

Obróbka wspomagana wibracjami ultradźwiękowymi stopu invar 36 wytwarzanego metodą przyrostową

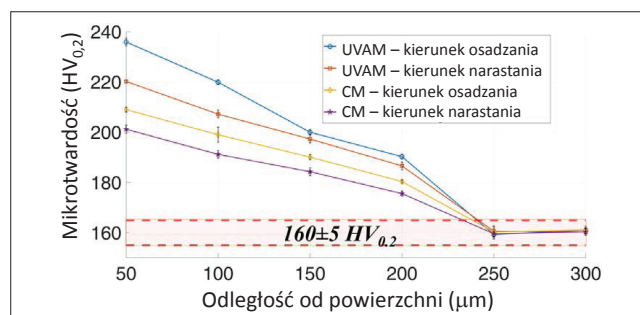
Wytwarzanie przyrostowe z wykorzystaniem łuku elektrycznego oferuje wysoką szybkość osadzania i opłacalność dla invar 36, jednak tworzy szorstkie tekstury powierzchni wymagające konwencjonalnej obróbki skrawaniem jako obróbki wykończeniowej. Tu zastąpiono ją obróbką wspomaganą drganiami ultradźwiękowymi.

W obróbce konwencjonalnej (*Conventional Machining* – CM) zastosowano frezowanie pełną średnicą frezu o przekroju 10 mm (Sandvik R390010A1007L) z dwiema płytkami (Sandvik 390R-070216M-PM1130) ze stałymi parametrami zalecanymi przez producenta: $v_c = 50$ m/min, $f_z = 0,05$ mm/ostrze, $a_p = 1$ mm oraz chłodzeniem MQL 150 ml/h. Do obróbki wspomaganej drganiami ultradźwiękowymi (*Ultrasonic Vibration-Assisted Machining* – UVAM) wykorzystano to samo narzędzie i parametry skrawania, dodając drgania osiowe (oś Z) o częstotliwości 18,587 Hz i amplitudzie 8 μ m.

Na rysunku 1 przedstawiono próbkę z invar 36 w stanie surowym (po wykonaniu przyrostowym) i przygotowaną do prób. Obróbkę prowadzono oboma metodami (CM i UVAM) w obu kierunkach – narastania i osadzania.

W porównaniu do CM dzięki UVAM siły skrawania zmniejszyły się o 28% w kierunku narastania i 30% w kierunku osadzania (rys. 2a), co można przypisać skrawaniu przerywanemu, które zmniejsza zaangażowanie i tarcie między narzędziem, a obrabianym przedmiotem. Po UVAM wartości S_a wynosiły 0,94 μ m w kierunku narastania i 1,15 μ m w kierunku osadzania, w zaś po CM odpowiednio 1,78 μ m i 1,81 μ m (rys. 2b).

Mikrotwardość podpowierzchniowa (rys. 3) malała wraz z głębokością, stabilizując się na poziomie 165 $HV_{0,2}$ na głębokości około 200–250 μ m. Obróbka



Rys. 3. Wyniki pomiarów mikrotwardości podpowierzchniowej

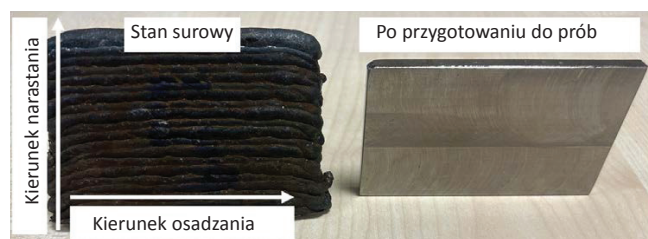
UVAM dała wyższą mikrotwardość podpowierzchniową niż CM, ze średnimi wartościami do około 13% wyższymi w kierunku osadzania i około 9% w kierunku narastania.

Pomiary zużycia ostrza wykazały kolejną przewagę UVAM nad CM. W CM w kierunku narastania występowało zużycie adhezyjne, złuszczenie powłoki, tworzenie się narostu i mikrostopione wióry, zaś w kierunku osadzania zużycie adhezyjne, złuszczenie powłoki i mikrostopione wióry, ale z przylegającymi warstwami materiału zastępującymi narost. W przypadku UVAM występowało przede wszystkim zużycie adhezyjne i tworzenie mikrostopionych wiórów. Mechanizmy te były jednak bardziej widoczne w kierunku osadzania. Przerywany charakter obróbki UVAM był bardzo skuteczny w minimalizowaniu obciążenia termicznego i tarcia, zmniejszając stopień zużycia w porównaniu do CM.

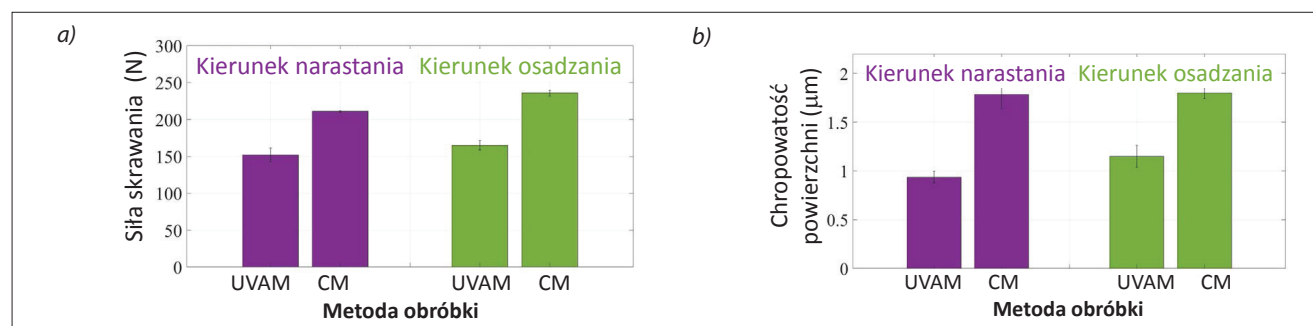
LITERATURA

Namtu R.H. et al., *Ultrasonic vibration-assisted machining of invar 36 alloy manufactured by wire arc additive manufacturing*. "CIRP Annals – Manufacturing Technology", 74 (2025): 87–91, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.04.070>

Opracował: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak



Rys. 1. Próbkę w stanie surowym (wytworzona przyrostowo z wykorzystaniem łuku elektrycznego) i przygotowana do prób



Rys. 2. Siły skrawania (a) i chropowatość powierzchni (b) po obróbce wspomaganej drganiami ultradźwiękowymi (UVAM) i konwencjonalnej (CM)