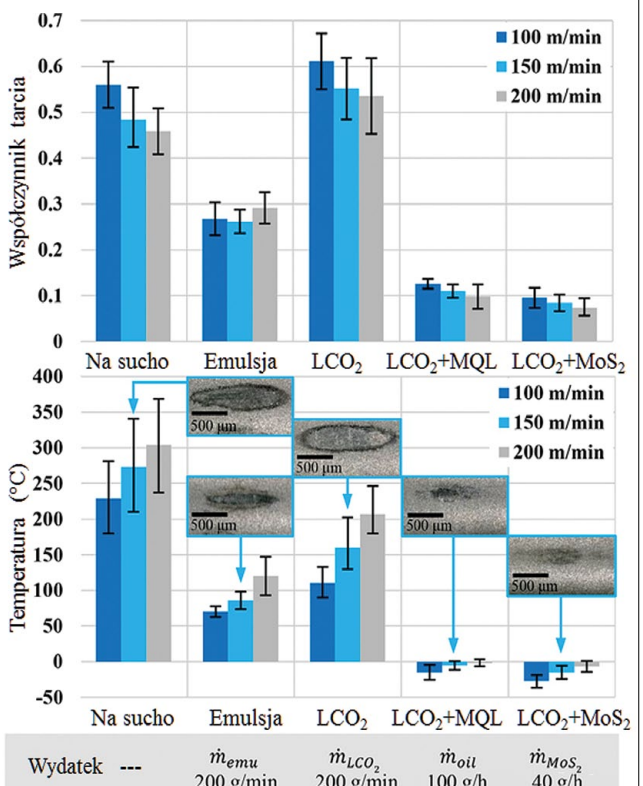
Tribologia obróbki skrawaniem wspomaganej ciekłym dwutlenkiem węgla ze smarem stałym

Współczesną tendencją w obróbce skrawaniem metali jest dążenie do eliminacji szkodliwego dla środowiska chłodzenia zalewowego. Jednym ze stosowanych rozwiązań jest chłodzenie kriogeniczne ciekłym dwutlenkiem węgla (LCO_2). Efektywność takiego chłodzenia można podnieść dzięki połączeniu go ze smarem stałym.

Warunki tribologiczne w strefie kontaktu wióra z powierzchnią natarcia są bardzo surowe – duże prędkości poślizgu, temperatury przekraczające 800°C i naciski sięgające 3000 MPa, kiedy tarcie powoduje wiele niepożądanych zjawisk. Odtworzenie takich warunków w trybometrze jest trudne, ale pozwala na dokładniejsze zbadanie tego typu zjawisk. Tu wykorzystano płytkę skrawającą (Sumitomo SNMG120412N-EG) dociskaną prostopadle do pręta stalowego 42CrMo4 (D = 70 mm). Tuż przed miejscem kontaktu inna płytka tego samego typu była użyta do tworzenia świeżo obrobionej powierzchni.

Badania prowadzono przy trzech prędkościach tarcia: 100 m/min, 150 m/min i 200 m/min, w czterech warunkach chłodzenia: na sucho, emulsją, samym LCO_2, LCO_2 + olejem jako MQL oraz mieszaniną LCO_2 + MoS_2.



Rys. Wyniki pomiarów współczynnika tarcia i temperatury

Wyniki testów tribologicznych przedstawiono na rysunku. Wyższe prędkości wywoływały wyższe temperatury, które ułatwiały zmiękczanie termiczne prowadzące do zmniejszenia współczynnika tarcia. W przeciwieństwie do chłodzenia olejem chłodzenie czystym LCO_2 nie wykazało efektu smarowania, a jedynie chłodziło styk, co podwyższało współczynnik tarcia.

Mikrocząsteczki MoS_2 mogą wniknąć w powierzchnie kontaktowe i są mniej wrażliwe na wysoką temperaturę niż cząsteczki organiczne stosowane w olejach. Obniżenie współczynnika tarcia przy wystarczającym nacisku kontaktowym przypisuje się rozbiciu cząstek na cienkie płatki, które pod wpływem nacisku przylegają do powierzchni, tworząc film smarujący i obniżając współczynnik tarcia.

Na rysunku pokazano także zużycie płytki ciernej przy prędkości ślizgania 150 m/min. Największe zużycie, wynikające z braku smarowania, obserwuje się przy obróbce na sucho i z zastosowaniem czystego LCO_2. W porównaniu z obróbką na sucho użycie emulsji zmniejsza współczynnik tarcia o ok. 50% (z 0,56 do 0,27 przy prędkości 100 m/min). Biorąc pod uwagę wyniki dotyczące tarcia i temperatury, niższą temperaturę i mniejsze zużycie płytki ciernej można przypisać połączonemu efektowi chłodzenia i smarowania. Połączenie LCO_2 z olejem (MQL) zmniejsza współczynnik tarcia o 80%. Ponieważ LCO_2 ze smarowaniem stałym wytwarza mniej ciepła przy niezmienionej zdolności LCO_2 do chłodzenia, osiągane temperatury są niższe w zakresie od −15°C do −2°C. Średni współczynnik tarcia pozostaje niezmienny przez cały czas trwania eksperymentu, co oznacza, że stałe dostarczanie proszku MoS_2 aktywnie podtrzymuje tworzenie filmu smarnego. Uzyskane wyniki wskazują na lepszą redukcję współczynnika tarcia w LCO_2 ze smarowaniem stałym w porównaniu z innymi testowanymi metodami chłodzenia-smarowania, w tym LCO_2 ze smarowaniem MQL.

Opracował: prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

LITERATURA

Pušavec F., Sterle L., Kalin M., Mallipeddi D., Krajnik P. "Tribology of solid-lubricated liquid carbon dioxide assisted machining". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 69 (2020): 69–72, https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.04.033.