

## Porównanie ciekłego azotu i dwutlenku węgla jako mediów wykorzystywanych w chłodzeniu kriogenicznym

Ważnym współczesnym trendem w obróbce skrawaniem jest stosowanie zasad zrównoważonego rozwoju, w tym ograniczenie do minimum: zanieczyszczenia środowiska, kosztów wytwarzania i zużycia energii. Te cele można osiągnąć dzięki wyeliminowaniu chłodzenia obfitego, zalewowego, i zastąpieniu go np. chłodzeniem kriogenicznym.

Do chłodzenia kriogenicznego strefy obróbki przez wrzeciono obrabiarki i narzędzie wykorzystuje się ciekły azot LN<sub>2</sub> (*liquid nitrogen*) oraz dwutlenek węgla CO<sub>2</sub>. Te substancje różnią się znacząco pod względem mechanizmu chłodzenia, dlatego warto sobie uświadomić, że przy ich stosowaniu należy uwzględnić odmienne wymagania.

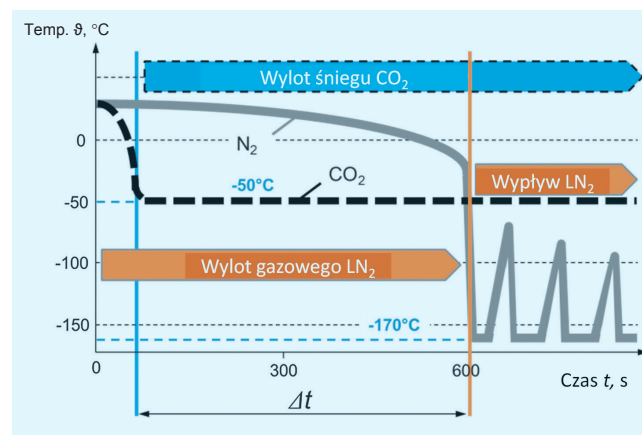
Dwutlenek węgla jest przechowywany jako ciecz pod umiarkowanym ciśnieniem (ok. 57 bar) w temperaturze pokojowej. Do narzędzia jest dostarczany przewodami ciśnieniowymi. Elementy obrabiarki i przewody nie są poddawane oddziaływaniu cieplnemu, dopóki CO<sub>2</sub> jest pod wysokim ciśnieniem. Gdy płynny dwutlenek węgla opuszcza kanały chłodzące w narzędziu, rozpręża się, ciśnienie spada i następuje przemiana fazowa z cieczy w mieszaninę gazu i stałego CO<sub>2</sub> (tzw. suchy lód). Efekt chłodzący w postaci temperatury sięgającej –78,5°C jest uzyskiwany dzięki przemianie fazowej i efektowi Joule’a–Thomsona. Ponieważ suchy lód sublimuje w temperaturze otoczenia, chłodzenie kriogeniczne z zastosowaniem CO<sub>2</sub> nie pozostawia śladów.

Chłodząca charakterystyka LN<sub>2</sub> jest zupełnie inna. Azot musi być przechowywany w izolowanych zbiornikach, ponieważ przy ciśnieniu otoczenia zamienia się z ciała stałego w ciecz przy –210°C, a zaczyna wrzeć przy –196°C. Z tego względu ciekły azot jest bardziej przydatny do chłodzenia w bardzo niskiej temperaturze, jednak sprawia poważne problemy. Po pierwsze przewody doprowadzające, elementy obrabiarki oraz kanały chłodzące w narzędziu muszą być izolowane, aby wyeliminować zagrożenia i zapobiec pogorszeniu właściwości chłodzących. Po drugie ciekły azot gwałtownie paruje w momencie zetknięcia się z powierzchnią o znacznie wyższej temperaturze. To prowadzi do wytworzenia na powierzchni izolującej warstewki gazowej, która redukuje efekt chłodzący.

Czas rozruchu systemu wykorzystującego ciekły azot jest znacznie dłuższy w porównaniu z systemem, w którym stosuje się dwutlenek węgla (patrz rysunek). Zastosowanie CO<sub>2</sub> pozwala na rozpoczęcie skrawania już po ok. 60 s od uruchomienia systemu chłodzącego. Po tym czasie osiągnięta jest temperatura minimalna, wynosząca ok. –50°C.

W systemie wykorzystującym LN<sub>2</sub> na początku w przewodach i kanałach chłodzących znajduje się duża ilość gazowego azotu, który musi zostać wypchnięty, zanim zacznie się wydobywać ciekły azot. Nawet po osiągnięciu temperatury wylotowej rzędu –170°C proces chłodzenia nie jest stabilny ze względu na gazowy azot powstający w systemie chłodzącym.

Zasadnicze różnice między systemami chłodzącymi wykorzystującymi ciekły azot i dwutlenek węgla zestawiono w tabelicy.



Przebieg temperatury wylotowej przy zastosowaniu LN<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>

TABLICA. Właściwości CO<sub>2</sub> i LN<sub>2</sub> istotne z punktu widzenia wykorzystania tych substancji jako chłodziw w procesie skrawania

Chłodziwo	Dwutlenek węgla CO <sub>2</sub>	Ciekły azot LN <sub>2</sub>
Temperatura minimalna, °C	–78,5	–196
Efekt chłodzący	Niska temperatura uzyskiwana w wyniku rozszerzania się medium u wylotu dyszy	Chłodzony zbiornik, przewody i narzędzie
Obsługa/integracja z obrabiarką	Nie jest potrzebna izolacja	Konieczna izolacja wszystkich elementów systemu chłodzącego
Narzędzia	Standardowe, z niewielkimi modyfikacjami	Specjalne z przewidzianą izolacją termiczną

Opracował dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

### LITERATURA

Jawahir I.S., Attia H., Biermann D., Duflou J., Klocke F., Meyer D., Newman S.T., Pusavec F., Putz M., Rech J., Schulze V., Umbrello D. "Cryogenic manufacturing processes". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 65 (2016): s. 713–736. ■