

WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW SKRAWANIA NA TEMPERATURĘ W STREFIE OBRÓBKI PODCZAS FREZOWANIA

Piotr ZGÓRNIAK, Wojciech STACHURSKI, Dariusz OSTROWSKI,
Bogdan KRUSZYŃSKI¹

1. WSTĘP

Powszechnie wiadomo, że wysokie temperatury powstające w procesie skrawania wpływają niekorzystnie na trwałość narzędzi skrawających, właściwości warstwy wierzchniej oraz dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów obrabianych. W przypadku narzędzia niekorzystny wpływ temperatury objawia się przez spadek skrawności wynikający ze zmniejszenia twardości i trwałości ostrza. Oddziaływanie wysokiej temperatury na przedmiot obrabiany może skutkować np. pojawianiem się i wzrostem niekorzystnych naprężeń własnych w warstwie wierzchniej lub zmianami wymiarów liniowych zachodzących podczas stygnięcia i powodujących błędy wykonania.

Na temperaturę skrawania oraz jej rozkład w strefie tworzenia wióra wpływają takie czynniki, jak: właściwości materiału obrabianego i narzędziowego, parametry skrawania, stereometria ostrza oraz rodzaj i sposób chłodzenia. W szeregu publikacji [2, 3, 4, 5, 7] opisana jest kolejność wpływu parametrów skrawania na wartość temperatury skrawania. Najsilniejszy wpływ na temperaturę skrawania (temperaturę ostrza) ma prędkość skrawania v_c , natomiast wpływ posuwu f jest zdecydowanie mniejszy niż prędkości. Wpływ głębokości skrawania a_p na temperaturę ostrza może być z reguły pominięty. W pracy [3] opisano wpływ parametrów skrawania na temperaturę ostrza t przy pomocy zależności doświadczalnej:

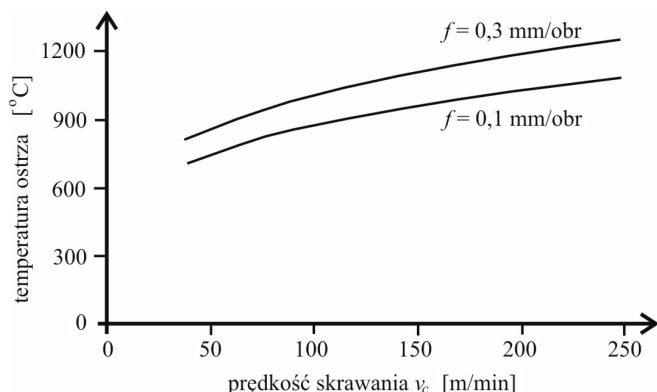
$$t = C_t \cdot f^{y_t} \cdot v_c^{z_t} \quad (1)$$

gdzie: C_t , y_t , z_t to stałe wyznaczone doświadczalnie. Na przykład dla toczenia stali niskowęglowej narzędziem z węglików spiekanych otrzymano:

$$t = 410 \cdot f^{0,13} \cdot v_c^{0,23} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (2)$$

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i TBM, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź.

a wyniki przedstawiono na rysunku 1. Porównanie wykładników potęgowych we wzorze (2) potwierdza opisany wcześniej wpływ parametrów skrawania na temperaturę: największy prędkości i mniejszy posuwu.



Rys. 1. Wpływ prędkości skrawania i posuwu na temperaturę ostrza z węglików spiekanych [3]

Do wyznaczania temperatury skrawania stosowane są metody analityczne, numeryczne oraz doświadczalne. W metodach doświadczalnych bardzo popularnym sposobem monitorowania temperatury jest metoda termowizyjna wykorzystująca zjawisko promieniowania podczerwonego. Jednak stosowanie termowizji w praktyce nie jest łatwe. Ze względu na dużą czułość tej metody oraz wpływ czynników środowiskowych na dokładność wyznaczenia wartości temperatury za pomocą kamery, interpretacja termogramów wymaga dużej wiedzy i doświadczenia z wielu dziedzin [8].

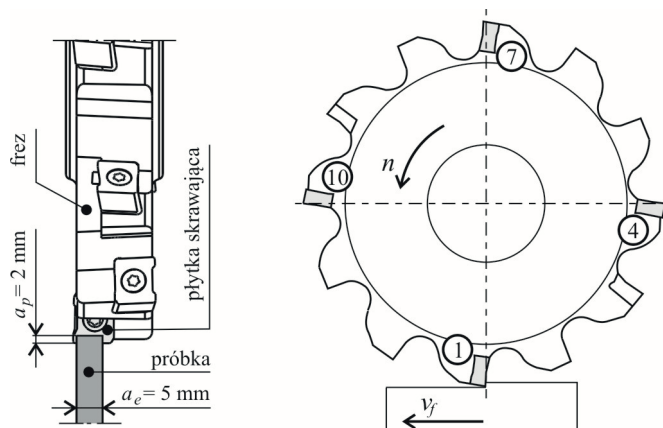
W Instytucie Obrabiarek i TBM Politechniki Łódzkiej przeprowadzono próby pomiarów metodą termowizyjną podczas frezowania. Badania miały na celu opracowanie metodyki pomiarów temperatury w strefie obróbki wraz z jej wyznaczeniem oraz określenie wpływu wybranych parametrów skrawania na wartość temperatury skrawania.

2. WARUNKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

W trakcie badań frezowano próbki o wymiarach 70x70x5 wykonane ze stali 41Cr4 w stanie normalizowanym. Frezowanie metodą przeciwbieżną przeprowadzono na konwencjonalnej frezarce poziomej.

Jako narzędzia użyto frez trzpieniowy 335.18-125.17.40-4N firmy SECO [6]. Jest to frez trzystronny, posiadający 12 ostrzy skrawających o łącznej szerokości skrawania $a_e = 17$ mm. Z uwagi na dużo mniejszą szerokość próbek (5 mm) podczas obróbki wykorzystywano 4 ostrza rozmieszczone na obwodzie narzędzia

co 90° . Zastosowano płytki skrawające LNKT060504PPN-E05 wykonane z węglików spiekanych F40M z obszaru zastosowania P40 z pokryciem przeciwozryciowym. Promień naroża płytki $r_e = 0,4$ mm, zaś kąt natarcia $\gamma = 15^\circ$ [6]. Sposób ustawienia frezu względem materiału obrabianego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Widok na strefę skrawania

Obróbkę prowadzono bez udziału cieczy chłodząco-smarującej. Parametry skrawania zostały dobrane na podstawie danych producenta [6] oraz praktyki warsztatowej, a następnie zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry skrawania

Nr próby	Głębokość skrawania a_p [mm]	Prędkość obrotowa n [obr/min]	Prędkość skrawania v_c [m/min]	Prędkość posuwu v_f [mm/min]
1	2	140	55	42
2				52
3				69
4		175	69	42
5				52
6				69
7		220	86	42
8				52
9				69

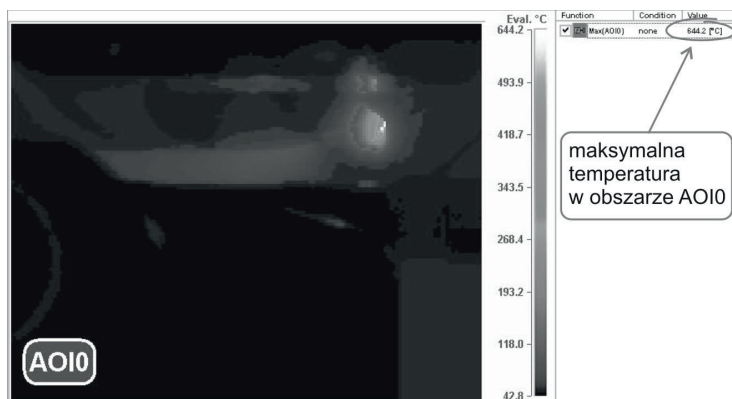
Wykonano 9 prób, różniących się wartościami parametrów skrawania. Wybrano trzy prędkości obrotowe narzędzia n i dla każdej z nich przeprowadzono frezowanie z trzema prędkościami posuwu f_i przy stałej głębokości skrawania $a_p = 2$ mm. Każda próba była rejestrowana przy użyciu kamery termowizyjnej Flir SC6000HS.

3. METODYKA POMIARÓW TERMOWIZYJNYCH

W trakcie pomiarów wykonano rejestrację zdjęć termicznych stosując metodę dynamicznego rozszerzenia zakresu pomiarowego kamery termowizyjnej Flir SC6000HS [9]. Zabieg ten umożliwił ocenę generowanej temperatury w zakresie 360 °C, szerszym niż standardowy, wynoszącym około 120 °C. Ze względu na rozszerzony zakres pomiarowy z wykorzystaniem trzech podzakresów temperaturowych, wynikowa częstotliwość zdjęć termicznych została ograniczona do 100 Hz. Ograniczenie to spowodowane jest ilością danych zapisywanych w pamięci RAM komputera oraz możliwościami zapisu sekwencji zdjęć termicznych na jego dysk twardy.

Zdjęcia wykonywano z rozdzielczością 160 x 128 pikseli. Z uwagi na to, że na wartość rejestrowanej temperatury ma wpływ wiele czynników, w tym m.in. zmiana emisyjności przedmiotu obrabianego wraz ze wzrostem temperatury, w opisywanych badaniach przyjęto średnią wartość współczynnika emisyjności $\varepsilon = 0,14$. Wartość tego współczynnika uzyskano na podstawie tabeli emisyjności [1]. To założenie spowodowało, że temperatura otoczenia rejestrowana w próbach skrawania przyjmowała wartość około 45 °C. W rzeczywistości temperatura otoczenia miała wartość mniejszą, jednak przyjęcie odpowiadającej jej emisyjności ($\varepsilon = 0,92$) spowodowałoby rejestrację zaniżonych wartości temperatur dotyczących materiału obrabianego.

Do rejestracji oraz oceny zdjęć termicznych wykorzystano program IR Control, którego interfejs graficzny pokazano na rys. 3. Do oceny przyjęto wartość maksymalnej temperatury występującej w obszarze AOI0.



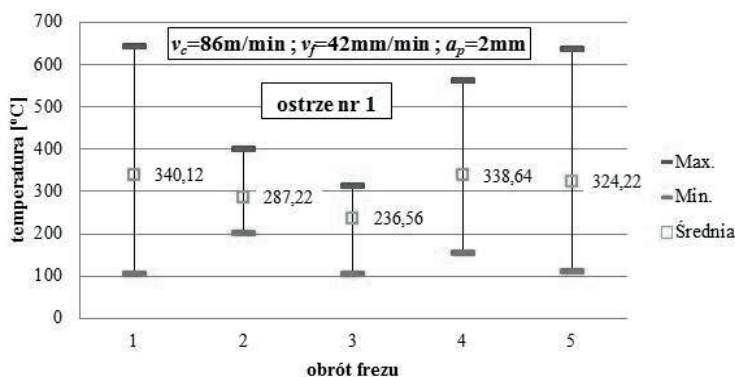
Rys. 3. Interfejs graficzny programu IR Control

Proces frezowania rejestrowano przy maksymalnym poziomie zapisu, wykorzystując 6000 klatek zapisywanych z częstotliwością wynikową 100 Hz. Ponieważ, w niektórych przypadkach, liczba 6000 klatek była niewystarczająca do rejestracji całego procesu skrawania, do oceny temperatury wybrano jedynie

środkowy obszar każdej próbki, obejmujący 5 pełnych obrotów frezu. W trakcie tych pięciu obrotów aktywnie skrawały 4 ostrza ponumerowane w kolejności: 1, 4, 7, 10 (rys. 2). Każde ostrze, od momentu wejścia w materiał do wyjścia z niego, było rejestrowane na 5 klatkach, co przy 5 obrotach frezu daje 25 zdjęć termicznych obszaru skrawania dla jednego ostrza. Wartości te posłużyły w dalszej kolejności do wyznaczenia temperatury skrawania dla całego narzędzia.

4. WYNIKI BADAŃ

Na rys. 4 zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów temperatury wyznaczonych dla ostrza nr 1. Wykres wykonano dla próby nr 7, dla której: $v_c = 86$ m/min, $v_f = 42$ mm/min, $a_p = 2$ mm.



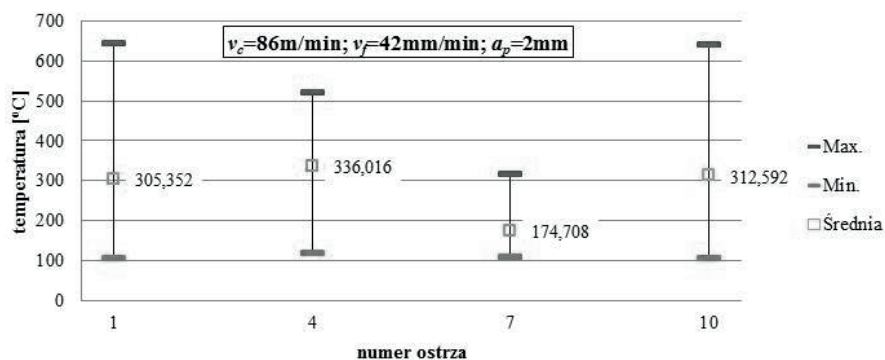
Rys. 4. Temperatura rejestrowana dla ostrza nr 1 dla pięciu obrotów frezu (próba nr 7)

Warto zauważyć, że średnie temperatury przypadające na jeden obrót frezu wahają się w granicach ok. 237–340 °C. Wynika to z najprawdopodobniej z częstotliwości wykonywania zdjęć termicznych, niejednorodnych właściwości materiału obrabianego, zjawisk tribologicznych w strefie tworzenia się wióra.

W analogiczny sposób dokonano analizy dla pozostałych trzech ostrzy, a następnie wykonano zestawienie zbiorcze obejmujące temperatury wszystkich czterech ostrzy frezu. Rezultat tego zestawienia przedstawiono w formie wykresu na rys. 5.

Wartość temperatury dla dowolnego ostrza to średnia temperatura z pięciu zarejestrowanych klatek. I tak, np. dla ostrza nr 1 to średnia z pięciu wartości podanych na rys. 4.

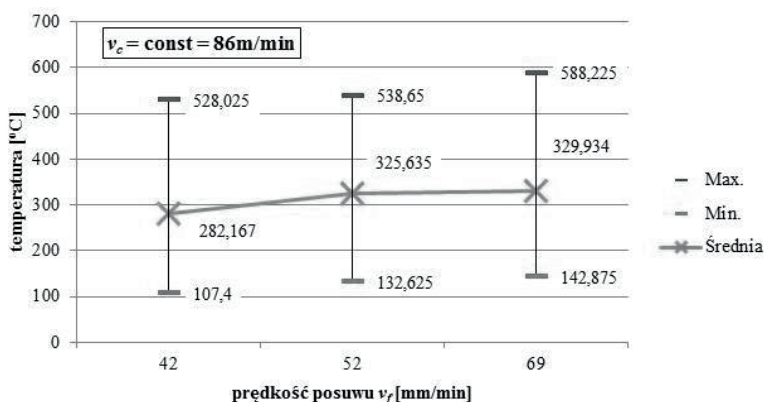
Warto zauważyć, że średnie temperatury przypadające na jedno ostrze frezu wahają się w granicach ok. 175–336 °C. Zdaniem autorów jest to związane z nierównomiernym wysunięciem płytek ostrzowych z kaset oprawki, co w konsekwencji powoduje usuwanie warstwy skrawanej z różnymi głębokościami



Rys. 5. Temperatura rejestrowana dla 4 ostrzy frezu (próba nr 7)

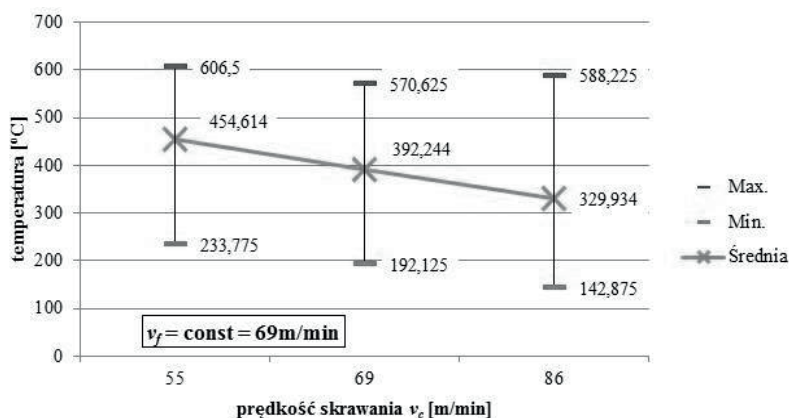
skrawania a_p . Niższa temperatura pojawia się, gdy ostrze skrawa na głębokość mniejszą od maksymalnej.

Na rys. 6 przedstawiono wykres wpływu zmian prędkości posuwu na wartość temperatury skrawania. Wykres wykonano dla próby nr 7, 8, 9 (tabela 1), przy stałej prędkości skrawania $v_c = 86$ m/min.

Rys. 6. Temperatura skrawania dla stałej prędkości skrawania $v_c = 86$ m/min

Jak wynika z rys. 6 wzrost prędkości posuwu w badanych granicach, powoduje wzrost temperatury skrawania, co jest zgodne z danymi podawanymi w literaturze. Warto zauważyć, że zwiększenie prędkości posuwu o 65% spowodowało zwiększenie temperatury o zaledwie 16%, co wskazuje na niewielki, mniej niż proporcjonalny, wpływ tego parametru na temperaturę procesu. Analogiczne wyniki uzyskano dla pozostałych sześciu prób.

Na rys. 7 przedstawiono wykres wpływu zmian prędkości skrawania na wartość temperatury skrawania. Wykres wykonano dla próby nr 3, 6, 9 (tabela 1), przy stałej prędkości posuwu $v_f = 69$ mm/min.



Rys. 7. Temperatura skrawania dla stałej prędkości posuwu $v_f = 69$ mm/min

Jak wynika z rys. 7 wzrost prędkości skrawania (o 56%) spowodował zmniejszenie średniej temperatury (o 28%). Właściwość ta jest niezgodna z teorią opisaną w rozdziale 1. Niezgodność ta, zdaniem autorów, wynika z faktu, że podczas frezowania kontakt ostrza z przedmiotem obrabianym ma charakter przerywany. Im większa prędkość skrawania, przy stałej v_f , tym mniejsza objętość warstwy skrawanej, co w konsekwencji powoduje niższą temperaturę w strefie skrawania.

5. WNIOSKI

Na podstawie prezentowanych powyżej wyników można sformułować następujące wnioski:

- 1) Zastosowanie kamery termowizyjnej umożliwi dokonywanie analiz wpływu parametrów skrawania na wartość temperatury skrawania.
- 2) Zastosowanie metodyki zaproponowanej przez autorów, umożliwi dokonywanie dokładnych analiz temperaturowych dla poszczególnych ostrzy skrawających. Zawężenie czasu rejestracji temperatury do obszaru skrawania w warunkach ustalonych poprzez eliminację fazy nagrzewania i wyjścia narzędzia umożliwia bowiem zwiększenie częstotliwości wykonywania zdjęć termicznych. Na podstawie dotychczasowych badań [4] stwierdzono, że fazy wejścia oraz wyjścia narzędzia w przedmiot obrabiany powodują znaczące rozbieżności uzyskiwanych wyników końcowych. Autorzy zaproponowali analizę procesu skrawania od wejścia ostrza w przedmiot obrabiany wraz z etapem formowania się wióra. Im większa częstotliwość tym większa liczba położań ostrza skrawającego będącego w kontakcie z przedmiotem obrabianym. To z kolei powinno zwiększyć dokładność uzyskanych wyników.
- 3) Przyszłe badania powinny uwzględniać zmienność współczynnika emisyjności wraz ze wzrostem temperatury w różnych obszarach strefy skrawania.

Planuje się uwzględnienie zmian wartości współczynnika emisyjności przedmiotu obrabianego, narzędzia i otoczenia.

- 4) Wzrost prędkości posuwu w badanym zakresie, powoduje wzrost średniej temperatury skrawania.
- 5) Wzrost prędkości skrawania w badanym zakresie, powoduje spadek średniej temperatury skrawania.
- 6) W przyszłych badaniach należy rozszerzyć zakres badanych parametrów skrawania, uwzględniając metodę HSM.

LITERATURA

- [1] BRAMSON M.A., *Infrared Radiation, A Handbook for Applications*, Nowy Jork, Plenum Press, 1967.
- [2] GRZESIK W., *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*, Warszawa, WNT, 2010.
- [3] JEMIELNIAK K., *Obróbka skrawaniem*, Warszawa, Oficyna wydawnicza PW, 1998.
- [4] KUCZMASZEWSKI J., ZAGÓRSKI I., *Badania masy, temperatury zapłonu oraz temperatury wiórów podczas skrawania wybranych stopów magnezu*, W: *Mechanik*, nr 10, 2012, 824-828.
- [5] NIESŁONY P., *Modelowanie przepływu ciepła i rozkładu temperatury w strefie skrawania dla ostrzy z twardymi powłokami ochronnymi*, Opole, Oficyna wydawnicza PO, 2008.
- [6] SECO, Katalog główny, www.secotools.com.
- [7] STORCH B., *Podstawy obróbki skrawaniem*, Koszalin, Wydawnictwo uczelniane PK, 2001.
- [8] WIĘCEK B., DE MEY G., *Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania*, Warszawa, Wydawnictwo PAK, 2011.
- [9] ZGÓRNIAK P., GRDULSKA A., *Investigation of temperature distribution during milling process of AZ91HP magnesium alloys*, W: *Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 16, nr 1, 2012, 33-40.

INFLUENCE OF SELECTED CUTTING PARAMETERS ON THE TEMPERATURE IN THE CUTTING ZONE DURING MILLING

In the paper results of maximum temperatures generated in the cutting zone during milling are presented. Investigation covers evaluation of cutting and feed velocity and their influence on cutting temperature values. In the article method for evaluation which dramatically decrease time of IR frames data mining and time of obtaining finished results are proposed. Analysis of temperature variation for selected cutting edges and temperature variation for different rotations for selected cutting edge have been made. Finally influence of cutting parameters on temperature in the cutting zone has been described.

Key words: machining, IR measurements, cutting temperature