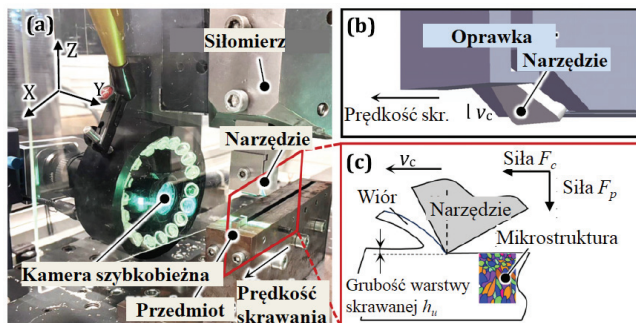


Mechanizm umocnienia warstwy wierzchniej podczas skrawania z ujemnym kątem natarcia stali 17-4PH wytwarzanej addytywnie

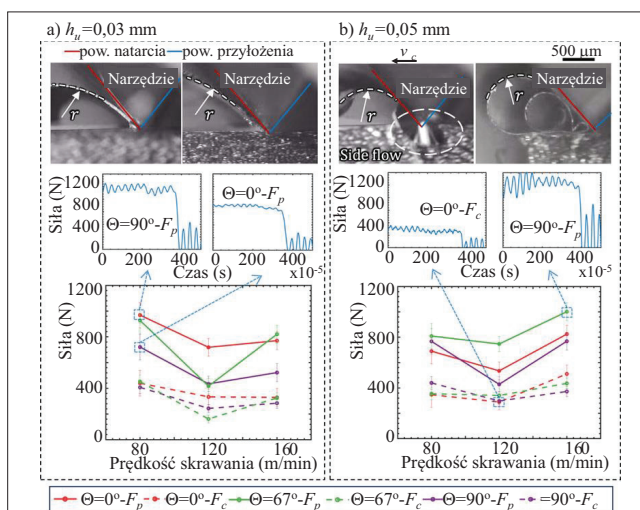
Skrawanie z ujemnym kątem natarcia odgrywa istotną rolę w precyzyjnej obróbce elementów wytwarzanych addytywnie. Przedstawione badania pozwalają lepiej zrozumieć mechanizmy umocnienia warstwy wierzchniej stali 17-4PH wykonanej metodą laserowego spiekania proszkowego (LPBF), ze szczególnym uwzględnieniem wpływu tekstury krystalograficznej i prędkości skrawania.

W pracy przeanalizowano proces skrawania ortogonalnego z ujemnym kątem natarcia $\gamma = -45^\circ$, stosowany w wielu operacjach obróbki kół zębatych, gdzie lokalna kinematyka prowadzi do powstawania efektywnego kąta ujemnego. Badaniom poddano stal 17-4PH wytworzoną metodą LPBF z trzema strategiami skanowania wiązki laserowej, różniącymi się kątem obrotu ścieżek skanowania (0° , 67° i 90°). Metodę badań oraz stanowisko pomiarowe przedstawiono na rys. 1.

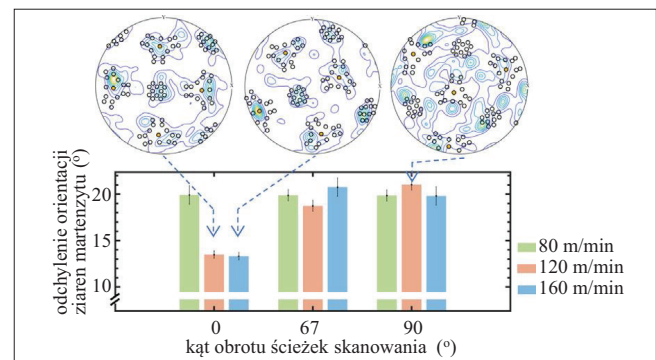
Charakterystyczne dla skrawania z ujemnym kątem natarcia jest to, że siła bierna F_p znacząco przewyższa siłę skrawania F_c , co wynika z geometrii ostrza i sposobu odkształcania materiału. Przykładowe przebiegi sił oraz kształt wióra dla różnych strategii skanowania przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Stanowisko do skrawania ortogonalnego z ujemnym kątem natarcia (a), zbliżenie narzędzia (b), schemat procesu (c)



Rys. 2. Siły skrawania i kształt wióra dla różnych kątów obrotu ścieżek przetapiania (0° , 67° , 90°)



Rys. 3. Deformacja i odchylenie orientacji ziaren martenzytu według relacji Kurdjumova-Sachs

Wykazano, że dominującym mechanizmem umocnienia warstwy wierzchniej jest intensywne rozdrobnienie ziaren, szczególnie widoczne przy wyższych prędkościach skrawania. Zjawisku temu towarzyszy wzrost udziału granic dużego kąta oraz zwiększenie naprężeń własnych. Równocześnie zaobserwowano istotne różnice wynikające z orientacji ziaren – materiał wytworzony przy obrocie ścieżek skanowania 90° wykazywał największą podatność na odkształcenie i silniejszą destrukcję martenzytu, natomiast próbki o obrocie 0° zachowywały większą stabilność mikrostruktury.

Analiza oparta na relacji Kurdjumova-Sachs wskazała, że w warstwie przypowierzchniowej dochodzi do reorientacji ziaren oraz zmian w strukturze martenzytu (rys. 3). Zmiany te świadczą o jednoczesnym działaniu mechanizmów umocnienia granicznego i fazowego.

Badania potwierdzają, że odpowiednio dobrane parametry skrawania oraz właściwa orientacja mikrostruktury mogą prowadzić do korzystnego połączenia umocnienia granicznego i fazowego. Najbardziej stabilną warstwę wierzchnią uzyskano dla kąta obrotu ścieżek przetapiania 0° przy prędkości 120 m/min. Wyniki te mają znaczenie praktyczne dla obróbki precyzyjnej elementów wytwarzanych addytywnie, zwłaszcza lekkich kół zębatych, gdzie trwałość powierzchni odgrywa kluczową rolę.

LITERATURA

T. Bai et al., Towards understanding the surface strengthening mechanism in negative rake angle cutting of additively manufactured stainless steel, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 74 (2025) 77–88, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.04.049>

Opracował: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak