

# Toczenie wykończeniowe stopu Inconel 718 z zastosowaniem wysokiego ciśnienia cieczy chłodząco-smarującej

Finish turning of Inconel 718 alloy with the use of high pressure cooling

PIOTR LASKOWSKI  
KRZYSZTOF KRUPA  
JAN SIENIAWSKI  
WITOLD HABRAT \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.441

Artykuł zawiera wyniki badań toczenia wykończeniowego stopu Inconel 718 z zastosowaniem wysokociśnieniowego chłodzenia. Przedstawiono wyniki badań w zakresie zużycia ostrza skrawającego oraz procesu formowania i łamania wióra. **SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka skrawaniem, Inconel 718, wysokie ciśnienie cieczy chłodząco-smarującej

*The paper contains the results of the finish turning of Inconel 718 alloy with high pressure cooling. The results of research in the field of the wear of a cutting tool and the processes of forming and chip-breaking were presented.*

**KEYWORDS:** machining, Inconel 718 alloy, high pressure coolant

Nadstopny na osnowie niklu nowej generacji, stosowane w lotnictwie i energetyce, oprócz wysokiej wytrzymałości charakteryzują się także wysokim modułem sprężystości, stosunkowo niskim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, a także względnie niskim ciężarem właściwym, przy bardzo stabilnej strukturze w długim czasie pracy w wysokiej temperaturze.

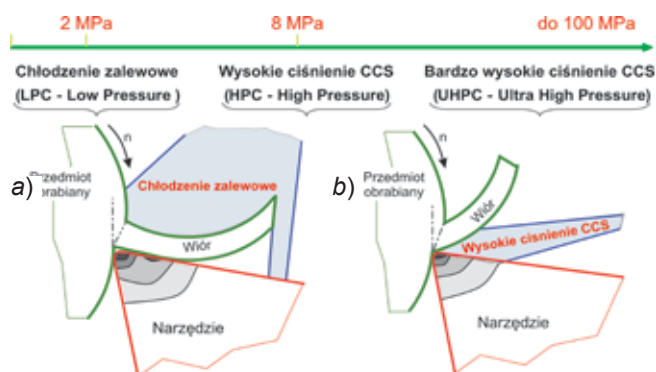
Duża zawartość Ni i Cr sprawia, że materiał jest odporny na wysoką temperaturę, jaka panuje w strefie komory spalania i bezpośrednio za nią. Niestety równocześnie tak wysoki udział pierwiastków stopowych sprawia, że materiał jest trudnoobrabialny, co charakteryzuje wielkość zwana współczynnikiem obrabialności materiału. Dla Inconelu 718 wartość tego parametru wynosi ok. 14%.

Nadstopny na bazie niklu mają osnowę austenityczną i silnie utwardzają się podczas obróbki mechanicznej. Wyssokie naciski wytworzone między narzędziem a obrabianym przedmiotem powodują deformacje warstwy powierzchniowej i efekt umocnienia, który utrudnia dalszą obróbkę. Naprężenia w tej zniekształconej warstwie mogą również powodować odkształcenie elementów cienkościennych.

Ogólną tendencją w przemyśle wytwórczym jest minimalizacja stosowania cieczy chłodząco-smarujących z obróbką na sucho włącznie. Jednak wiele współczesnych materiałów nie może być obrabianych w ten sposób, nawet z użyciem nowoczesnych narzędzi powlekanych, ze względu na wysoką temperaturę w strefie skrawania. Materiały takie jak nierdzewne stale austenityczne, stopy

wysokotemperaturowe, stopy tytanu oraz hartowane stale wymagają zastosowania płynów obróbkowych.

Płyny obróbkowe pełniące rolę chłodzącą i smarującą są stosowane w celu odprowadzania ciepła powstającego w trakcie obróbki w strefie skrawania. Zbyt mała ilość dostarczanego chłodziwa oraz niska prędkość podawania mogą prowadzić podczas obróbki materiałów trudno-skrawalnych do pogorszenia wskaźników skrawalności. W szczególności to przedwczesne zużycie narzędzia wskutek ścierania oraz szoku termicznego powoduje intensywne wykruszanie krawędzi skrawającej ostrza narzędzia. Obserwuje się, że zastosowanie cieczy chłodząco-smarującej o skoncentrowanym strumieniu z wysoką prędkością podawania i skierowanej dokładnie do strefy skrawania pozwala na przeciwstawienie się tym skutkom.



Rys. 1. Schemat ideowy: a) chłodzenie zalewowe, b) wysokie ciśnienie cieczy chłodząco-smarującej

Wysoką prędkość podawania cieczy chłodząco-smarującej (CCS) uzyskuje się w wyniku zwiększenia ciśnienia w układzie chłodzącym obrabiarki oraz zastosowania specjalistycznych opravek narzędziowych. Skrawanie z zastosowaniem tego rodzaju oddziaływania nosi nazwę chłodzenia wysokociśnieniowego HPC (*high pressure coolant*). Przyjmuje się, że z chłodzeniem wysokociśnieniowym mamy do czynienia dla ciśnienia powyżej 4 MPa [4].

## Warunki badań doświadczalnych

Badania doświadczalne realizowane były w Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej z użyciem tokarki CNC DMG NEF600 wyposażonej w system ChipBlaster, służący do podawania cieczy chłodząco-smarującej pod dużym ciśnieniem. System umożliwia podawanie cieczy chłodząco-smarującej pod ciśnieniem z zakresu 3÷21 MPa oraz wydatkiem maksymalnie 80 l/min.

\* Mgr inż. Piotr Laskowski (pl@prz.edu.pl), dr. inż. Krzysztof Krupa (krupa@prz.edu.pl) – Uczelniane Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej; dr inż. Witold Habrat (witekhab@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej; prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski (jansien@prz.edu.pl) – Katedra Materiałoznawstwa, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

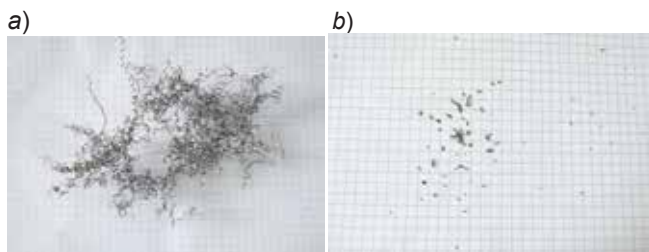
Warunki procesu:

- materiał obrabiany – Inconel 718,
- narzędzie skrawające – płytka typu „V” do obróbki wykończeniowej VCMT160408-SM z węgla spiekane IC907,
- chłodzenie:
  - chłodzenie zalewowe - ciśnienie ok. 0,8 MPa,
  - chłodzenie wysokociśnieniowe – 5; 6,5; 8; 13; 19 MPa,
- parametry skrawania (obróbka wykończeniowa):
  - prędkość skrawania  $v_c = 70$  m/min,
  - głębokość skrawania  $a_p = 0,25$  mm,
  - posuw  $f = 0,1$  mm/obr,
- dysze chłodzące:
  - dysza 1 – pojedynczy wylot (niski wydatek CCS),
  - dysza 2 – potrójny wylot (wysoki wydatek CCS).

Pomiar zużycia wkładki ostrzowej wykonano za pomocą mikroskopu stereoskopowego z programem do cyfrowej analizy obrazu (kamera Nikon SMZ 1000 i oprogramowanie NIS Elements AR). Wartość wskaźnika zużycia  $VB_{Bmax}$  określano przy powiększeniu 20x i rozdzielczości  $2560 \times 1920$ .

## Wyniki badań

Podczas obróbki Inconelu 718 wióry uzyskane przy konwencjonalnym chłodzeniu miały tendencję do zaplątywania i kłębowienia (rys. 2a) nawet dla krótkich interwałów obróbkowych (poniżej 1 min), prowadząc do ograniczonych warunków chłodzenia w strefie skrawania. Z drugiej strony dla chłodzenia wysokociśnieniowego uzyskano doskonałe łamanie wióra, dzięki czemu nie występowało zaplątywanie. Zapewniło to lepszą zdolność penetracyjną chłodziwa do poślizgowej lub sprężystej strefy obszaru współpracy wiór–narzędzie. Szybkie odprowadzanie wióra poprzez mechaniczne łamanie przyczynia się do zmniejszenia temperatury w strefie kontaktowej. Pozwala również na utrzymywanie wióra z dala od powierzchni natarcia narzędzia i wywołuje efekt samoistnego łamania, co uwidacznia się powstawaniem wiórów o małych rozmiarach (rys. 2b).

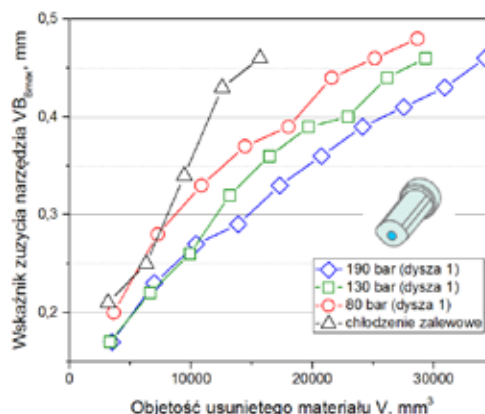


Rys. 2. Postać wióra po obróbce skrawaniem z zastosowaniem: a) chłodzenia zalewowego 0,8 MPa, b) chłodzenia wysokociśnieniowego 18 MPa

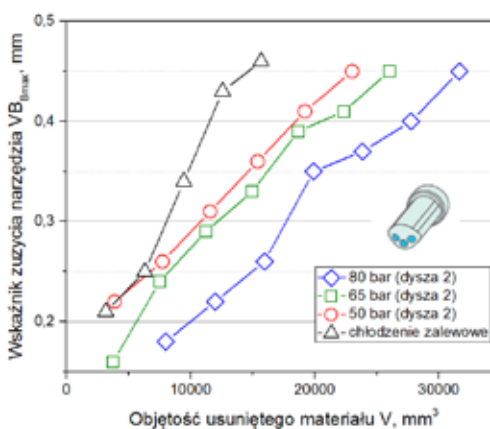
Zużycie ostrza narzędzia przejawiające się w zmianach jego geometrii i właściwości fizycznych istotnie wpływa na przebieg procesu obróbki i decyduje o jego jakości. Zmiany geometryczne są spowodowane ubytkiem materiału ostrza, a zmiany właściwości fizycznych wynikają z odkształceń, wysokiej temperatury oraz reakcji chemicznych występujących w strefie skrawania [2, 3]. Obróbka z użyciem narzędzi, dla których został przekroczony dopuszczalny wskaźnik zużycia, wiąże się z przekroczeniem górnych zakresów tolerancji wymiarowej obrabianego elementu, pogorszeniem chropowatości oraz zmianą mikrostruktury warstwy wierzchniej włącznie z możliwością powstania „białej warstwy” [1].

Zastosowanie wysokiego ciśnienia cieczy chłodząco-smarującej zmniejszyło intensywność zużycia (rys. 3 i 4)

i pozwoliło na znaczący wzrost trwałości ostrza dla przyjętego zakresu parametrów skrawania.



Rys. 3. Zużycie badanego narzędzia dla różnych ciśnień CCS 8÷19 MPa (80÷190 bar) i chłodzenia zalewowego dla dyszy 1



Rys. 4. Zużycie badanego narzędzia dla różnych ciśnień CCS 5÷8 MPa (50÷80 bar) i chłodzenia zalewowego dla dyszy 2

## Podsumowanie

Podczas badań toczenia wykończeniowego z zastosowaniem różnych ciśnień CCS i chłodzenia zalewowego zaobserwowano:

- wzrost trwałości ostrza skrawającego przy zastosowaniu wysokiego ciśnienia cieczy chłodząco-smarującej, w niektórych przypadkach ponaddwukrotnie,
- wzrost trwałości ostrza wraz ze wzrostem ciśnienia cieczy chłodząco-smarującej,
- wzrost trwałości ostrza dla tego samego ciśnienia przy większym wydatku CCS (porównanie dla dyszy chłodzących 1 i 2 przy ciśnieniu 8 MPa),
- poprawę procesu tworzenia wióra – przy zastosowaniu wysokiego ciśnienia cieczy chłodząco-smarującej nie występował efekt wióra wstęgowego; wiór w postaci odcinków ok. 2 mm.

Zwiększenie trwałości ostrza stanowi wymierną korzyść w postaci obniżenia kosztów narzędziowych, które w przypadku obróbki materiałów trudnoobrabialnych są znaczącym składnikiem kosztowym wytwarzanego wyrobu.

## LITERATURA

1. Boshesh S.S., Mativenga P.T. "White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 46 (2006): pp. 225÷233.
2. Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. WNT, Warszawa 2006.
3. Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów metalowych”. WNT, Warszawa 1998.
4. Pigott R.J.S., Colwel A.T. "Hi-Jet system for increasing tool life". *SAE Quarterly Transactions*. Vol. 6, No. 3 (1952): pp. 547÷566.