mm)

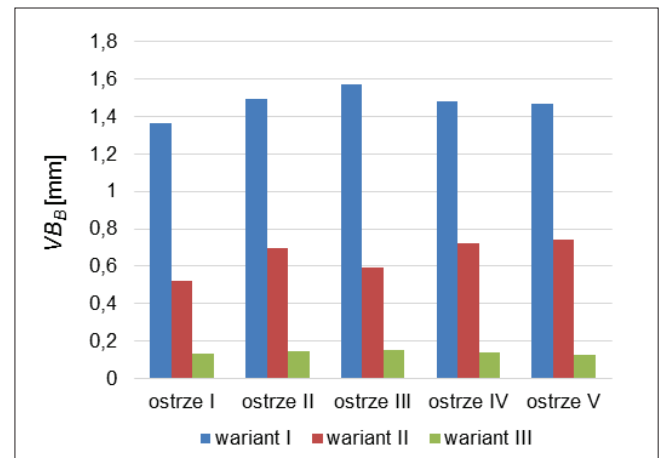


Fig. 6. Wear indicator of cutting teeth on the  $VB_B$  flank after the machining cycle

Rys. 6. Wskaźnik zużycia ostrzy skrawających na powierzchni przyłożenia  $VB_B$  po zakończeniu cyklu obróbkowego



Fig. 7. Rake surface after machining time  $t_s = 44$  min 11 s (variant 1)

Rys. 7. Powierzchnia natarcia po czasie obróbki  $t_s = 44$  min 11 s (wariant 1)

Podczas obserwacji ostrza skrawającego od strony powierzchni natarcia w wariancie 1 i 2 można zauważyć duże cofnięcie ostrza, które jest efektem jego starcia na powierzchni przyłożenia (rys. 7–8).

W wariancie 3 nie zarejestrowano symptomów zużycia ostrzy skrawających takich jak w wariantach 1 i 2. Widoczne są miejscowe ślady, jako efekt sphywającego wióra, natomiast nie ma tak dużych wyłamań i wyszczerbień materiału ostrza jak w pierwszych dwóch przypadkach.

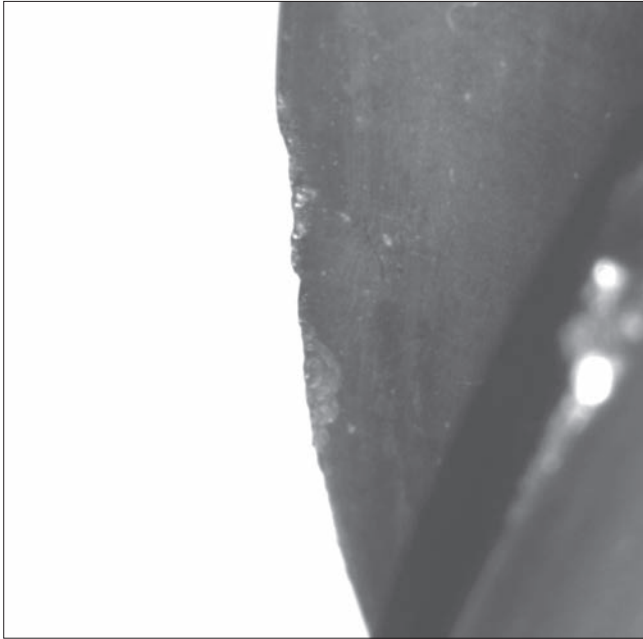


Fig. 8. Rake surface after machining time  $t_s = 49$  min 8 s (variant 2)  
Rys. 8. Powierzchnia natarcia po czasie obróbki  $t_s = 49$  min 8 s (wariant 2)



Fig. 9. Rake surface after machining time  $t_s = 38$  min 1 s (variant 3)  
Rys. 9. Powierzchnia natarcia po czasie obróbki  $t_s = 38$  min 1 s (wariant 3)

Wyniki pomiarów cofnięcia ostrza  $KE$  przedstawiono na rys. 10. Podobnie jak w przypadku analizy zużycia na powierzchni przyłożenia, tutaj również największe wartości zarejestrowano dla wariantu pierwszego, natomiast najmniejsze dla wariantu 3.

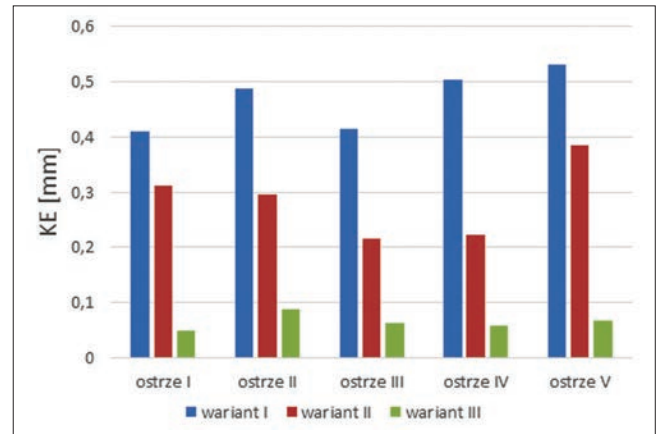


Fig. 10.  $KE$  retraction values for cutting edges after the machining cycle  
Rys. 10. Wartości cofnięcia ostrzy skrawających  $KE$  po zakończonym cyklu obróbkowym

## Podsumowanie

Zwiększenie szerokości skrawania  $a_e$  pozwoliło na skrócenie czasu zaangażowania ostrza w materiale, co zapewne ma wpływ na mniejsze zużycie ostrzy skrawających. Jednak czynnikiem decydującym o znacznie mniejszym zużyciu ostrza w trzecim wariancie obróbki była liczba wejść narzędzia w materiał. Zwiększenie szerokości skrawania z 1,73 mm do 2,249 mm pozwoliło zmniejszyć tę liczbę z 65 do 50. Jak podano wcześniej, Inconel 718 umacnia się podczas obróbki, co powoduje zwiększenie twardości skrawanego materiału. Zmniejszenie liczby przejść narzędzia skrawającego przy tej samej objętości materiału do usunięcia korzystnie wpływa na zużycie ostrza.

Z porównania wariantu 1 i 2 wynika, że korzystna jest zmiana pozycji frezu w osi Z podczas skrawania. Zastosowanie tej strategii pozwoliło usunąć wymaganą ilość materiału przy zmniejszonym zużyciu ostrza. Zmiana pozycji frezu w osi Z i jednocześnie zmniejszenie liczby wejść narzędzia w materiał obrabiany nie tylko zmniejszyły zużycie ostrzy skrawających, lecz także skróciły czas skrawania.

## LITERATURA

- [1] Burek J., Żyłka Ł., Gdula M., Płodzień M. „Wpływ orientacji osi freza toroidalnego na składowe siły skrawania w pięcioosiowej obróbce łopatką turbiny ze stopu INCONEL 718”. *Mechanik*. 8–9 (2015): 764–774, <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2015.8-9.489>.
- [2] Chodorowski J., Ciszewski A., Radomski T. „*Materiałoznawstwo lotnicze*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Wrocław 2003.
- [3] Ducros C., Sanchette F. “Multilayered and nanolayered hard nitride thin films deposited by cathodic arc evaporation. Part 2: Mechanical properties and cutting performances”. *Surface and Coatings Technology*. 201 (2006): 1045–1052, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.01.029>.
- [4] Jafarian F., Amirabadi H., Sadri J. “Experimental measurement and optimization of tensile residual stress in turning process of Inconel 718 superalloy”. *Measurement*. 63 (2015): 1–10, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.11.021>.
- [5] Matras A., Zębala W., Ślusarczyk Ł. „Wpływ modelu materiałowego na wyniki badań symulacyjnych frezowania stopu Inconel 718”. *Mechanik*. 10 (2016): 109–114, <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.10.402>.
- [6] Nath Ch., Brooks Z., Kurfess T.R. „Machinability study and process optimization in face milling of some super alloys with indexable copy face mill inserts”. *Journal of Manufacturing Processes*. 20 (2015): 88–97, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.09.006>.
- [7] Sharman A.R.C., Hughes J.I., Ridgway K. “The effect of tool nose radius on surface integrity and residual stresses when turning Inconel 718<sup>TM</sup>”. *Journal of Materials Processing Technology*. 216 (2015), s. 123–132, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.09.002>.
- [8] Szablewski P., Weiss E., Chwałczuk T. „Rozwój obróbki materiałów trudnoskrawalnych”. *Mechanik*. 8–9 (2016): 1208–1209, <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.8-9.321>.
- [9] Tian X., Zhao J., Zhao J., Gong Z., Dong Y. „Effect of cutting speed on cutting forces and wear mechanisms in high-speed face milling of Inconel 718 with Sialon ceramic tools”. *International Journal Advances Manufacturing Technology*. 69 (2013): 2669–2678, <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5206-4>.