

Źródła niedoskonałości opisu podziału ciepła w strefie kontaktu

The sources of imperfections of description of the heat distribution in the contact zone

MARIAN BARTOSZUK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.367

Współcześnie znane współczynniki partycji ciepła opisują podział ciepła w strefie skrawania w sposób niedoskonały. Niniejszy artykuł podejmuje próbę oszacowania tych rozbieżności oraz wskazuje prawdopodobne przyczyny takiego stanu rzeczy. W artykule porównano wyniki badań eksperymentalnych, z modelowania analitycznego oraz symulacji komputerowych.

SŁOWA KLUCZOWE: strefa skrawania, ciepło, podział ciepła

Today known heat partition coefficients describes the distribution of heat in the cutting zone in a imperfectly. This article attempts to estimate these discrepancies and indicates the probable causes of this state of affairs. The article compares the results of experimental studies, the analytical modeling and computer simulation.

KEYWORDS: cutting zone, heat, heat distribution

Powszechnie wiadomo, że w czasie skrawania generowane jest ciepło, a jego ilość w sposób bezpośredni wpływa na trwałość ostrza. Z doniesień literaturowych [4, 6, 8] oraz z badań własnych wynika, że niemal cała ilość wygenerowanego ciepła unoszona jest ze strefy obróbki wraz z wiórem. W znacznie mniejszej części trafia ono do ostrza narzędzia, a w pomijalnie małej – do materiału obrabianego [3, 7]. W praktyce najbardziej interesuje nas ilość ciepła wpływającego do ostrza narzędzia przez pole kontaktu wióra z powierzchnią natarcia. Przepływ ten decyduje o wartości temperatury, jaka się ustali na styku ostrza i materiału wióra, a co za tym idzie o trwałości ostrza skrawającego. Ilość ciepła wpływającego tą drogą do narzędzia można obliczyć analitycznie, posługując się współczynnikiem partycji ciepła według Reznikova, Kato-Fujji lub Shawa [4÷6, 9, 10]. Wcześniej prowadzone symulacje procesu skrawania [1, 2] wskazują jednak, że używane dotychczas współczynniki partycji ciepła dają wyraźne niedoszacowanie sumarycznego strumienia ciepła wpływającego do ostrza narzędzia. Do podobnych wniosków na podstawie własnych badań doszedł Niesłony [6]. Przypuszczać zatem można, że opracowane przed kilkadziesiąt laty formuły obliczeniowe współczynników partycji ciepła mogły stracić na aktualności. Istnieje więc uzasadniona potrzeba poznania i oszacowania przyczyn niedokładności obowiązujących współczynników partycji ciepła dla obecnie stosowanych parametrów obróbki i współczesnych materiałów narzędziowych.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono dla przypadku skrawania ortogonalnego stali austenitycznej 1.4541 na sucho, ostrzami wykonanymi z węgla H10F, bez powłok ochronnych.

Na pierwszym etapie zrealizowano badania eksperymentalne, z użyciem oprawki nożowej PTNGR 2020-16

i ostrzy TNMA 160408 o płaskiej powierzchni natarcia. Parametry obróbki przyjęte do testów wynosiły odpowiednio: prędkość skrawania $v_c = 66,67; 83,33; 100,00; 116,67; 133,33; 150,00$ m/min, posuw $f = 0,20$ mm/obr oraz głębokość skrawania (szerokość warstwy skrawanej) $a_p = 2$ mm.

Drugi etap badań skupiał się na modelowaniu analitycznym. Jego celem było oszacowanie i analiza znanych współcześnie współczynników partycji ciepła na powierzchni kontaktu wiór–ostrze.

Na trzecim etapie prowadzono symulacje rozplywu ciepła w strefie skrawania. W ich rezultacie otrzymano mapy rozkładu temperatury w całym badanym obszarze. Wykonano również obliczenia odwrotne, pozwalające na oszacowanie wartości nowego współczynnika partycji ciepła. Badania symulacyjne zrealizowano z wykorzystaniem kalkulatoryjnej metody rozwiązywania równań różniczkowych KM3R [1, 2].

Badania eksperymentalne procesu skrawania

W pracy badania doświadczalne prowadzono na stanowisku zbudowanym na bazie tokarki kłowej TUM-35D1, wyposażonej w siłomierz KISTLER 9257B, układ do pomiaru siły termoelektrycznej na styku ostrza i materiału obrabianego oraz kamerę termowizyjną VarioCAM firmy JENOPTIK. W trakcie badań mierzono wartości składowych całkowitej siły skrawania i temperaturę kontaktową oraz rejestrowano obrazy termograficzne strefy skrawania.

Modelowanie analityczne

Etap ten obejmował analityczne wyznaczenie cieplnych charakterystyk procesu skrawania. Skupiono się głównie na średniej i maksymalnej temperaturze styku wiór–ostrze oraz na wartości współczynnika partycji ciepła. W obliczeniach zastosowano metodykę zaproponowaną przez Shawa. Zaznaczyć należy, że obliczenia prowadzono dla zmiennych w czasie i zależnych od temperatury właściwości termofizycznych materiału ostrza i materiału obrabianego.

Symulacje komputerowe

Obliczenia numeryczne rozplywu ciepła w strefie skrawania wykonano metodą KM3R. W badaniach symulacyjnych analizowano tylko zjawiska cieplne zachodzące w czasie skrawania. W obliczeniach tych podział wytworzonego ciepła pomiędzy wiór i ostrze następował samoistnie [1, 2]. Porównując tak uzyskany rozkład temperatury z rozkładem uzyskanym dla obliczeń odwrotnych, można wyznaczyć rzeczywistą ilość ciepła wpływającego do narzędzia, a w konsekwencji nowy, bardziej realny współczynnik partycji ciepła. Algorytm obliczeń numerycznych szczegółowo omówiono we wcześniejszych publikacjach [1].

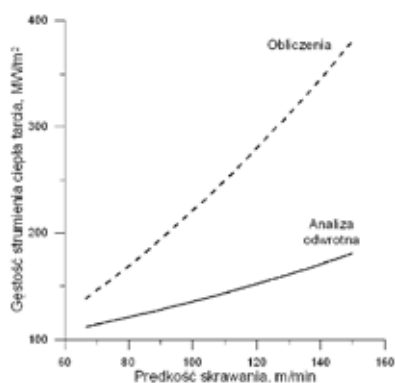
* Dr hab. inż. Marian Bartoszek (m.bartoszek@po.opole.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Opolskiej

Analiza uzyskanych wyników

Oczywiste jest, że wraz ze wzrostem prędkości skrawania sumaryczna ilość powstającego w strefie skrawania ciepła rośnie. Zjawisko to obrazują wyniki pokazane w tabelicy oraz na rys. 1.

TABLICA. Gęstość strumienia ciepła tarcia

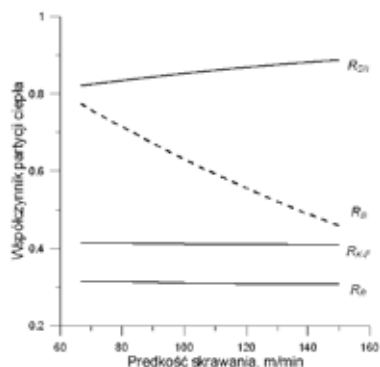
| v_c , mm | q_t , MW/m ² | q_n , MW/m ² | $R_B = q_n/q_t$ |
|------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| | Model pełny | Model uproszczony | |
| 66,67 | 137,69 | 104,80 | 0,761 |
| 83,33 | 178,32 | 130,48 | 0,732 |
| 100,00 | 221,79 | 137,14 | 0,618 |
| 116,67 | 269,06 | 151,60 | 0,563 |
| 133,33 | 321,58 | 163,80 | 0,509 |
| 150,00 | 381,78 | 176,66 | 0,463 |



Rys. 1. Wpływ prędkości skrawania na zmiany gęstości strumienia ciepła tarcia

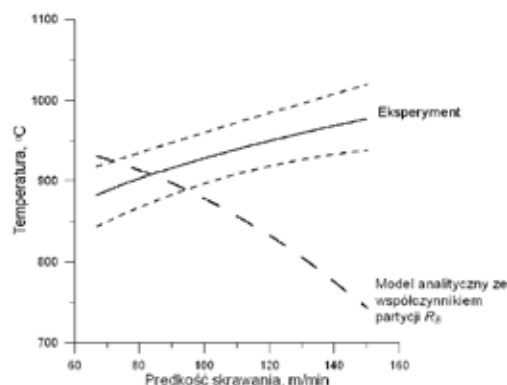
Można zauważyć, że rzeczywista wartość strumienia ciepła wpływającego do ostrza przez powierzchnię kontaktu jest mniejsza od strumienia ciepła tarcia o ok. 25% do 55%. Zjawisko to wyjaśnić można stosunkiem właściwości termofizycznych materiału obrabianego i materiału ostrza oraz wpływem prędkości skrawania, gdyż wraz ze wzrostem prędkości v_c rośnie strumień ciepła tarcia i ciepła odkształceń plastycznych. Jednocześnie maleje długość kontaktu i wzrasta prędkość spływu wióra. W efekcie czas oddziaływania strumieni ciepłych na ostrze gwałtownie się skraca. W konsekwencji sumaryczna ilość ciepła wpływającego do ostrza narzędzia znacząco zmniejsza się.

Na podstawie wcześniej prowadzonych badań [1] przyjęto, że stosunek wartości rzeczywistego strumienia ciepła wpływającego do narzędzia q_n do wartości strumienia ciepła tarcia q_t stanowi nową wartość współczynnika partycji ciepła R_B . Przebieg tak wyliczonego współczynnika partycji w stosunku do innych, dotychczas używanych współczynników pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Przebieg zmian analizowanych współczynników partycji ciepła w funkcji prędkości skrawania

Zastosowanie nowego współczynnika partycji ciepła do metodyki obliczeń Shawa nie daje dobrych rezultatów, co pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Porównanie średniej temperatury kontaktu zmierzonej eksperymentalnie i wyznaczonej z obliczeń analitycznych dla nowego współczynnika partycji ciepła

Tak duże rozbieżności wyników wskazują, że w przypadku zastosowanej metodyki podział ciepła częściowo określony jest przez współczynnik partycji (np. współczynnik Shawa, a częściowo poprzez wzory obliczeniowe na średnią temperaturę kontaktu. W innym przypadku zastosowanie nowego współczynnika partycji ciepła R_B skutkowałoby proporcjonalnym przesunięciem wyników w całym badanym zakresie.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzić można, że stosowane do obliczeń podziału ciepła współczynniki partycji oraz sama metodyka obliczeń obarczone są błędem. W konsekwencji zamienne stosowanie współczynników partycji oraz realizacja symulacji z użyciem znanych obecnie współczynników nie może przynieść zadowalających rezultatów. Prawdopodobnie dokładność obliczeń poprawi zastosowanie nowo opracowanego współczynnika partycji R_B w skojarzeniu z nową, zmodyfikowaną metodyką obliczeń średniej temperatury kontaktu.

LITERATURA

- Bartoszuk M. „Analiza odwrotna zagadnienia rozptyłu ciepła na styku ostrza i materiału obrabianego”, IX Konferencja naukowa „Szkoła Obróbki Skrawaniem” – Obróbka skrawaniem Podstawą rozwoju metrologii, 23–25.09.2015, Kielce-Sandomierz, s. 29÷36.
- Bartoszuk M. „Numeryczne modelowanie rozptyłu ciepła w strefie skrawania dla stali C45”. *Biuletyn WAT*. Vol. LXII, Nr 1 (2013): s. 79÷88.
- Haddag B., Atlati S., „Nouari M., Zenasni M. Analysis of the heat transfer at the tool–workpiece interface in machining: determination of heat generation and heat transfer coefficients”. *Heat And Mass Transfer*. Vol. 51, No. 10 (2015): pp. 1355÷1370.
- Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów metalowych”. WNT Warszawa, 2010.
- Kato T., Fujii H. Energy partition in conventional surface grinding. *ASME J. Manuf. Sci. Eng.* Vol. 121 (1999): pp. 393÷398.
- Niesiony P. „Modelowanie przepływu ciepła i rozkładu temperatury w strefie skrawania dla ostrzy z twardymi powłokami ochronnymi”. Oficyna Wydawnicza PO, Opole, 2008.
- Onyechi P.C., Oluwadare B.S., Obuka N.S.P. „Analytical modeling of temperature distribution in metal cutting: finite element approach”. *Int. J. Eng. Sci.* Vol. 2, No. 4 (2013): pp. 17÷33.
- Pervaiza S., Deiabb I., Wahbac E.M., Rashida A., Nicolescu M. „A coupled FE and CFD approach to predict the cutting tool temperature profile in machining”. *Procedia CIRP*. Vol. 17 (2014): pp. 750÷754.
- Reznikov A.N. „Термофизика резания”. Mashinostroyeniye, Moskwa 1968.
- Shaw M.C. „Metal cutting principle”. Oxford University Press, New York 1984.