

Pomiar temperatury za pomocą termopary naturalnej podczas szlifowania ściernicą jednowarstwową

Temperature measurement using natural thermocouple during grinding with monolayer grinding wheel

ANNA BAZAN
ANDRZEJ KAWALEC
ROBERT BABIARZ
KRZYSZTOF KRUPA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.109>

Zaprezentowano przykład pomiaru temperatury podczas szlifowania stali wysokostopowej ściernicami z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną. Wykorzystano termoparę naturalną, której termoelementami były materiał szlifowany oraz taśma niklowa. Zaproponowano metodę wyznaczania charakterystyki termopary naturalnej.

SŁOWA KLUCZOWE: temperatura szlifowania, pomiar temperatury, termopara naturalna, ściernice jednowarstwowe z cBN

Presented is an example of temperature measurement during grinding of high-alloy steels with electroplated cBN grinding wheel. The grinding material and the nickel tape formed a natural thermocouple used for the measurements. A method for gaining the thermal characteristic of natural thermocouple was proposed.

KEYWORDS: grinding temperature, temperature measurement, natural thermocouple, monolayer cBN grinding wheels

Wysokie temperatury występujące w procesie szlifowania mogą prowadzić do uszkodzenia powierzchni obrabianej w postaci np. przypałów szlifierskich, pęknięć, przemian fazowych w warstwie wierzchniej, zmniejszenia twardości i wytrzymałości zmęczeniowej materiału. Ponadto, ze względu na rozszerzalność cieplną, podczas szlifowania mogą się zmieniać wymiary przedmiotu obrabianego (PO), co jest przyczyną powstawania błędów wymiarowo-kształtowych [1]. Stąd tak istotne są badania termicznych aspektów procesu szlifowania.

Pomiar temperatury w procesie szlifowania, a przede wszystkim interpretacja jego wyników nie są łatwymi zagadnieniami. Trudności w rejestracji sygnału mogą wynikać m.in. z kinematyki procesu oraz ograniczonego dostępu do przestrzeni badawczej [2]. Problemy z analizą danych pomiarowych spowodowane są:

- występowaniem bardzo dużych gradientów temperatury w czasie i przestrzeni w otoczeniu powierzchni styku ściernicy i PO,
- obszarem pomiarowym znacznie większym niż pojedyncze źródło ciepła wokół krawędzi skrawających,
- trudnym do określenia wpływem chłodziwa na wynik pojedynczego pomiaru (w jednym przejściu ściernicy) i jego zmianami w czasie [1, 2].

Z tego względu stosunkowo niewiele prac podejmuje ten temat w kontekście szlifowania ściernicami jednowarstwowymi [3–6]. Znacznie częściej zwraca się uwagę jedynie na skutki zbyt wysokiej temperatury w strefie szlifowania w postaci przypałów szlifierskich, które mogą być objawem zużycia ściernicy [7, 8].

W pracy podjęto próbę wykorzystania termopary naturalnej do wyznaczania temperatur podczas szlifowania

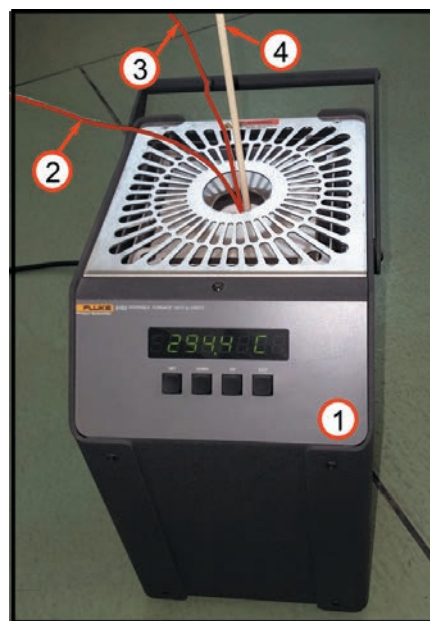
stali wysokostopowej ściernicą z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną.

Wzorcowanie termopary naturalnej

Jednym z termoelementów termopary naturalnej jest szlifowany materiał. Bardzo często nie jest to materiał wykorzystywany do budowy termopar przemysłowych, a zatem istnieje potrzeba określenia charakterystyki stosowanej termopary naturalnej.

W przypadku termopary wykorzystywanej na stanowisku badawczym termoelementami były taśma niklowa oraz szlifowany materiał, tj. Pyrowear 53 po obróbce cieplno-chemicznej (OCC).

Pierwsze próby wzorcowania przeprowadzono za pomocą pieca do wzorcowania termopar Fluke 9150. Poza odczytem z wyświetlacza pieca informacji o temperaturze referencyjnej dostarczała termopara typu J (rys. 1).



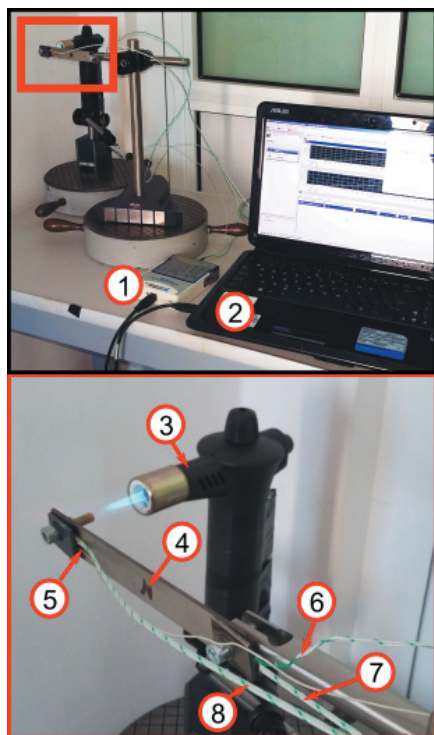
Rys. 1. Piec do wzorcowania termopar (1) z umieszczoną w nim termoparą wzorcowaną (przewody 2 i 3) oraz termoparą referencyjną (4)

Ze względu na małą przestrzeń pieca elementy termopary ze stali Pyrowear 53 przygotowano w postaci drutu o przekroju kwadratowym i boku ok. 1 mm, natomiast element niklowy miał postać drutu okrągłego o średnicy 1 mm. Druty stalowe po nawęglaniu stawały się bardzo kruche i często ulegały złamaniu podczas dalszej obróbki cieplnej, transportu oraz łączenia z drugim elementem termopary. Ostatecznie wykorzystywane elementy z Pyrowear 53 miały długość ok. 10 cm, dlatego przedłużono je za pomocą drutu kompensacyjnego, który wyprowadzał sygnał do karty pomiarowej. Element niklowy był na tyle

* Mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl), dr hab. inż. Andrzej Kawalec (ak@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarz (robertb@prz.edu.pl), dr inż. Krzysztof Krupa (krupa@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

długi, że jego wolny koniec można było bezpośrednio podłączyć do karty pomiarowej. Małe wymiary elementów stalowych powodowały ich szybkie nagrzewanie się na całej długości, a tym samym konieczność zmiany konfiguracji stanowiska do wzorcowania, aby możliwe było zachowanie w przybliżeniu stałej temperatury zimnego końca termopary.

Drugą, ostateczną koncepcję stanowiska do wzorcowania termopary naturalnej przedstawiono na rys. 2.

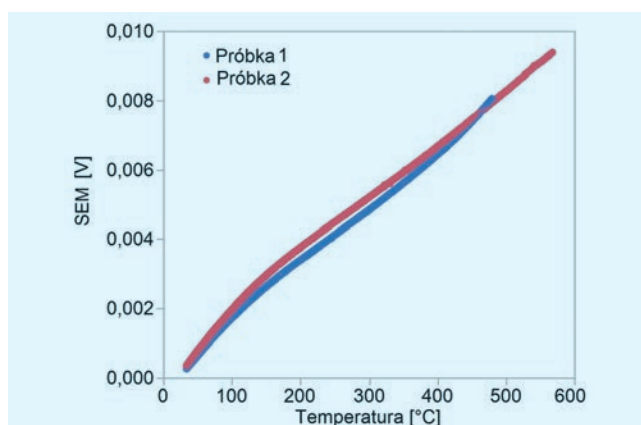


Rys. 2. Stanowisko do wzorcowania termopary naturalnej: karta pomiarowa (1), komputer PC (2), palnik gazowy (3), stalowy element termopary (4), nikłowy element termopary (5), przewód kompensacyjny odprowadzony od zimnego końca elementu stalowego (6), termopara mierząca temperaturę zimnego końca elementu stalowego (7), termopara referencyjna w stosunku do wzorcowanej (8)

Element termopary ze stali Pyrowear 53 był przygotowany w formie płytki o wymiarach $150 \times 18 \times 3$ mm (4). Do końców płytki dokręcono mniejsze elementy z tego samego materiału. Na gorącym końcu płytki z Pyrowear 53, który był podgrzewany za pomocą palnika gazowego (3), pomiędzy elementy stalowe zaciśnięto drut nikłowy (5) (termoelement wzorcowanej termopary) oraz referencyjną termoparę typu K (8). Na zimnym końcu płytki stalowej zaciśnięto drut kompensacyjny odprowadzający sygnał z płytki stalowej (6) oraz termoparę typu K, mierzącą temperaturę zimnego końca płytki stalowej (7). Sygnały ze wszystkich termoelementów wprowadzono do karty pomiarowej NI-9211 i zarejestrowano za pomocą oprogramowania LabVIEW SignalExpress.

Aby zapewnić większą wiarygodność badań, dwukrotnie powtórzono eksperyment. Proces nagrzewania starano się prowadzić możliwie szybko, aby zminimalizować zmianę temperatury zimnego końca. W trakcie badań nad wzorcowaniem termopary w wyniku nagrzewania płytki stalowej temperatura zimnego końca zmieniła się maksymalnie o 32°C , co stanowiło 5,5% maksymalnej zarejestrowanej temperatury.

Analizę wyników wzorcowania prowadzono dla fazy chłodzenia, które polegało na pozostawieniu próbek w spokojnym powietrzu. Wyniki obydwu powtórzeń przedstawiono na rys. 3.



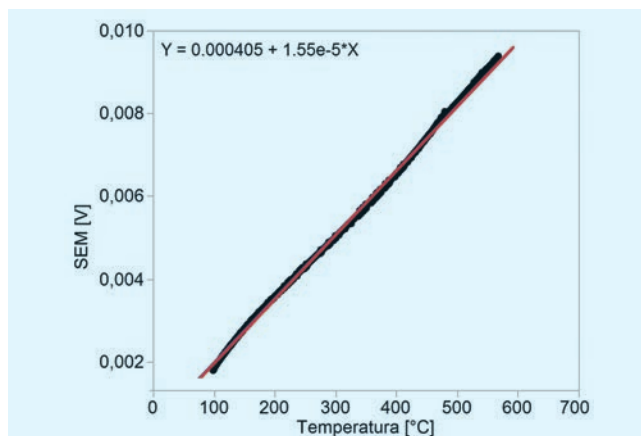
Rys. 3. Wartości siły elektromotorycznej SEM w zależności od temperatury w dwóch próbkach reprezentujących termoparę naturalną

W celu wyznaczenia charakterystyki termopary po uśrednieniu wartości z dwóch prób przeprowadzono analizę regresji.

Na rys. 3 widać, że powyżej temperatury ok. 100°C zależność siły elektromotorycznej (SEM) od temperatury jest liniowa. Wówczas charakterystykę termopary można przybliżyć wzorem:

$$T [^\circ\text{C}] = 0,000405 + 1,55e-5 \cdot SEM [V]$$

Wyniki analizy regresji przedstawiono na wykresie (rys. 4).



Rys. 4. Linia regresji opisująca charakterystykę termopary

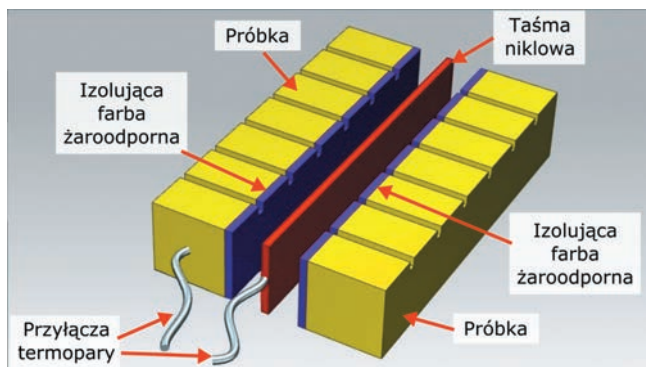
Otrzymane liniowe równania regresji można uznać za istotne dla poziomu istotności $\alpha < 0,0001$. Współczynnik korelacji r między danymi reprezentującymi zmienną zależną oraz niezależną spełniał w przypadku obu próbek warunek $r \geq 0,99$.

Pomiar temperatury na stanowisku badawczym

Procesy szlifowania stali wysokostopowej Pyrowear 53 w stanie utwardzonym prowadzono na szlifierce Fortis firmy Michael Deckel z wykorzystaniem ściernicy jednowarstwowej ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, ze ścierniwem z cBN o numerze ziarna B35. Ściernica miała kształt stożkowy o maksymalnej średnicy $d_s = 100$ mm i kącie stożka 140° .

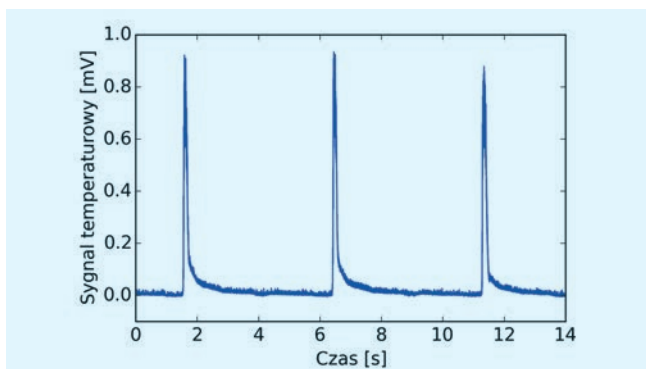
Prędkość obrotowa ściernicy wynosiła $n = 6000$ obr/min, prędkość posuwu $v_w = 1400$ mm/min, głębokość szlifowania $a_e = 30$ μm . Czas szlifowania w jednym przejściu ściernicy wynosił ok. 1,74 s.

Do pomiaru temperatury wykorzystano termoparę naturalną, której schemat przedstawiono na rys. 5. Elementami termopary były materiał obrabiany oraz taśma niklowa. Aby odizolować je od siebie, boki szlifowanych próbek, które przylegały do taśmy Ni, pokryto farbą izolującą. Ponieważ sygnał temperatury okazał się za słaby, w celu odróżnienia go od szumu pomiarowego w torze pomiarowym umieszczono wzmacniacz sygnału $\times 100$. Sygnał temperatury po wzmacnieniu przekazywany był do karty NI USB-6215. Rejestrację danych pomiarowych w postaci plików TDMS prowadzono w programie LabVIEW Signal-Express. Do obróbki plików TDMS wykorzystano środowisko programistyczne Python.

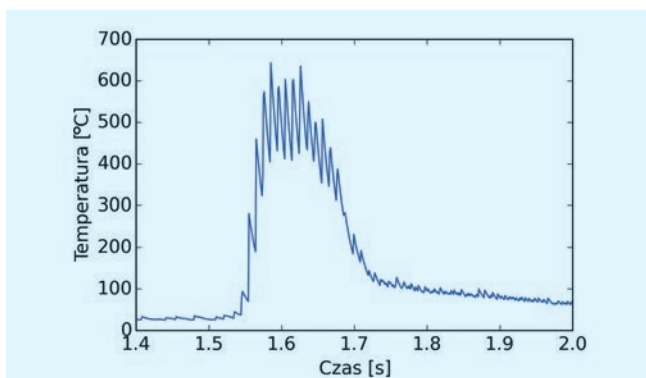


Rys. 5. Schemat budowy termopary naturalnej użytej w badaniach

Przykład sygnału zarejestrowanego dla trzech kolejnych przejść ściernicy przedstawiono na rys. 6. Widoczny jest intensywny wzrost wartości sygnału temperatury przy zwarcu elementów termopary i jego spadek po rozwarciu.



Rys. 6. Przykład zarejestrowanego sygnału pochodzącego z termopary naturalnej dla kolejnych trzech przejść ściernicy.

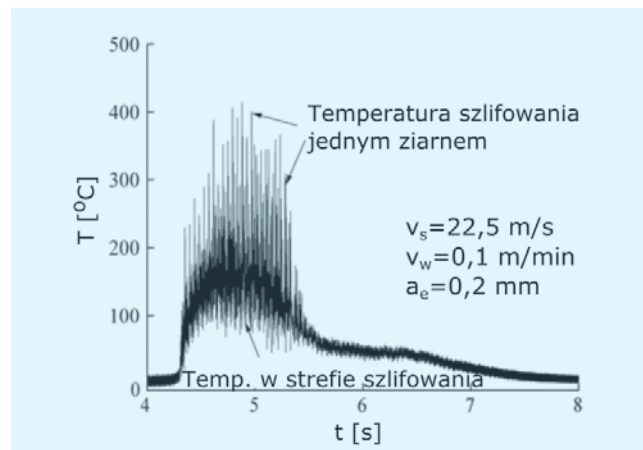


Rys. 7. Wartości temperatury podczas pojedynczego przejścia ściernicy

Na rys. 7 przedstawiono fragment rejestrowanego sygnału po przeliczeniu jednostek na temperaturę w stopniach Celsjusza, z wykorzystaniem wzoru wyznaczone-

go podczas wzorcowania termopary. Można zauważyć, że pojawiające się piki, o wartości ok. 600°C, mają taką samą częstotliwość jak obracająca się ściernica.

Podobnych obserwacji dokonał autor [3, 4] (rys. 8), który interpretował maksymalną wartość pików jako temperaturę szlifowania jednym ziarnem, która w cytowanych badaniach wynosiła 500÷600°C.



Rys. 8. Przykładowy zarejestrowany sygnał temperatury podczas szlifowania z posuwem pełzającym ściernicą jednowarstwową z nasypem z CBN [4]

Podsumowanie

Zaproponowana metoda wyznaczania charakterystyki termopary jest obarczona błędem wynikającym z niezachowania stałej temperatury zimnego końca termopary. Można go zniwelować, jeśli umieści się zimne końce termoelementów w zbiornikach z wodą i lodem, ale to skomplikuje budowę stanowiska. Ze względu na stosunkowo niewielką zmianę temperatury zimnego końca płytki stalowej w trakcie próby wzorcowania termopary (ok. 5,5%) autorzy artykułu uznali przyjętą metodykę za wystarczającą do określenia przybliżonej temperatury podczas szlifowania.

Zarówno charakter zarejestrowanego sygnału temperatury, jak i rząd jego wartości zgadzają się z danymi otrzymanymi w innych badaniach [3, 4, 6], co sugeruje poprawność wyników badań.

LITERATURA

1. Malkin S., Guo C. "Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives". Industrial Press, 2008.
2. Pruti F. "Development of Composite Grinding Wheels for Hard and Soft Metals", praca doktorska. London: University of East London, 2011.
3. Ding W. i in. "Wear behavior and mechanism of single-layer brazed CBN abrasive wheels during creep-feed grinding cast nickel-based superalloy". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 51, 1 (2010): s. 541÷550.
4. Ding W. i in. "Grindability and surface integrity of cast nickel-based superalloy in creep feed grinding with brazed CBN abrasive wheels". *Journal of Aeronautics*. 23, 4 (2010): s. 501÷510.
5. Deja M. „Szlifowanie jednostronne z wykorzystaniem ściernic o spoiwie galwanicznym”. XXXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. *Mechanik*. 87, 8–9 (2015): CD, s. 84÷89.
6. Zhao Z. i in. "An investigation on high-efficiency profile grinding of directional solidified nickel-based superalloys DZ125 with electroplated CBN wheel". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 83, 1 (2016): s. 1÷10.
7. Aspinwall D., Soo S., Curtis D., Mantle A. "Profiled superabrasive grinding wheels for the machining of a nickel based superalloy". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 56, 1 (2007): s. 335÷338.
8. Tawakoli T., Rabiey M., Wegener K. "The effect of special structured electroplated CBN wheel in dry grinding of 100Cr6". *Advances in Abrasive Technology XII, 76, Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, 2009.