

## Poprawa jakości warstwy wierzchniej dzięki zastosowaniu chłodzenia kriogenicznego

Spełnienie wymagań dotyczących warstwy wierzchniej jest jednym z głównych zadań procesu produkcyjnego. Wytworzone w jego trakcie ściskające naprężenia resztkowe mogą ok. dwu-, trzykrotnie wydłużyć czas pracy dynamicznie obciążonych elementów silników lotniczych. Istotne zmiany właściwości warstwy wierzchniej można uzyskać dzięki obróbce skrawaniem z chłodzeniem kriogenicznym (obróbce kriogenicznej).

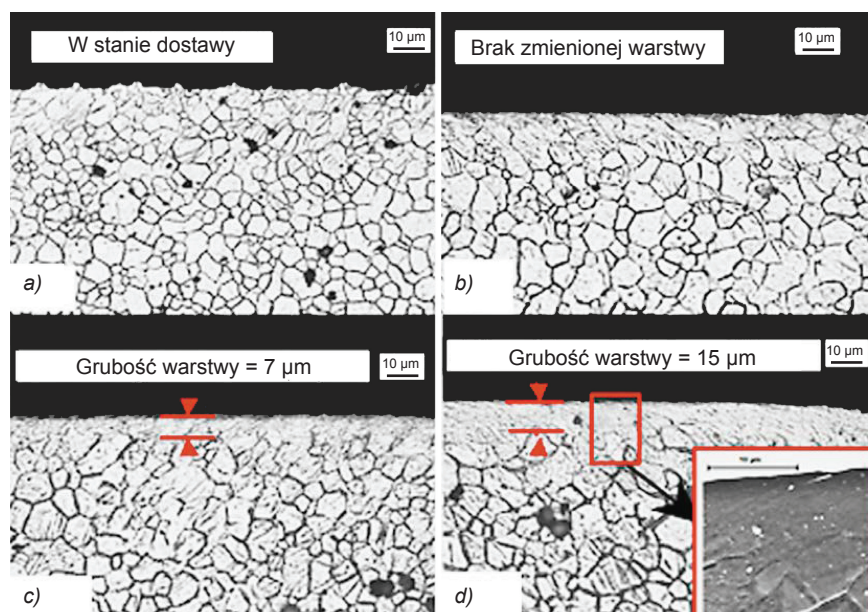
Obróbka kriogeniczna – z chłodzeniem ciekłym azotem – może prowadzić do poprawy gładkości powierzchni i powstania stabilnej, grubej warstwy nanokrystalicznej o znacznej rekrytalizacji ziaren (z 12  $\mu\text{m}$  do 31 nm), w której występują naprężenia ściskające.

Na rys. 1 przedstawiono wpływ promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej  $r_n$  oraz obróbki na sucho lub z chłodzeniem kriogenicznym na mikrostrukturę warstwy wierzchniej stopu AZ31B Mg. Chłodzenie kriogeniczne przyczynia się do powstawania warstewki materiału o strukturze nanokrystalicznej. Widać, zwłaszcza na rys. 1d, że w zmienionej warstwie ziarnistość jest nie do zauważenia zarówno pod mikroskopem optycznym, jak i SEM. Grubość tej warstwy jest

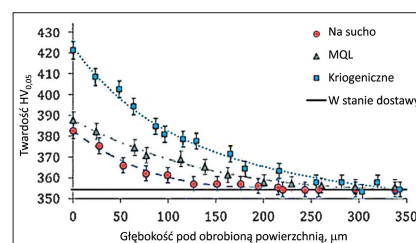
tym większa, im większy jest promień zaokrąglenia krawędzi. Twardość materiału wzrosła z 55 HV w materiale rodzimym do 95 HV w zmienionej warstwie. Po obróbce na sucho (rys. 1b) w tych samych warunkach skrawania nie zauważono powstawania takiej warstwy.

Zwiększenie twardości warstwy wierzchniej po skrawaniu z chłodzeniem kriogenicznym wynika z rekrytalizacji i utwardzenia zgniotem w czasie obróbki. Zaobserwowano je w szerokim zakresie materiałów, takich jak Inconel 718 oraz stop  $\gamma$ -TiAl, w których zmieniona warstwa była twardsza, ale cieńsza niż po obróbce na sucho czy z minimalnym smarowaniem.

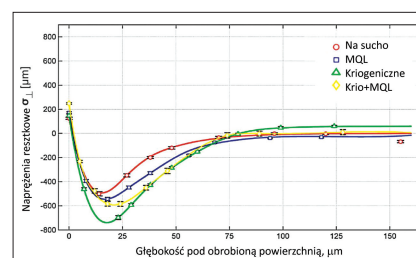
Przykładowe wyniki badania wpływu sposobu chłodzenia na twar-



Rys. 1. Mikrostruktura stopu AZ31B Mg: a) w stanie dostawy, b) po obróbce na sucho z promieniem krawędzi skrawającej  $r_n = 30 \mu\text{m}$ , c) po obróbce z chłodzeniem kriogenicznym  $r_n = 30 \mu\text{m}$ , d) po obróbce z chłodzeniem kriogenicznym  $r_n = 70 \mu\text{m}$



Rys. 2. Porównanie profili twardości warstwy wierzchniej po obróbce Ti6Al4V na sucho, ze smarowaniem minimalnym (MQL) i chłodzeniem kriogenicznym; prędkość skrawania  $v_c = 150 \text{ m/min}$



Rys. 3. Rozkład naprężeń resztkowych prostopadłych do kierunku obróbki Inconelu 718 ( $f = 0,05 \text{ mm/obr}$ ,  $a_p = 0,63 \text{ mm}$ ,  $v_c = 60 \text{ m/min}$ ) z różnymi sposobami chłodzenia

dość warstwy wierzchniej po obróbce Ti-6Al4V przedstawiono na rys. 2. Badania naprężeń resztkowych uzyskanych po obróbce stopu Inconel 718 z chłodzeniem różnymi sposobami wykazały, że chłodzenie kriogeniczne znacznie zwiększa naprężenia ściskające (rys. 3).

Opracował:  
prof. 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.