

Wojciech MIESZCZAK¹

MODELOWANIE MES ZAKŁÓCEŃ PRZEPIYWU CIEPŁA PRZY POMIARACH TEMPERATURY SKRAWANIA METODĄ TERMOELEMENTU OBCEGO

Metoda termoelementu obcego wymaga wykonania otworu w narzędziu skrawającym. Jest to zatem metoda inwazyjna, która ma wpływ na postać narzędzia i tym samym na przepływ ciepła w ostrzu narzędzia. Artykuł przedstawia modelowanie MES, które celem jest sprawdzenie wpływu obecności tego otworu na wartości temperatur ostrza podczas skrawania.

1. WSTĘP

Zagadnienia przepływu ciepła w procesie skrawania należą do kluczowych zagadnień w obróbce ubytkowej. Ciepło, które powstaje przy skrawaniu pochodzi od energii mechanicznej dostarczonej głównie przez napęd ruchu głównego. Zamiana energii mechanicznej na ciepłą zachodzi w wyniku odkształceń plastycznych naddatku i sił tarcia na powierzchniach natarcia i przyłożenia. Udział tych czynników jest zależny głównie od rodzaju materiału obrabianego. W przypadku obróbki materiałów plastycznych udział odkształceń plastycznych wynosi 70-80%. Reszta ciepła pochodzi od pracy tarcia. W przypadku obróbki materiałów kruchych decydujące znaczenie ma tarcie. Ogólnie można stwierdzić, że ilość ciepła powstałego w procesie skrawania zależy od właściwości cieplnych i mechanicznych materiału obrabianego, właściwości termofizycznych narzędzia, jego geometrii, oraz parametrów obróbki. Największy wpływ wśród parametrów mają kolejno prędkość skrawania (wpływająca na prędkość odkształceń w strefie tworzenia wióra), posuw i głębokość skrawania. Pojawiające się ciepło przepływa w największej ilości do wióra, w mniejszym stopniu do narzędzia i przedmiotu obrabianego. Pewien strumień również skierowany jest do atmosfery, przy czym jego udział zależy od sposobu chłodzenia - dla skrawania na sucho jest najmniejszy, a największy dla przypadków stosowania chłodzenia obfitego. Bilans cieplny dla procesu skrawania jest następujący [1]:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_w + Q_n + Q_m + Q_a \quad (1)$$

gdzie:

Q_1 - praca odkształceń plastycznych,

¹ Katedra Budowy Maszyn, Politechnika Śląska w Gliwicach

- Q_2 - praca tarcia na powierzchni natarcia,
- Q_3 - praca tarcia na powierzchni przyłożenia,
- Q_w - ciepło unoszone przez wiór,
- Q_n - ciepło przejęte przez narzędzie,
- Q_m - ciepło przejęte przez materiał,
- Q_a - ciepło przekazane do atmosfery.

Z praktycznego punktu widzenia największym problemem jest ciepło przejmowane przez narzędzie, a także w niektórych przypadkach ciepło przepływające do materiału obrabianego. W pierwszym przypadku problem dotyczy temperatury skrawania, która ma decydujące znaczenie w kontekście zużycia ostrza, natomiast w drugim przypadku problemem jaki może wystąpić jest paczenie przedmiotu w wyniku ogrzania go w procesie obróbki. Dlatego zagadnienia przepływu ciepła oraz temperatura skrawania stają się w naturalny sposób obiektem zainteresowania. Techniki pomiaru temperatury skrawania stanowią dosyć szeroki wachlarz. Są w nim techniki bezdotykowe oparte na promieniowaniu (termowizja) oraz techniki oparte na przewodzeniu [2]. W tej drugiej grupie są:

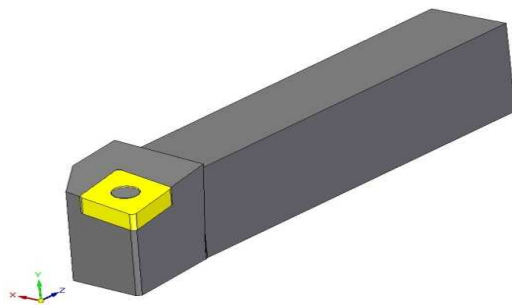
- pomiary oparte na efektach strukturalnych (zmiany metalurgiczne materiału przedmiotu obrabianego i materiału ostrza oraz termokolory),
- metody oparte na zjawisku termoelektrycznym: termopary naturalne w odmianach jednożyłowej i dwunożyłowej oraz termopary stosowane w metodzie termoelementu obcego.

Metoda termoelementu obcego posiada zalety jak:- brak konieczności każdorazowego wzorcowania elementów termoogniwa, punktowy pomiar temperatury, ale posiada również wady - pomiar temperatury pod powierzchnią natarcia (a więc brak możliwości dokładnego pomiaru temperatury skrawania) oraz inwazyjność. Ta ostatnia cecha oznacza często wykonanie otworu w narzędziu skrawającym, co pokazano przykładowo w [3]. Poza technicznymi problemami z tym związanymi obecność otworu w narzędziu skrawającym, a także obecność termopary oznacza zakłócenie przepływu ciepła w ostrzu narzędzia. Błędy pomiaru można zmniejszać przez uwzględnienie właściwości termofizycznych drutów termopary oraz izolacji w otworze, ale jest to zadanie uciążliwe [4]. Niektórzy badacze gorący koniec termopary umieszczają pomiędzy płytką skrawającą a płytką podporową, co znacznie zwiększa odległość do miejsca występowania temperatury skrawania [5].

Celem prezentowanego artykułu jest przedstawienie wyników modelowania MES, w którym starano się uchwycić wpływ obecności otworu dla termopary na przepływ ciepła w narzędziu.

2. MODELOWANIE PRZEPŁYWU CIEPŁA W METODZIE TERMOELEMENTU OBCEGO

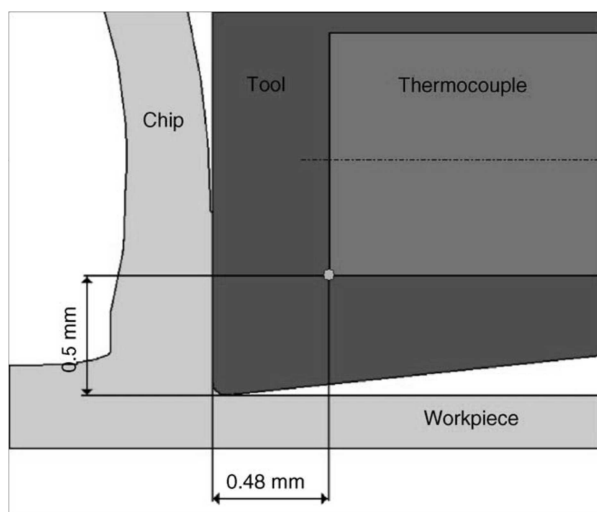
Symulacje przeprowadzono dla noża tokarskiego firmy Sandvik o oznaczeniu PCLNR3225P19 o wymiarach przekroju trzonka części chwytowej 32·25mm (rys. 1) Model pobrano wprost ze strony producenta [13].



Rys. 1. Nóż tokarski PCLNR3225P19 firmy Sandvik
Fig. 1. Sandvik turning tool PCLNR3225P19

Narzędzie to jest złożone z dwóch podstawowych elementów: płytki skrawającej z węgla spiekanego oraz części chwytowej wykonanej ze stali.

Pozycja otworu na termoparę oraz jego średnica została zamodelowana na podstawie [6], rys. 2. Średnica otworu (nie pokazana na rysunku) wynosi 1,2mm.

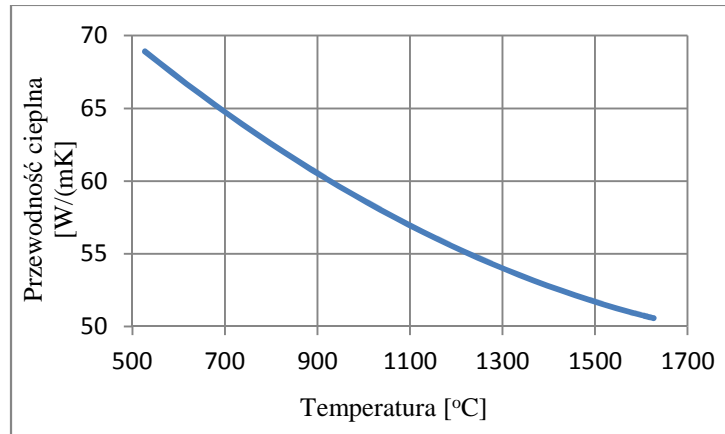


Rys. 2. Pozycja termopary w płytce
Fig. 2. Thermocouple positioning into the tool body

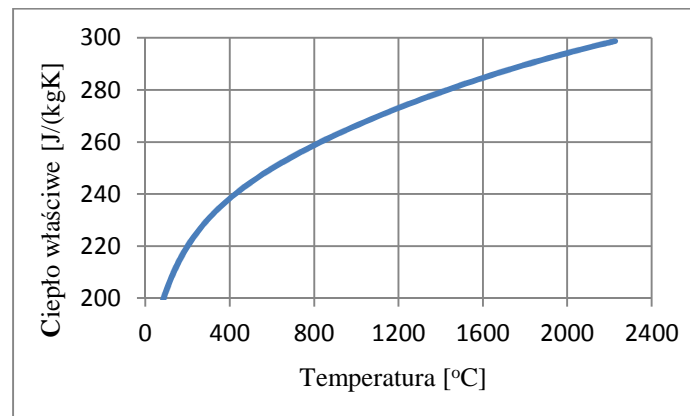
2.1. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWE

Określenie właściwości cieplnych jest fundamentalnym zagadnieniem w rozpatrywanym zagadnieniu. Płytkę została zamodelowana jako węgiel wolframu WC, natomiast część chwytowa jako stal 45.

Właściwości termofizyczne obu materiałów zostały zaczerpnięte z [7]. Przewodność cieplna węgla WC została określona na podstawie rys. 3 a ciepło właściwe na podstawie rys. 4. Gęstość wynosi 15770kg/m^3 .

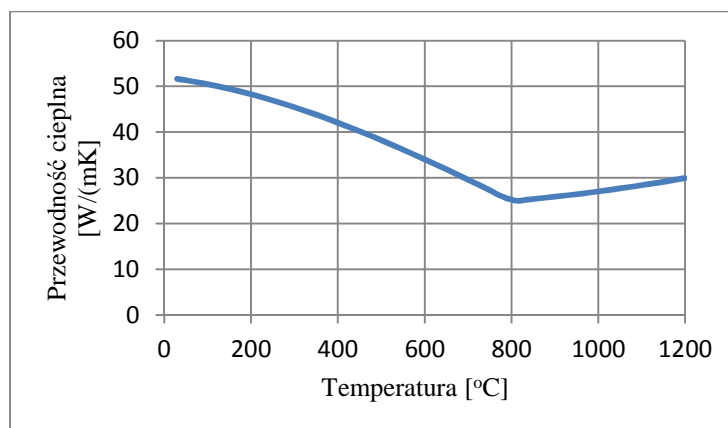


Rys. 3. Przewodność cieplna węgliku WC
Fig. 3. Thermal conductivity of WC carbide

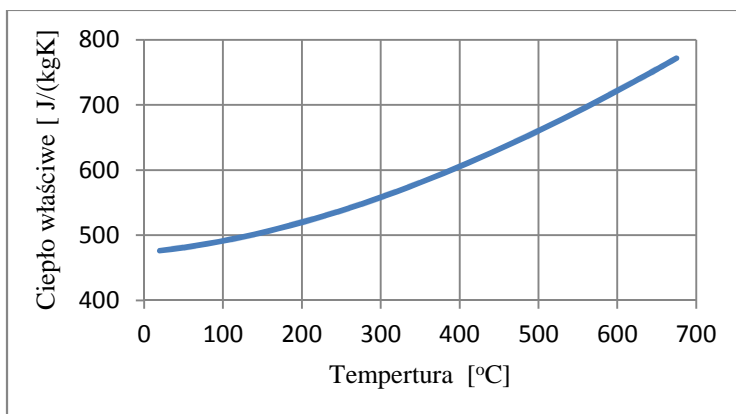


Rys. 4. Ciepło właściwe węgliku WC
Fig. 4. Specific heat of WC carbide

Właściwości materiału oprawki (stal 45) określono również na podstawie [7]. Przewodność cieplna stali 45, a także jej ciepło właściwe pokazano odpowiednio na rysunkach 5 i 6. Gęstość przyjęto równą 7850kg/m^3 .



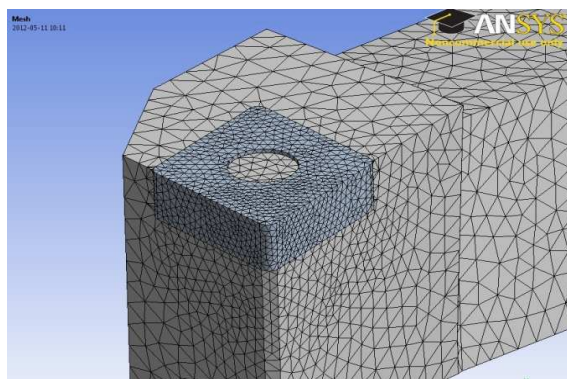
Rys. 5. Przewodność cieplna stali 45
Fig. 5. Thermal conductivity of steel C45



Rys. 6. Ciepło właściwe stali 45
Fig. 6. Specific heat of steel C45

2.2. SIATKA MES

W modelu zastosowano elementy czterowęzłowe. Liczba elementów w całym modelu wynosi 71 775 oraz 105 392 węzły. Siatka została zagęszczona w pobliżu naroża poprzez narzucenie średniego rozmiaru elementów w sferach, których środek jest umieszczony na narożu ostrza. Wewnątrz sfery o promieniu 10mm narzucono średnią wielkość elementu równą 0,8mm. W zakresie średnic sfery pomiędzy 10mm a 20mm średnia wielkość elementu wynosi 1,5mm. W pozostałej części modelu wielkość elementu jest równa 3mm. Widok modelu MES pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Model MES
Fig. 7. FEM model

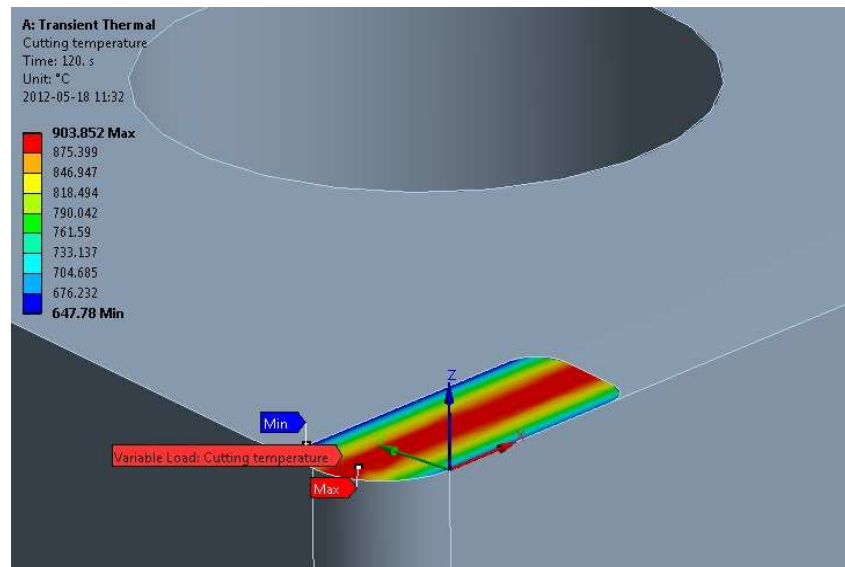
2.3. WARUNKI BRZEGOWE

2.3.1. TEMPERATURA SKRAWANIA

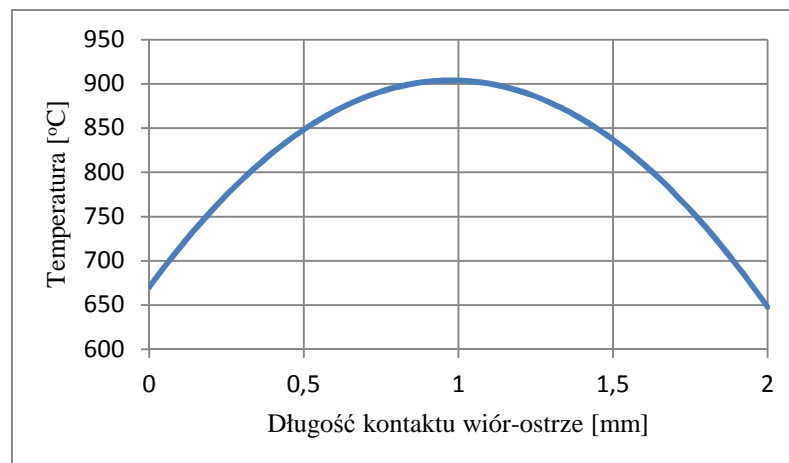
Ciepło skrawania w strefie tworzenia wióra i w narzędziu tworzy niejednorodne, niestacjonarne pole temperatury. Jest to najistotniejszy warunek brzegowy

w prezentowanym artykule. Przyjęcie założenia, że temperatura na powierzchni natarcia ustabilizowała się upraszcza zagadnienie, ponieważ wtedy pole temperatury może być traktowane jako stacjonarne. Uwzględniając powyższe uwagi oraz dane z [2], rozkład temperatury na powierzchni płytki skrawającej jaki został zastosowany w obliczeniach jest taki jak zademonstrowano na rys. 8, gdzie pokazano trójwymiarowy widok pola temperatury na powierzchni przyłożenia (rys. 8a) oraz wykres temperatury w kontakcie między wiórem i powierzchnią natarcia (rys. 8b).

a)



b)



Rys. 8. Pole temperatury na powierzchni natarcia:

a) widok 3D, b) wykres temperatury w kontakcie między wiórem i powierzchnią natarcia

Fig. 8. Temperature field on rake face: a) 3D view, b) temperature chart between chip and rake face

W modelowaniu uwzględniono wymianę ciepła przez promieniowanie i unoszenie ciepła.

2.3.2. PROMIENIOWANIE

Promieniowanie obliczono dla tych powierzchni płytki i części chwytowej, które nie są w kontakcie z innymi ciałami. Obliczenia promieniowania dokonano w oparciu o prawo Stefana-Boltzmana, na podstawie którego gęstość emisji własnej e ciała szarego określa się przez [8]:

$$e = \varepsilon C_c \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (2)$$

gdzie:

C_c - stała równa $5,67\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

ε –emisyjność powierzchni,

T - temperatura [K].

Wartość emisyjności dla płytki przyjęto 0,45 [6], natomiast dla utlenionej powierzchni części chwytowej 0,8 [9].

2.3.3. UNOSZENIE CIEPŁA - ŚREDNI WSPÓŁCZYNNIK PRZEWODZENIA DLA UNOSZENIA CIEPŁA

W obliczeniach przyjęto warunki swobodnego unoszenia ciepła z powierzchni narzędzia. Tok obliczeń przeprowadzono w oparciu o [10]. Wykorzystano w nim elementy teorii podobieństwa. Dlatego w obliczeniach pojawiają się liczby: Prandtla i Grashoffa. Liczby te umożliwiają opis warunków unoszenia ciepła. Liczba Prandtla obejmuje wpływ właściwości płynu będącego w kontakcie z rozpatrywaną powierzchnią, natomiast liczba Grashoffa dotyczy pola prędkości przy swobodnym unoszeniu ciepła [8]. Można również stwierdzić, że liczba Prandtla jest miarą stosunku przenoszenia ilości ruchu w płynie lepkiem do ilości ciepła w płynie, zaś liczba Grashoffa stanowi miarę stosunku sił wyporu do sił lepkości.

Liczba Prandtla jest obliczana ze wzoru:

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (3)$$

gdzie:

ν - współczynnik lepkości kinematycznej [m^2/s],

a - współczynnik wyrównania temperatury:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (4)$$

przy czym:

ρ - gęstość [kg/m^3],

c - ciepło właściwe [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$].

Liczba Prandtla jest wyznaczana dla temperatury T_f (jest to średnia temperatura z temperatury powierzchni i temperatury otoczenia). Na podstawie [11] określono liczbę Pr dla dwóch przypadków, tj. kiedy powierzchnia ma temperaturę 50°C oraz 200°C . Wartości te uzyskano na podstawie wstępnej analizy przepływu ciepła, którą wykonano metodą MES. Dla suchego powietrza i temperatury powierzchni noża 50°C liczba $Pr = 0,700$ [11], natomiast dla temperatury powierzchni 200°C $Pr = 0,687$.

Liczba Grashoffa:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} \quad (5)$$

gdzie:

g - przyspieszenia ziemskie [m/s^2],

β - współczynnik rozszerzalności termicznej [$1/\text{K}$], w przypadku omywania powierzchni noża suchym powietrzem:

$$\beta = \frac{1}{273 + (T_1 + T_u)/2} \quad (6)$$

przy czym:

T_1 - temperatura powierzchni,

T_u - temperatura otoczenia,

$\Delta T = T_1 - T_u$

l - charakterystyczny wymiar liniowy [m].

Współczynnik przewodzenia ciepła będący podstawą do utworzenia krzywej unoszenia ciepła jest zależny od iloczynu ($Pr \cdot Gr$). Uwaga: w celu skrócenia obliczeń wymiary przekroju trzonka noża ze względu na niewielkie i zbliżone jego wymiary przyjęto jako równe i wynoszące $0,03\text{m}$.

Dla temperatury powierzchni 50°C jest:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot (50 - 20) \cdot 0,03^3}{16^2 \cdot 10^{-12} \cdot 308} = 100777 \quad (7)$$

natomiast dla 200°C :

$$Gr = \frac{9,81 \cdot (200 - 20) \cdot 0,03^3}{24^2 \cdot 10^{-12} \cdot 383} = 216114 \quad (8)$$

Iloczyn ($Pr \cdot Gr$) wynosi dla temperatury 50°C :

$$(Pr \cdot Gr) = 100777 \cdot 0,700 \cong 7 \cdot 10^4 \quad (9)$$

natomiast dla 200°C :

$$(Pr \cdot Gr) = 216114 * 0,687 \cong 1,5 \cdot 10^5 \quad (10)$$

Na podstawie iloczynu $(Pr \cdot Gr)$ w oparciu o [10] określono współczynniki przewodzenia ciepła α_k . Okazuje się, że dla obu zakresów temperatury współczynniki są jednakowe. Dla powierzchni pionowych jest to:

$$\alpha_k = 1,43 \left[\frac{T_1 - T_u}{l} \right]^{0,25} [W/(m^2K)] \quad (11)$$

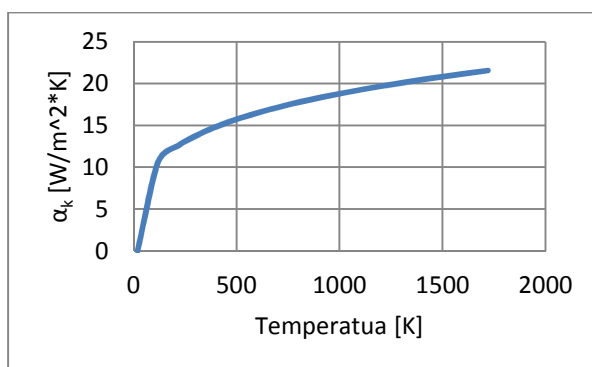
Dla powierzchni poziomych górnych:

$$\alpha_k = 1,3 \left[\frac{T_1 - T_u}{l} \right]^{0,25} [W/(m^2K)] \quad (12)$$

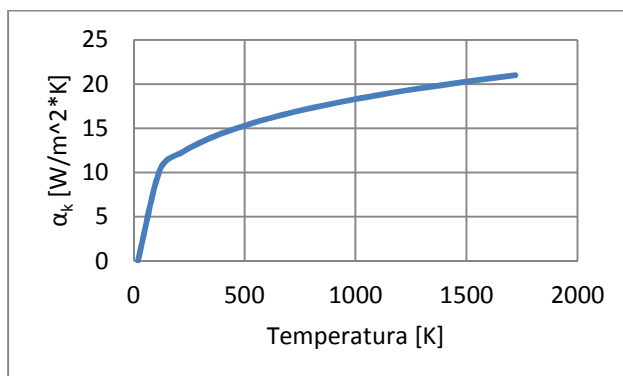
Dla powierzchni poziomych dolnych:

$$\alpha_k = 0,46 \left[\frac{T_1 - T_u}{l^2} \right]^{0,2} [W/(m^2K)] \quad (13)$$

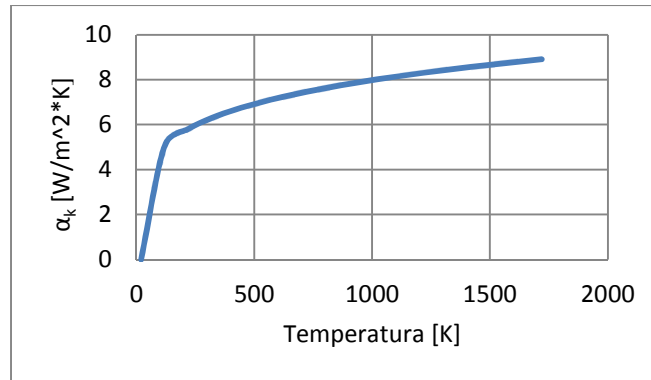
Krzywe wymiany ciepła poprzez unoszenie pokazano na rysunkach 9- 11.



Rys. 9. Krzywa unoszenia ciepła dla bocznych powierzchni części chwytowej noża
Fig. 9. Convection graph for the flank surfaces of toolholder



Rys. 10. Krzywa unoszenia ciepła dla powierzchni poziomej górnej części chwytowej noża
Fig. 10. Convection graph for the top surface of toolholder



Rys. 11. Krzywa unoszenia ciepła powierzchni poziomej dolnej części chwytowej noża
Fig. 11. Convection graph for the bottom surface of toolholder

2.4. POŁĄCZENIA STYKOWE

Oprawka poprzez śruby mocujące dociskana jest to powierzchni imaka. Wzór na opór przepływu ciepła R w styku dwóch ciał zaczerpnięto z [10]:

$$\frac{1}{R} = 6,7 \left[\frac{\lambda_o}{10^{-6}(R_{z1} + R_{z2})} + 928 \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \left(\frac{p}{\sigma_r} K \right)^{0,86} \right] [m^2 K/W] \quad (14)$$

gdzie:

p - nacisk pomiędzy ciałami [Pa],

σ_r - granica wytrzymałości na rozciąganie [Pa], dla stali 45 za [12] przyjęto 600MPa,

$\lambda_o, \lambda_1, \lambda_2$ - współczynniki przewodzenia ciepła odpowiednio dla medium pomiędzy ciałami (tutaj powietrza) oraz ciała pierwszego i drugiego [W/(mK)],

λ_o dla powietrza wynosi 0,0265W/(mK) w temperaturze nieco wyższej niż temperatura otoczenia [8].

Założono, że $\lambda_1 = \lambda_2$ co oznacza, że współczynnik przewodzenia ciepła jest taki sam dla śrub mocujących, imaka i części chwytowej noża. Za [7] przyjęto te wartości równe 50W/(mK).

K - współczynnik zależny od wartości sumy chropowatości ($R_{z1}+R_{z2}$) ciał w kontakcie;

dla $R_{z1}+R_{z2} \leq 10 \mu m$

$$K = \frac{15}{R_{z1}+R_{z2}} \quad (15)$$

$$\text{dla } R_{z1}+R_{z2} \in (10 \div 30) \quad K = [30/(R_{z1} + R_{z2})]^{0,33} \quad (16)$$

$$\text{dla } R_{z1}+R_{z2} \geq 3K = 1 \quad (17)$$

Pomiary chropowatości powierzchni wykonano przy pomocy profilografometru "Surtronic 3+". Wynik uzyskany dla części chwytowej $R_z = 3,6 \mu m$. Założono, że czoło śrub mocujących ma taką samą chropowatość. Wtedy współczynnik K jest równy:

$$K = \frac{15}{2 \cdot 3,6} = 2,08 \quad (18)$$

Największe przybliżenia są związane z naciskami p w kontakcie. Ich określenia dokonano w oparciu o moment dokręcenia śrub mocujących nóż i przy pominięciu reakcji od składowych siła skrawania. Przy użyciu klucza dynamometrycznego określono przybliżoną wartość momentu dokręcenia narzędzia. Wartość ta wynosi około 40Nm. Uwzględniając typowe warunki tarcia w połączeniu gwintowym określono siłę jaką śruba dociska narzędzie. Wynosi ona 27kN. Dla śrub mocujących M12 średnica powierzchni kontaktu wynosi ok. 10mm. Wtedy nacisk p wynosi 343MPa. Zastosowanie trzech śrub mocujących sprawia, że nóż jest dociskany do dolnej powierzchni siłą 8kN. Po obliczeniu powierzchni jaką opiera się nóż o powierzchnię imaka tj. 3100mm^2 otrzymany nacisk na dolnej powierzchni noża p wynosi 26,1MPa.

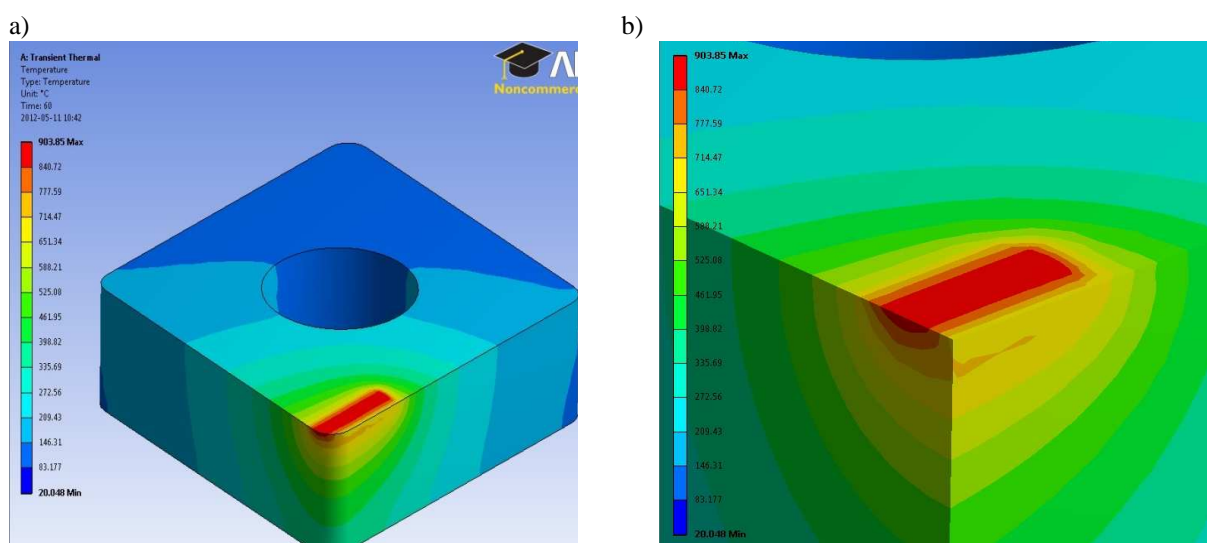
Przewodzenie ciepła w styku jest obliczane na podstawie:

$$\lambda = \left(\frac{R_{z1} + R_{z2}}{R} \right) \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (19)$$

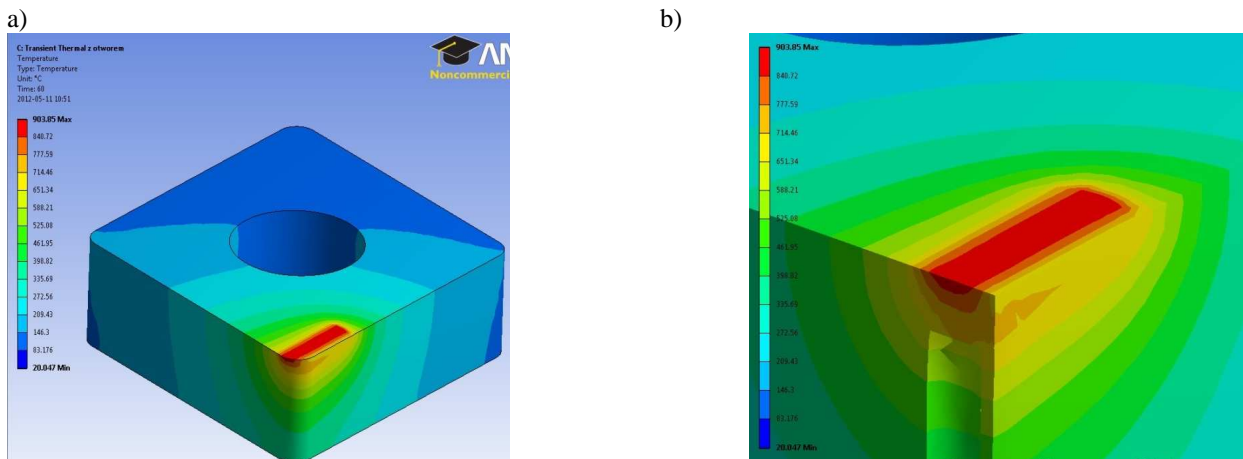
Opór cieplny obliczony w oparciu o zależność (14) pozwala na obliczenie przewodzenia ciepła w stykach pomiędzy częścią roboczą a śrubami oraz pomiędzy częścią roboczą a podstawą imaka nożowego. Wartości obliczone na podstawie [10] wynoszą odpowiednio $1,47\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ i $0,32\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ dla poszczególnych miejsc styku.

3. WYNIKI SYMULACJI

Pole temperatur dla płytki skrawającej bez otworu dla termopary w 60 sekundzie analizy pokazano na rys. 12, natomiast dla płytki z otworem na rys. 13.

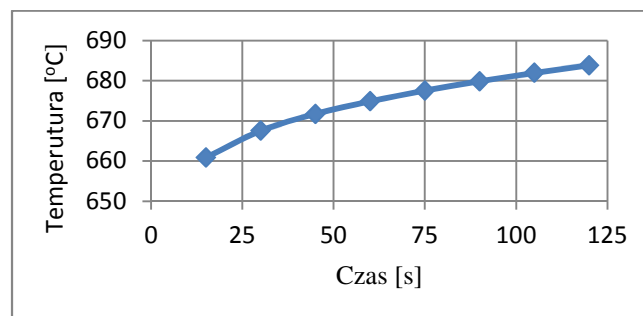


Rys. 12. Pole temperatur dla płytki bez otworu na termoparę: a) widok całej płytki, b) widok przekroju płytki
Fig. 12. Field of temperature for the insert without the hole: a) view of the entire insert, b) section view of the insert



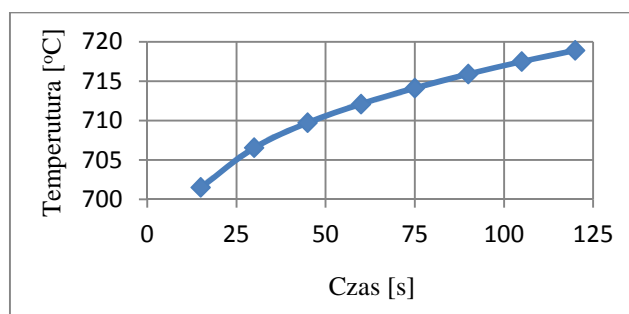
Rys. 13. Pole temperatur dla płytki z otworem na termoparę: a) widok całej płytki, b) widok przekroju płytki
 Fig. 13. Field of temperature for the insert with the hole: a) view of the entire insert, b) section view of the insert

Temperatura w funkcji czasu w miejscu spojenia końca termopary w dnie otworu płytki dla przypadku płytki bez otworu dla termopary została pokazana na rys. 14. W stanie ustalonym temperatura ta wynosi 726°C . Dla płytki z otworem wykres pokazano na rys. 15.



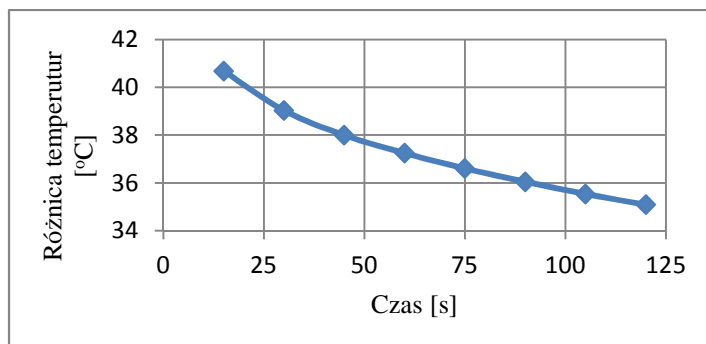
Rys. 14. Wykres temperatury w miejscu gorącego spojenia termopary dla płytki bez otworu
 Fig. 14. Chart of temperature in place of the hot junction for insert without the hole

W stanie ustalonym temperatura w miejscu dna otworu dla płytki bez otworu wynosi 751°C .



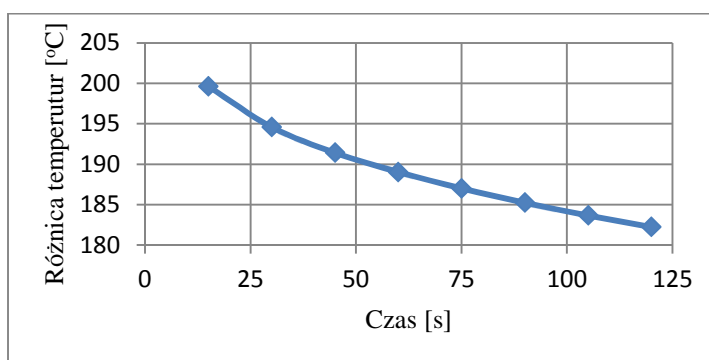
Rys. 15. Wykres temperatury w miejscu gorącego spojenia termopary dla płytki z otworem
 Fig. 15. Chart of temperature in place of the hot junction for insert with the hole

Różnica temperatur w funkcji czasu wywołana obecnością otworu na termoparę została przedstawiona na rys. 16. W stanie ustalonym różnica temperatur wynosi 25°C .

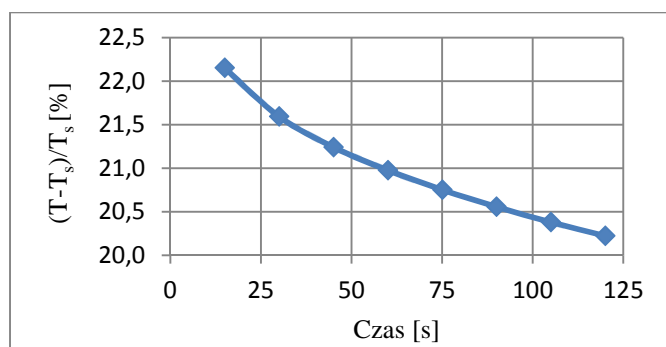


Rys. 16. Wykres różnicy temperatur dla obu płytek
Fig. 16. Chart of temperature difference for both inserts

Różnica między temperaturą skrawania (czyli maksymalną temperaturą na powierzchni natarcia) a temperaturą mierzoną przy pomocy termopary jest pokazana na rys. 17. W stanie ustalonym różnica ta wynosi 150°C .



Rys. 17. Różnica pomiędzy temperaturą skrawania a temperaturą mierzoną termoparą
Fig. 17. Chart of difference between cutting temperature and temperature measured by thermocouple



Rys. 18. Błąd względny temperatury
Fig. 18. Relative error of temperature

Błąd względny spowodowany obecnością otworu na termoparę jest widoczny na rys. 18. W stanie ustalonym błąd wynosi 16,6%.

4. WNIOSKI

Poniższe wnioski sformułowano ze świadomością, że zastosowana metoda analizy jest przybliżona. Sama metoda MES daje możliwość jedynie przybliżonego odzwierciedlenia rzeczywistości, a dodatkowo w trakcie obliczeń część danych posiada również przybliżoną wartość. Jest tak w przypadkach, kiedy potrzebnych danych nie można ani zmierzyć, ani dokładnie wyliczyć. Mimo tych niedoskonałości pokazane wyniki modelowania posłużyły do wyciągnięcia kilku wniosków, które zapewne mogłyby być wzięte pod uwagę przez badaczy omawianego zjawiska:

1. Wpływ otworu pod termoparę na temperaturę jest widoczny, ale różnice oglądane z zewnątrz są trudne do uchwycenia (rys. 12 i rys. 13). Oznacza to, że pomiary np. kamerą termowizyjną nie pozwalają wykryć obecności otworu na termoparę.
2. Otwór na termoparę sprawia, że temperatura w miejscu pomiaru (gorącego końca termopary) jest wyższa. Jest to korzystne zjawisko z powodu pomiaru temperatury oddalonej od punktu występowania temperatury skrawania.
3. Różnica temperatur spowodowana obecnością termopary maleje wraz z czasem skrawania. Stąd też skrawanie (przejście) przy pomiarze metodą termoelementu obcego należałoby realizować możliwie długo.
4. Różnica pomiędzy temperaturą skrawania a temperaturą mierzoną jest znaczna i maleje z czasem skrawania. Dlatego zalecane jest, tak jak w punkcie poprzednim, aby pomiar dotyczył możliwie długiego czasu skrawania.

LITERATURA

- [1] SŁUPIK H., 2010, *Obróbka skrawaniem. Podstawy teoretyczne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [2] GRZESIK W., 2010, *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*, WNT, Warszawa.
- [3] KORKUT I., BOY M., KARACAN I., SEKER U., 2007, *Investigation of chip-back temperature during machining depending on cutting parameters*, Materials and Design, 28, 2329–2335.
- [4] Praca zbiorowa pod red. Z. Affanasowicza., 1981, *Ćwiczenia laboratoryjne z obróbki skrawaniem*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [5] REN X.J., YANG Q.X., JAMES R.D., WANG L., 2004, *Cutting temperatures in hard turning chromium hardfacings with PCBN tooling*, Journal of Materials Processing Technology, 147, 38–44.
- [6] FILICE L., UMBRELLO D., BECCARI S., MICARI F., 2006, *On the FE codes capability for tool temperature calculation in machining processes*, Journal of Materials Processing Technology, 174, 286–292.
- [7] Baza materiałowa MPDB v. 7.43, JAHM Software Inc. 2012.
- [8] SZARGUT J., 1985, *Termodynamika*, WNT, Warszawa.
- [9] LIS K., 2008, *Zastosowanie metod pirometrycznych do identyfikacji temperatury narzędzia podczas wiercenia*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [10] JUNGnickel G., BUCHMAN K., 1978, *Przekazywanie ciepła w urządzeniach wytwórczych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej.

-
- [11] Pr. zbiorowa pod red. E. Kostowskiego, 2003, *Zbiór zadań z przepływu ciepła*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [12] Pr. zbiorowa pod red. L. Dobrzańskiego, 2000, *Leksykon materiałoznawstwa*, Wydawnictwo Verlag Dashöfer.
- [13] <http://coroguide.coromant.sandvik.com/products/>.

FEM MODELING OF DISTURBANCES OF THE HEAT FLOW AT MEASUREMENT OF THE CUTTING TEMPERATURE BY THE INSERTED THERMOCOUPLE METHOD

The method of the inserted thermocouple requires making the hole in the machining tool. And so it is the invading method which is affecting the form of the tool. The article is describing the FEM modeling used for checking out the influence of this hole on a temperature field within the tool area when cutting.