

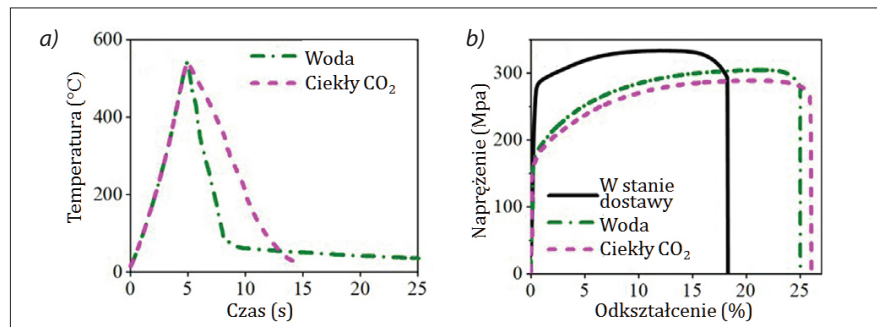
Zintegrowane smarowanie i hartowanie przy tłoczeniu na gorąco stopu aluminium utwardzanego wydzieleniowo

Wadą typowych stopów aluminium (SA) jest słaba formowalność w temperaturze pokojowej. W celu przezwyciężenia tego problemu zaproponowano utwardzanie wydzieleniowe po formowaniu jako tłoczenie SA na gorąco.

Jako materiał testowy wybrano typowy SA utwardzany wydzieleniowo – AA6061-T6 w postaci arkuszy o grubości 2 mm. Wydajność ciekłego CO₂ jako środka smarnego oceniono w teście wyciągania.

Na rys. 1a przedstawiono stanowisko do wyciągania z płaskimi matrycami podłączonymi do systemu zasilania CO₂ z mikrootworami, siłomierzem i siłownikiem liniowym. Płaskie matryce (rys. 1b) miały 400 równomiernie (co 2 mm) rozmieszczonych mikrootworów, które działały jak dysze. Zostały one połączone ze wspólnym kanałem przepływu w matrycy.

Podczas testu ciekły CO₂ był podawany przez wspólny kanał przepływu do mikrootworów płaskich matryc, a następnie nakładany na półfabrykat między płaskimi matrycami, gdzie przekształcał się w suchy lód, gdy ciśnienie zmieniło się na ciśnienie atmosferyczne. Gdy temperatura



Rys. 3. Przebiegi temperatur podczas testów hartowania (a); krzywe naprężenie–odkształcenie hartowanych półfabrykatów (b)

spadała do około 20°C, suchy lód przekształcał się w gazowy CO₂ z jednoczesnym szybkim wzrostem objętości, oddzielając półfabrykat i płaskie matryce, co powinno zmniejszyć tarcie. Przeprowadzono również testy z konwencjonalnym smarowaniem grafitem. Wyniki przedstawiono na rys. 2.

Ciekły CO₂ pod ciśnieniem 10 barów – zgodnie z oczekiwaniami – zmniejszył siłę tarcia ślizgowego w porównaniu ze stanem suchym;

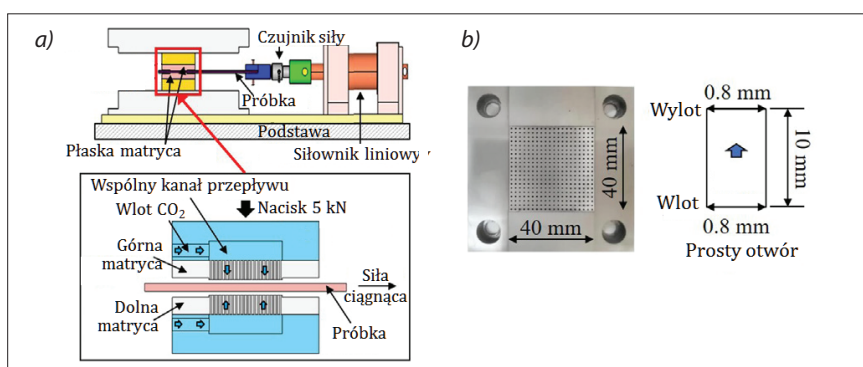
siła tarcia była podobna jak podczas smarowania grafitem od 0 s do 2 s (rys. 2a). Średni współczynnik tarcia od 2 s do 10 s (rys. 2b) z ciekłym CO₂ był co najmniej 30% i 14% niższy niż odpowiednio w stanie suchym i przy smarowaniu grafitem.

W trakcie ogrzewania oporowe próbki osiągnięto temperaturę szczytową ~540°C, nieco wyższą niż typowa temperatura roztworu stałego SA: ~535°C (rys. 3a). Podczas hartowania ciekłym CO₂ szybkość chłodzenia (66°C/s) była niższa niż przy hartowaniu wodą (148°C/s), jednak wystarczająco wysoka, aby osiągnąć przesycony roztwór stały.

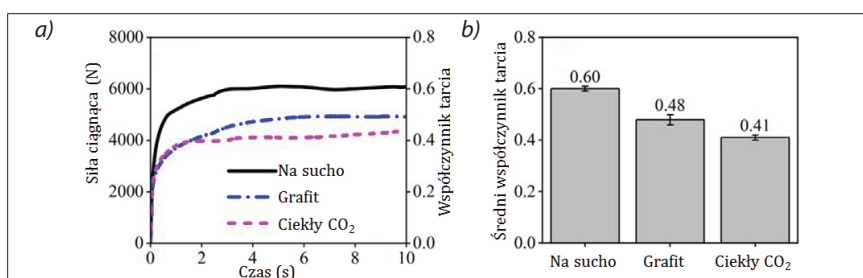
Skuteczność ciekłego CO₂ jako środka smarnego i hartowniczego potwierdzono w praktyce tłoczenia na gorąco SA w warunkach laboratoryjnych. Powierzchnia półfabrykatu miała niższą chropowatość niż w przypadku smaru grafitowego, a hartowanie ciekłym CO₂ skutecznie indukowało roztwór stały do późniejszego sztucznego starzenia.

Opracował:

prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak



Rys. 1. Schemat testu wyciągania (a) i rzeczywista matryca (b)



Rys. 2. Siła tarcia i współczynnik tarcia podczas testów wyciągania (a); średnie współczynniki tarcia od 2 s do 10 s (b)

LITERATURA

Lihong Cai, Shengwei Zhang, Kun Gao, Van Loi Tran, Meiling Geng, Koo-Hyun Chung, Sung-Tae Hong. "Integrated lubrication and quenching using a volatile medium and additive manufactured die in hot stamping of precipitation hardening aluminum alloy". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 72 (2023): 217-220, doi.org/10.1016/j.cirp.2023.03.026. ■