

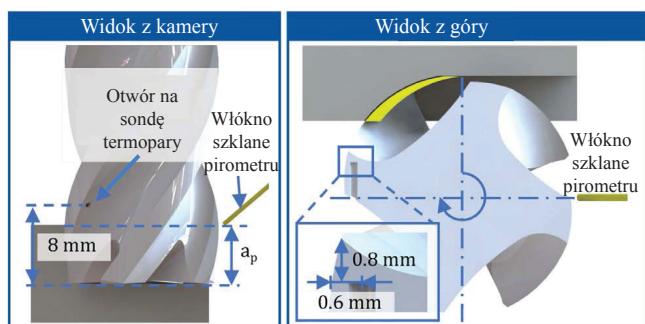
Nowe podejście do analizy temperatury frezu z uwzględnieniem cieczy chłodząco-smarującej

Ciepło powstające podczas obróbki skrawaniem powoduje zużycie i deformacje narzędzia oraz wpływa negatywnie na jakość obrabianego materiału. W artykule przedstawiono nową metodę analizy temperatury narzędzia podczas frezowania z uwzględnieniem działania cieczy chłodzącej, łącząc pomiary eksperymentalne z symulacjami numerycznymi w modelu wieloskalowym, umożliwiającym szybkie prognozowanie sił skrawania i strumienia ciepłego w narzędziu.

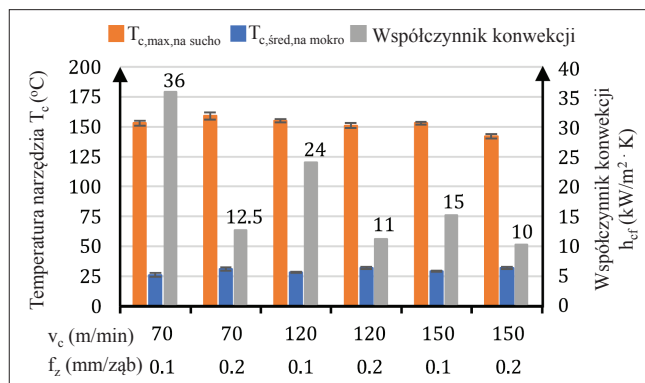
Do walidacji opracowano stanowisko doświadczalne z kamerą termowizyjną, pirometrem i termoparą umieszczoną w uchwycie narzędzia SPIKE (rys. 1). Układ pomiarowy pozwalał rejestrować zmiany temperatury przy frezowaniu stali AISI 1045 zarówno na sucho, jak i z chłodzeniem zalewowym. Zastosowano trzy prędkości skrawania (70, 120 i 150 m/min) oraz dwa posuwy (0,1 i 0,2 mm/ząb).

Opracowany model wieloskalowy łączył symulację zaangażowania ostrza z lokalnymi symulacjami ortogonalnego skrawania. Do estymacji zależności nieliniowych pomiędzy parametrami procesu a transferem ciepła zastosowano sieć neuronową o trzech warstwach ukrytych, co pozwoliło uzyskać wysoki współczynnik determinacji $R^2 = 0,963$ przy krótkim czasie obliczeń.

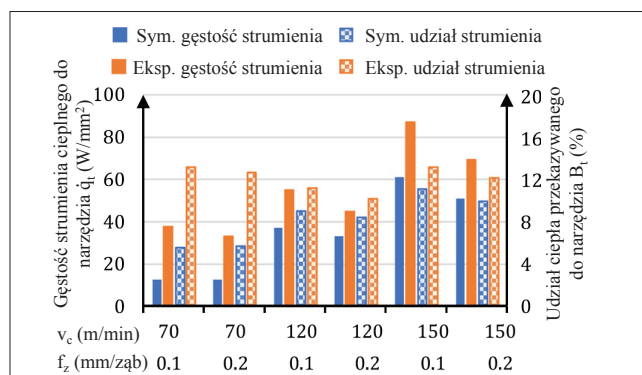
Porównanie wyników pomiarów z symulacjami wykazało, że przy wzroście prędkości i posuwu tem-



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia czujników temperatury



Rys. 2. Porównanie temperatur narzędzia przy skrawaniu suchym i z chłodzeniem oraz odpowiadający współczynnik konwekcji



Rys. 3. Porównanie gęstości strumienia ciepła i udziału ciepła przekazywanego do narzędzia uzyskanego z pomiarów i z modelu wieloskalowego

peratura narzędzia nie zwiększa się istotnie, mimo większego wydzielania ciepła. Większa objętość wiórów ułatwia bowiem odprowadzanie energii cieplnej. Na rys. 2 przedstawiono różnice temperatur między skrawaniem suchym i z chłodzeniem. Widać, że ciecz chłodząca skutecznie stabilizuje temperaturę narzędzia, jednak przy większych prędkościach jej efektywność maleje z powodu ograniczonego dopływu do strefy skrawania.

Na rys. 3 zaprezentowano porównanie strumienia ciepła uzyskanych z pomiarów i symulacji. Model nieco zaniżał ilość ciepła wchodzącego do narzędzia, szczególnie przy niskich prędkościach, co przypisano niedoskonałościom odwzorowania kontaktu cieplnego między wiórem a frezem. Mimo to ogólna zgodność wyników potwierdziła użyteczność opracowanej metody do szybkiego i wiarygodnego szacowania temperatury oraz efektywności chłodzenia.

Zaproponowane podejście może stanowić podstawę do optymalizacji parametrów obróbki w celu ograniczenia zużycia narzędzia i zwiększenia trwałości procesu.

LITERATURA

T. Bergs and H. Liu, A novel approach to milling cutter temperature analysis with cutting fluid consideration, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 74 (2025), 119–122, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.04.020>

Opracował: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak