

Badania sił skrawania podczas frezowania superstopu Inconel 718 z podwyższoną prędkością skrawania

Research of cutting forces during the milling of Inconel 718 superalloy in conditions of increased cutting speed

STANISŁAW BŁAWUCKI
KAZIMIERZ ZALESKI
JAKUB MATUSZAK*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.262

Skrawanie z dużą prędkością (HSM) jest coraz częściej stosowane podczas obróbki stopów trudnoobrabialnych. Strategia HSM przyczynia się do wzrostu wydajności oraz poprawy jakości obrabianej powierzchni. Zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych frezowania z podwyższoną prędkością superstopu Inconel 718. Podjęto próbę określenia granicznej prędkości skrawania tego stopu dla obróbki HSM na podstawie kryterium sił skrawania.

SŁOWA KLUCZOWE: Inconel 718, frezowanie, HSM, superstop, siły skrawania

High Speed Machining (HSM) is widely used in the cutting of difficult to machine alloys. Application of HSM strategies leads to increase a productivity and improve a quality of the treated surface. This paper presents results of experimental research of milling Inconel 718 superalloy with increased speed. It was made an attempt to determine the boundary cutting speed for this alloy in HSM conditions, using the criterion of cutting forces.

KEYWORDS: Inconel 718, milling, HSM, superalloy, cutting forces

Stopy niklu Inconel należą do grupy superstopów wykazujących szczególne właściwości fizyczne. Ze względu na niski współczynnik przewodności cieplnej i odporność na korozję Inconel 718 jest powszechnie stosowany w gorącej sekcji odrzutowych silników lotniczych [2]. Wyjątkowe właściwości materiałowe superstopów powodują, że są one trudnoobrabialne. Zawartość węglików (NiC, CrC, TiC, MoC, WC, FeC i NbC) w strukturze krystalicznej przyczynia się do przyspieszonego zużycia krawędzi narzędzia [4]. Wysoka wytrzymałość na rozciąganie (1034 MPa) uniemożliwia stosowanie dużych głębokości skrawania, a niska przewodność cieplna (w granicach 11,1 W/m°C) utrudnia odprowadzanie ciepła ze strefy obróbki [1, 3, 5].

Skrawanie superstopów z małą głębokością prowadzi do zgniatania warstwy wierzchniej, co dodatkowo zwiększa jej twardość. Towarzyszące skrawaniu Inconelu 718 drgania samowzbudne przyczyniają się do pogorszenia jakości powierzchni, stąd w praktyce przemysłowej nie stosuje się prędkości skrawania v_c powyżej 100–120 m/min i posuwu na ostrze f_z powyżej 0,2 mm. Wzrost tych parametrów powoduje przyspieszone zużycie krawędzi skrawających frezu, co podnosi koszt obróbki [5, 6]. Rozwiązaniem może być znalezienie takich warunków obróbki, które pozwolą na obniżenie składowych całkowitej siły

skrawania i zapewnią poprawę jakości obrabianej powierzchni.

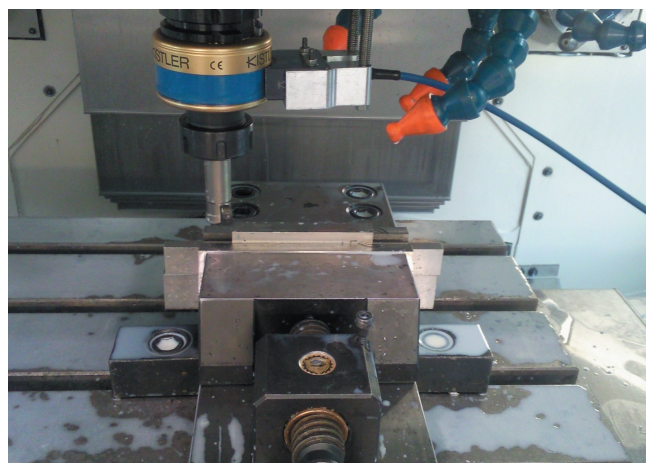
Brakuje danych dotyczących frezowania stopu Inconel 718 z prędkościami skrawania przekraczającymi 120 m/min, dlatego podjęto próbę frezowania z wyższymi prędkościami.

Celem badań jest analiza wartości biernej siły skrawania F_p i momentu skrawania M_c w procesie frezowania współbieżnego stopu Inconel 718, co umożliwi określenie zakresu korzystnych warunków technologicznych skrawania w warunkach HSM.

Metodyka badań

Wykonano frezowanie czołowe prostopadłościennych próbek o wymiarach 15 × 15 × 100 mm składanym frezem trzpieniowym o średnicy $D = 20$ mm, z dwoma ostrzami węglikowymi (gatunek MM4500) o promieniu naroża $r_\epsilon = 3$ mm. Frezowanie odbywało się w warunkach intensywnego chłodzenia, ze stałą głębokością skrawania $a_p = 0,3$ mm, z szerokością frezowania $a_e = 7,5$ mm, ze zmiennymi prędkościami skrawania od 30 do 330 m/min, z krokiem 30 m/min oraz z dwoma posuwami $f = 0,05; 0,15$ mm/ostrze.

Pomiary siły biernej i momentu skrawania przeprowadzono na centrum frezarskim CNC AVIA800HS o mocy 24 kW, z użyciem siłomierza obrotowego Kistler 9125A. Siłomierz zestawiono w torze pomiarowym ze wzmacniaczem 5237A1/A2 oraz modulem do akwizycji danych pomiarowych DAQ 5697A. Mierzono jednocześnie siłę bierną F_p oraz moment skrawania M_c . Siłomierz pracował w maksymalnym zakresie pomiarowym siły wynoszącym ± 3000 N oraz momentu równym ± 50 Nm.

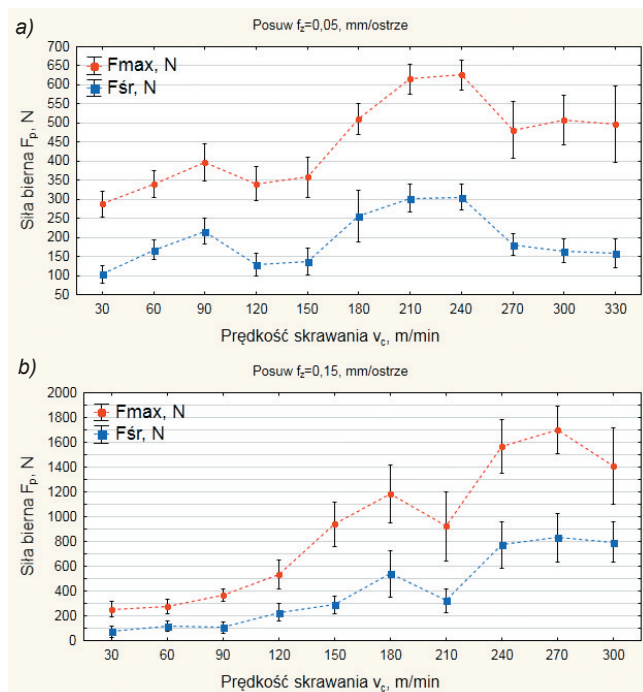


Rys. 1. Stanowisko do badania siły biernej oraz momentu skrawania podczas frezowania superstopu Inconel 718

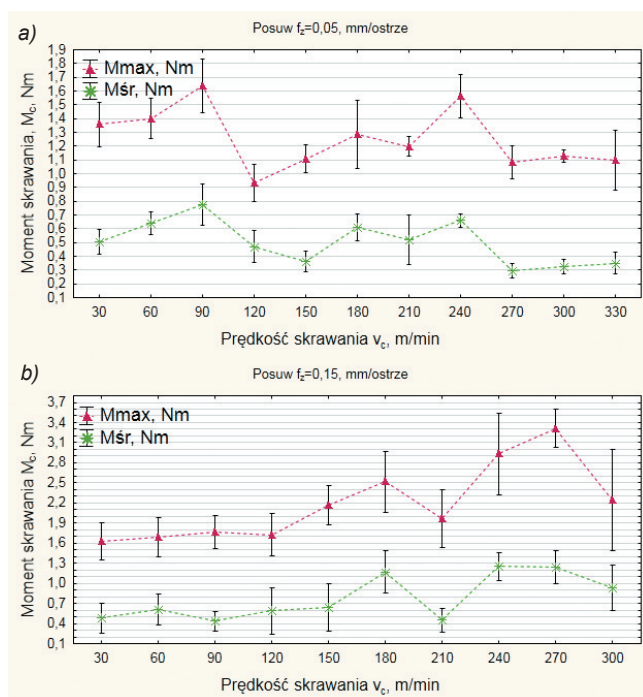
* Mgr inż. Stanisław Bławucki (s.blawucki@pollub.pl), dr hab. inż. Kazimierz Zaleski prof. PL (k.zaleski@pollub.pl), dr inż. Jakub Matuszak (j.matuszak@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

Wyniki badań

Na podstawie przebiegów czasowych siły biernej i momentu skrawania, pochodzących z siłomierza, sporządzono charakterystyki wpływu prędkości skrawania oraz posuwu na wartość siły biernej F_p oraz momentu skrawania M_c (rys. 2, 3). Zauważono, że gdy posuw f_z wynosi 0,05 mm/ostrze, występują dwa korzystne obszary prędkości skrawania: $v_c = 120\div 150$ m/min oraz $v_c = 270\div 330$ m/min. Posiłkując się graficzną interpretacją wyników badań frezowania czołowego Inconelu 718, odnotowano, że przy prędkości skrawania $v_c = 120$ m/min następuje spadek



Rys. 2. Wpływ prędkości skrawania na wartość siły biernej F_p podczas frezowania stopu Inconel 718 ze stałym posuwem: a) $f_z = 0,05$ mm/ostrze, b) $f_z = 0,15$ mm/ostrze



Rys. 3. Wpływ prędkości skrawania na wartość momentu skrawania M_c podczas frezowania stopu Inconel 718 ze stałym posuwem: a) $f_z = 0,05$ mm/ostrze, b) $f_z = 0,15$ mm/ostrze

momentu skrawania względem momentu zarejestrowanego przy $v_c = 30$ m/min (rys. 3a). Przy prędkości skrawania $v_c = 30$ m/min zaobserwowano najniższe wskazania siły biernej (rys. 2a).

Frezowanie z posuwem 0,15 mm/ostrze wywołuje małe wartości siły biernej i momentu skrawania w zakresie prędkości frezowania $v_c = 30\div 90$ m/min oraz miejscowo – 210 m/min (rys. 2b, 3b). Jednak nawet niewielka zmiana prędkości skrawania v_c poniżej bądź powyżej 210 m/min ma znaczący wpływ na wartość siły biernej i momentu skrawania; przy prędkościach większych od 270 m/min zaobserwowano zmniejszenie wartości zarówno siły biernej, jak i momentu skrawania (rys. 2b, 3b). Przeprowadzone badania dają pewien pogląd odnośnie do możliwości frezowania superstopu Inconel 718 z prędkościami dużo większymi od tych, które obecnie stosuje się w przemyśle.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych wysunięto następujące wnioski:

- Istnieje techniczna możliwość frezowania współbieżnego superstopów Inconel 718 narzędziem składanym o średnicy 20 mm z prędkością v_c dochodzącą do 300÷330 m/min z $a_p = 0,30$ mm oraz f_z w zakresie 0,05÷0,15 mm/ostrze bez ryzyka uszkodzenia obrabiarki i narzędzia.
- Obserwuje się korzystne obszary zakresu prędkości skrawania i posuwu, w których dochodzi do lokalnego spadku siły biernej oraz momentu skrawania. W zakresie $v_c = 30\div 90$ m/min korzystniejsze jest skrawanie z posuwem $f_z = 0,15$ mm/ostrze.
- Wzrost prędkości skrawania prowadzi do większego rozrzutu wyników pomiarów siły biernej i momentu skrawania, co jest potwierdzeniem teorii dotyczącej przyspieszonego zużycia narzędzia na skutek trudnej obrabialności stopu Inconel 718.
- Widoczne jest lokalne zmniejszenie wartości siły biernej i momentu skrawania podczas frezowania z prędkością skrawania $v_c = 120\div 150$ m/min i posuwem $f_z = 0,05$ mm/ostrze oraz z prędkością v_c ok. 210 m/min i posuwem $f_z = 0,05$ mm/ostrze, i te obszary można uważać za zalecany zakres stosowania strategii HSM przy frezowaniu czołowym superstopu Inconel 718 płytkami węglowymi.
- Należy prowadzić dalsze badania w celu oceny wpływu dużych prędkości skrawania na inne wskaźniki skrawalności, takie jak chropowatość powierzchni, trwałość ostrza i temperatura skrawania.

LITERATURA

1. Bławucki S., Matuszak J., Zaleski K. „Badania porównawcze wybranych wskaźników skrawalności w procesie frezowania stopów niklu Inconel 625 i Inconel 718”. *Mechanik*. Nr 8-9 (2015): s. 724/293-301 CD.
2. Burek J., Żyłka Ł., Gdula M., Płodzień M. „Wpływ orientacji osi freza toroidalnego na składowe siły skrawania w pięcioosiowej obróbce łopatkę turbiny ze stopu Inconel 718”. *Mechanik*. Nr 8-9 (2015): s. 731/764-774 CD.
3. Devillez A., Le Coz G., Dominiak S., Dudzinski D. „Dry Machining of Inconel 718, Workpiece Surface Integrity”. *Journal of Materials Processing Technology*. No. 211 (2011): pp. 1590-1598.
4. Estrems M., Sánchez H.T., Kurfess T., Bunget C. „Influence of speed on wear and cutting forces in end-milling nickel alloy”. *The 4-th Engineering Society International Conference (MESIC 2011) AIP Conf. Proc.* 1431 (2012): pp. 433-440.
5. Kasim M.S., Cheharon C.H., Ghani J.A., Sulaiman M.A., Yazid M.Z.A. „Wear mechanism and notch wear location prediction model in ball nose end milling of Inconel 718”. *Wear*. 302 (2013): pp. 1171-1179.
6. Kossakowska J., Siemiątkowski Z., Jemielniak K. „Badania zależności sił skrawania od stanu narzędzia i parametrów skrawania podczas frezowania zgrubnego Inconel 718 płytkami ceramicznymi”. *Mechanik*. Nr 8-9 (2015): s. 731/797-805 CD.