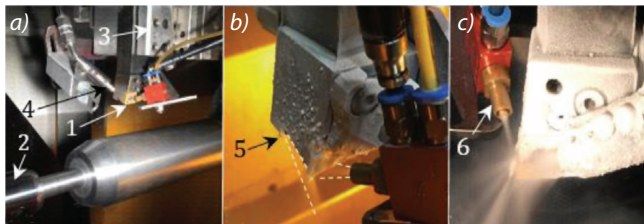


Porównanie metod chłodzenia w obróbce materiałów lotniczych

Współczesną tendencją w obróbce trudnoobrabialnych materiałów lotniczych jest poszukiwanie efektywnych i zrównoważonych metod chłodzenia. Tu porównano kombinacje chłodzenia kriogenicznego ciekłym azotem (LN2) i minimalnego (MQL), umożliwiające wykorzystanie zalet obu metod, tj. intensywnego chłodzenia i smarowania.

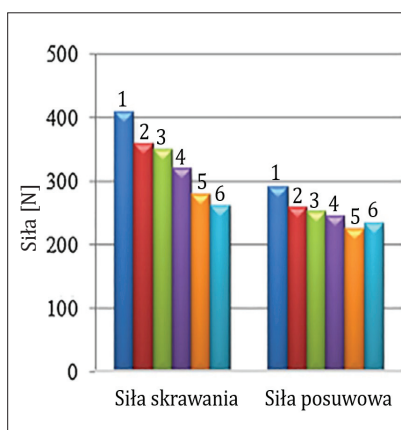
Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 1. Do obróbki zastosowano płytki z węglików spiekanych CNMP432-MF1 TS2000 pokrywane PVD (1). Pręty z Ti-6Al-4V (2) obrabiano z prędkością skrawania 56 m/min, posuwem 0,2 mm/obr i głębokością skrawania 1,5 mm. Siły skrawania mierzono siłomierzem Kistler 9121 (3). Ciekły azot (LN2) był podawany do strefy skrawania zewnętrzną dyszą (4) lub przez oprawkę (5). Chłodzenie minimalne (MQL) realizowano z użyciem emulsji Macagreen 550 o koncentracji 10%, podawanej przez dyszę (6).



Rys. 1. Różne konfiguracje podawania chłodzenia: a) MQL na powierzchnię natarcia i LN2 na powierzchnię przyłożenia przez zewnętrzną dyszę, b) MQL na powierzchnię natarcia i LN2 na powierzchnię przyłożenia przez oprawkę, c) MQL na powierzchnię przyłożenia i LN2 na powierzchnię natarcia

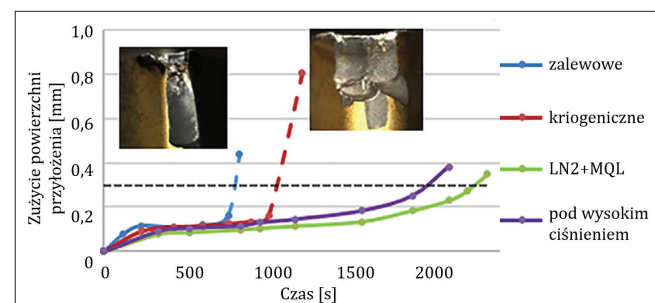
Siły skrawania uzyskane dla różnych wariantów chłodzenia przedstawiono na rys. 2. Jak widać, chłodzenie hybrydowe (MQL + LN2) daje niższe siły skrawania niż chłodzenie zalewowe czy kriogeniczne. Największa redukcja sił skrawania nastąpiła przy podawaniu mediów przez oprawkę (przypadek 6 na rys. 2). Wynika to z korzystnej interakcji między obiema dyszami, skutkującej zwiększeniem udziału frakcji LN2 docierającego do strefy skrawania.

Na rys. 3 porównano z kolei przebiegi zużycia ostrza. Badania wykazały, że również pod tym względem chłodzenie hybrydowe jest najkorzystniejsze – dzięki niemu narzędzia mają najdłuższy okres trwałości.



Rys. 2. Siły skrawania przy różnych metodach chłodzenia: 1 – zalewowe, 2 – LN2 zewnętrzne na powierzchni natarcia, 3 – MQL na powierzchni przyłożenia i LN2 zewnętrzne na powierzchni natarcia, 4 – MQL na powierzchni natarcia i LN2 zewnętrzne na powierzchni przyłożenia, 5 – pod wysokim ciśnieniem, 6 – MQL na powierzchni natarcia i LN2 na powierzchni przyłożenia przez oprawkę

W porównaniu z chłodzeniem zalewowym (konwencjonalnym), kriogenicznym i pod wysokim ciśnieniem zużycie powierzchni przyłożenia, odpowiadające przyjętemu kryterium stopienia $VB_B = 0,3$ mm, wystąpiło odpowiednio po czasie 2,8; 2 i 1,12 razy dłuższym. Ponadto w przypadku chłodzenia hybrydowego i kriogenicznego zużycie postępowało stopniowo do osiągnięcia stopienia, podczas gdy przy chłodzeniu zalewowym i kriogenicznym wcześniej następowało katastroficzne stopienie ostrza (patrz rys. 3). Wynika to z wzajemnego oddziaływania na siebie obu technik – kropelki oleju zamarzają przed dostaniem się na powierzchnię natarcia, gdzie ponownie przechodzą w stan ciekły lub wręcz gazowy. Absorbacja ciepła przemian fazowych zwiększa zdolności chłodzące, a w konsekwencji obniża temperaturę w strefie skrawania. Jak wiadomo, węgliki spiekane mają wyższą wytrzymałość i odporność na uderzenia w temperaturze kriogenicznej.



Rys. 3. Przebiegi zużycia ostrza przy różnych technikach chłodzenia

Jakość warstwy wierzchniej była analizowana pod względem chropowatości i naprężeń reszkowych po 10 minutach skrawania. Chłodzenie hybrydowe pozwoliło na obniżenie chropowatości R_a o 35%, 17% i 13% w stosunku do chropowatości uzyskanej w warunkach chłodzenia zalewowego, kriogenicznego i pod wysokim ciśnieniem. Naprężenia ściskające przy chłodzeniu kriogenicznym i hybrydowym osiągały ok. -100 MPa, ponieważ niska temperatura sprzyja takim korzystnym naprężeniom reszkowym. Chłodzenie zalewowe powodowało naprężenia rozciągające o wartości ok. $+100$ MPa na powierzchni przedmiotu, co było efektem dużego zużycia powierzchni przyłożenia ostrza.

Opracował: prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

LITERATURA

Damir A. i in. "Flow characteristics of optimized hybrid cryogenic-minimum quantity lubrication cooling in machining of aerospace materials". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 68 (2019): 77–80. ■