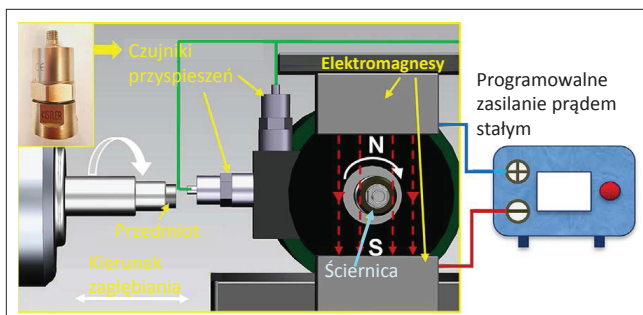


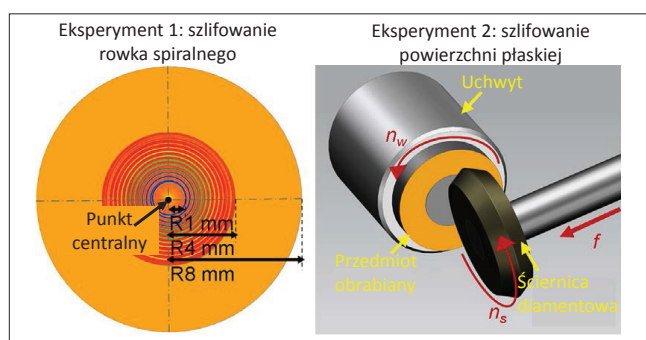
Szlifowanie ultraprecyzyjne monokryształu stopu niklu wspomagane polem elektromagnetycznym

Monokryształowe nadstopy niklu są kluczowymi materiałami dla turbin lotniczych i energetycznych, ze względu na ich wyjątkową wytrzymałość i odporność cieplną. Jednocześnie brak granic ziaren powoduje, że należą do materiałów ekstremalnie trudnoobrabialnych. Zastosowanie zewnętrznego pola elektromagnetycznego podczas szlifowania ultraprecyzyjnego może znacząco poprawić jakość powierzchni i stabilność procesu.

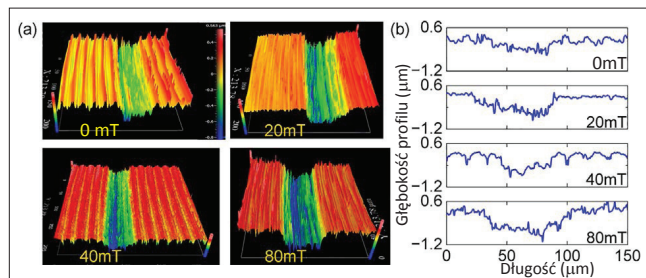
Badania przeprowadzono na materiale DD486 – monokryształowym nadstopie niklu czwartej generacji – z wykorzystaniem szlifierki ultraprecyzyjnej Moore Nanotech 450 UPL, wyposażonej w specjalnie zaprojektowany układ elektromagnesów. Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 1. Wytworzone przez dwa elektromagnesy równoległe pole magnetyczne, o regulowanej indukcji magnetycznej do 80 mT (mini Tesla), obejmowało strefę styku ściernicy diamentowej z powierzchnią próbki. W doświadczeniach analizowano zarówno proces szlifowania rowka spiralnego, jak i szlifowanie płaskiej powierzchni (rys. 2).



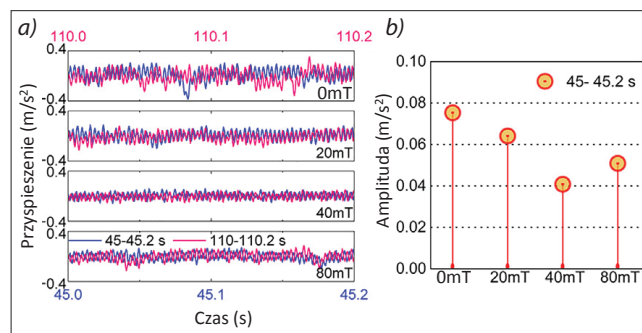
Rys. 1. Schemat stanowiska do szlifowania ultraprecyzyjnego z polem elektromagnetycznym



Rys. 2. Schematyczny widok szlifowania rowków spiralnych i powierzchni płaskich



Rys. 3. Topografia rowka (a) i przekrój poprzeczny rowków 3,5 mm od punktu centralnego przy różnych wartościach indukcji magnetycznej (0–80 mT) (b)



Rys. 4. Sygnały drgań ściernicy (a) oraz amplituda częstotliwości podstawowej w funkcji natężenia strumienia magnetycznego (b)

Na rys. 3 pokazano morfologię rowków uzyskaną przy różnych wartościach natężenia strumienia magnetycznego – widoczny jest systematyczny wzrost ich głębokości i gładkości wraz z natężeniem strumienia do 40 mT.

Analiza drgań ściernicy przy szlifowaniu płaskim (rys. 4) wykazała, że amplituda podstawowej częstotliwości (333 Hz) zmniejszyła się o 45,8% przy 20 mT i aż o 67,6% przy 80 mT w porównaniu ze szlifowaniem bez pola. Tłumienie to wynika z tzw. efektu tłumienia elektromagnetycznego, polegającego na wytwarzaniu w przewodzącym kole szlifierskim prądów wirowych, które generują przeciwne pole magnetyczne i stabilizują jego ruch.

Zmniejszenie drgań przełożyło się bezpośrednio na poprawę jakości powierzchni – chropowatości S_a i S_z zmniejszyły się odpowiednio o 71% i 68% przy optymalnym natężeniu strumienia 40 mT. Jednocześnie nadmierne wzmocnienie indukcji (80 mT) prowadziło do pojawiania się pojedynczych rys, co wskazuje na istnienie wartości granicznej natężenia zapewniającego optymalne warunki obróbki.

Podsumowując: zastosowanie pola elektromagnetycznego w procesie ultraprecyzyjnego szlifowania monokryształowych nadstopów niklu pozwala jednocześnie zwiększyć efektywność usuwania materiału i poprawić jakość powierzchni.

LITERATURA

T. Zhao, S. To, T. Yin, X. Jiang, Electromagnetic field-assisted ultra-precision grinding of single-crystal Ni-based superalloy, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 74 (2025) 429–433, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.04.049>

Opracował: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak