

Symulacja numeryczna przepływu chłodziwa w procesie szlifowania

Numerical simulation of coolant flow in grinding

MATEUSZ STAJUDA
KRZYSZTOF SOBCZAK
RYSZARD WÓJCIK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.341

Celem badań jest opracowanie zaawansowanego modelu numerycznego przepływu płynu chłodząco-smarującego w procesie szlifowania. W zrealizowanej części projektu przeprowadzono symulacje przepływu powietrza jako medium chłodzącego. W artykule przedstawiono wpływ różnych ustawień kątowych i prędkości wypływu z dyszy na przepływ płynu przez strefę szlifowania.

SŁOWA KLUCZOWE: symulacje CFD procesu szlifowania, model numeryczny, chłodzenie

The objective of the project is to develop an advanced numerical model of a coolant flow in grinding. The accomplished part presented in this article allowed to simulate the flow of air as a cooling medium. The article presents an influence of different angular positions of the nozzle and outflow velocities on the useful flow rate.

KEYWORDS: CFD grinding simulations, numerical model, cooling

Szlifowanie jest bardzo złożonym procesem obróbki o ogromnym znaczeniu we współczesnym przemyśle. Specyfika tego procesu powoduje, że większa część dostarczonej energii jest przekształcana w ciepło. Energia cieplna generowana w procesie szlifowania nawet w 85% trafia do obrabianego elementu [1]. Nadmierny wzrost temperatury może prowadzić do nieakceptowalnych uszkodzeń jego warstwy wierzchniej [2, 3]. W celu poprawy wydajności procesu przy jednoczesnym uniknięciu uszkodzeń termicznych, niezbędne jest zastosowanie chłodzenia.

Metody podawania płynów chłodząco-smarujących są równe. Przy ich opracowywaniu i optymalizacji bazowano na badaniach eksperymentalnych, które w przypadku tak złożonych procesów są drogie i czasochłonne. Pozwalają one na uzyskanie informacji o skuteczności tych procesów bez możliwości precyzyjnej analizy zjawisk, zachodzących podczas przepływu płynu w strefie szlifowania. Brak jest szczegółowych danych, które mogą być pomocne przy optymalizacji tego procesu. Rozwój metod numerycznych towarzyszący wzrostowi mocy obliczeniowej komputerów umożliwił symulację wielu procesów, w tym także przepływów płynów w procesie szlifowania.

Publikacje dotyczące symulacji numerycznych przepływów w procesie szlifowania nie są liczne. Wynika to z dużej złożoności procesów przepływu płynów i wymiany ciepła w strefie szlifowania. W większości przypadków prezentowane badania prowadzone są w odniesieniu do wybranych aspektów procesu. Najczęściej podejmowane są badania nad kształtem dyszy doprowadzającej czynnik chłodzący [4] i jego optymalizacją [5]. Analizowane były również charakter przepływu czynnika w obszarze ściernica–przedmiot, tworzenie poduszki powietrznej na ściernicy

i wpływ jej zgarniacza na zachowanie przepływu [4, 6]. Rozpatrywany był też wpływ prędkości ściernicy i parametrów strumienia powietrza oraz płynów na wymianę ciepła [7]. Z prac tych wynika, że dodatek oleju do strumienia powietrza pozytywnie wpływa na współczynnik wymiany ciepła. W analizowanych pracach badano wpływ ustawienia kąтового i odległości dyszy, prędkości wylotowej płynu na proces chłodzenia [8]. Stwierdzono, że strumienie o niskich prędkościach są mniej efektywne, ponieważ nie są w stanie przedostać się do strefy szlifowania z powodu warstwy przyściennej na wirującej ściernicy. Wykazano także, że kąt i odległość dyszy od strefy szlifowania mają kluczowy wpływ na wartość współczynnika wymiany ciepła. Niestety, żaden z tych artykułów nie podawał informacji o użytych modelu numerycznym i jego jakości, a we wnioskach przedstawiane były jedynie ogólne wytyczne.

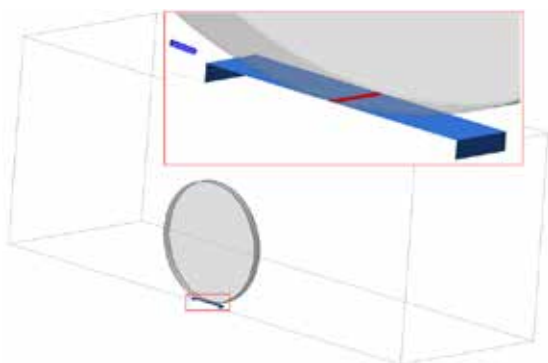
W pracy Mihicia i in. [9] przedstawiono szczegółowe symulacje przepływu w procesie szlifowania płaszczyzn metodą strumieniowo-ciśnieniową. W tym celu zostały wykorzystane 2 modele. Pierwszy, ogólny, który obejmował całą ściernicę i obszar dookoła niej, został wykorzystany do wyznaczenia warunków brzegowych dla drugiego modelu. Z kolei drugi, bardziej szczegółowy model obejmował wycinek strefy ściernica–przedmiot, dyszę i część domeny otaczającej strefę szlifowania. W tym przypadku interesującym podejściem było zdefiniowanie obszaru ściernicy obrabianej i stykającej się z próbką domeny porowatej. Dzięki temu lepiej zamodelowano przepływ, a prezentowane wyniki wykazywały zgodność z danymi eksperymentalnymi. Wydaje się jednak, że autorzy nie ustrzegli się błędu wynikającego z transferu danych przez interfejs pomiędzy stacjonarną domeną powietrzną a wirującą domeną porowatą. Podjęta przez nas próba użycia podobnego podejścia wskazała na istotne błędy numeryczne generowane na tym interfejsie, wynikające z jego ograniczeń. W efekcie opracowano nowy model numeryczny, który wykorzystano do określenia wpływu różnych ustawień kątowych dyszy i prędkości wypływu z niej czynnika na jego aktywność w strefie szlifowania.

Model numeryczny i wyniki symulacji

W Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej prowadzone są prace nad rozwojem modelu numerycznego procesu szlifowania w oparciu o oprogramowanie firmy ANSYS (solver ANSYS CFX). W pierwszym etapie prac skupiono się nad rozwiązaniem problemów wynikających ze zmienności wielkości szczeliny pomiędzy czynną powierzchnią ściernicy a powierzchnią próbki, co stanowi ogromne wyzwanie związane z generacją siatki i postawieniem odpowiednich warunków brzegowych, a także interfejsów pomiędzy częściami domeny obliczeniowej związanymi z nieruchomą próbką i wirującą ściernicą. Degradacja jakości siatki obliczeniowej przy zbliżaniu się do strefy kontaktu ściernicy z elementem może być źródłem dużych błędów numerycznych. W zaproponowanym po-

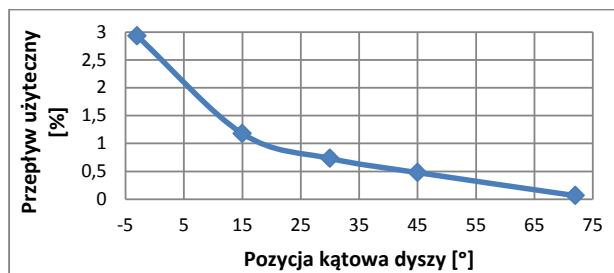
* Inż. Mateusz Stajuda (mateusz.stajuda@gmail.com), dr inż. Krzysztof Sobczak (krzysztof.sobczak@p.lodz.pl), dr hab. Inż. Ryszard Wójcik (ryszard.wojcik@p.lodz.pl) – Politechnika Łódzka

dejsiu zdecydowano się zdefiniować ściernicę w układzie wirującym w postaci nieprzepuszczalnej bryły otoczonej strefą ciała porowatego o grubości odpowiadającej trzykrotności wysokości ziaren na jej powierzchni. W samej strefie szlifowania wprowadzono stacjonarną (pominięto posuw elementu) domenę porowatą o grubości $0,8 \mu\text{m}$ będącą odzwierciedleniem chropowatości próbki po wcześniejszym procesie obróbkowym, np. frezowaniu. Wszystko to połączono ze stacjonarną domeną przepływową otaczającą ściernicę oraz szlifowaną próbką (rys. 1). W efekcie możliwe było poprawne zastosowanie interfejsów przekazu danych pomiędzy częściami domeny w wirującym i stacjonarnym układzie odniesienia. Uzyskano podejście pozwalające w dobry sposób oddać fizykę zjawiska i uniknąć błędów numerycznych zauważonych w literaturze [9]. Symulacja obejmowała połowę ściernicy przy założeniu symetrii zadania.

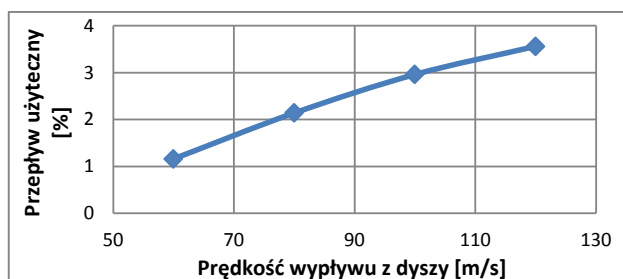


Rys. 1. Widok domeny obliczeniowej, ściernicy (kolor szary), próbki (kolor niebieski) oraz strefy szlifowania (kolor czerwony)

W ramach badań weryfikujących poprawność działania modelu wykonano symulacje dla przepływu powietrza jako medium i różnych kątów ustawienia dyszy. Rozważono zakres od kierunku stycznego do ściernicy w punkcie styku z próbką (kąt -3° mierzone od poziomu) do kierunku prostopadłego do powierzchni ściernicy (kąt 72°). Dla najlepszej pozycji kątowej (kąt -3°), zasymulowano zostały różne prędkości wypływu czynnika. Przyjęto założenie, że o jakości chłodzenia decyduje ilość czynnika przepływającego przez strefę szlifowania.

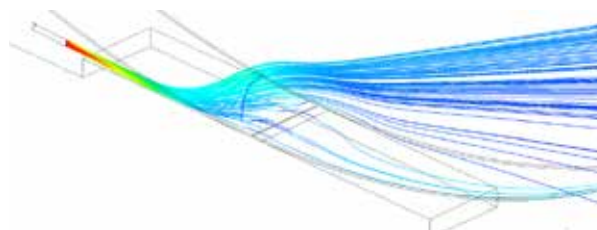


Rys. 2. Zależność przepływu użytecznego od pozycji kątowej dyszy



Rys. 3. Zależność przepływu użytecznego od prędkości wypływu czynnika chłodzącego z dyszy

Wyniki przeprowadzonych symulacji były jakościowo zgodne z danymi literaturowymi [7, 8]. Największy aktywny przepływ uzyskano dla pozycji ustawienia dyszy stycznej, a najmniejszy dla pozycji prostopadłej do ściernicy (rys. 2). Zaobserwowano także wzrost przepływu wraz ze wzrostem prędkości czynnika wypływającego z dyszy (rys. 3). Na rys. 4 przedstawiono linie prądu obrazujące charakter przepływu czynnika chłodzącego w strefie szlifowania. Pomimo dużej prędkości wypływu z dyszy, czynnik, napotykając obszar wysokiego ciśnienia (powodowany przez zbieżność szczeliny pomiędzy elementem a ściernicą), rozprasza się i jedynie mała jego część dostaje się do strefy szlifowania.



Rys. 4. Wizualizacja charakteru przepływu dla dyszy ustawionej pod kątem 0°

Podsumowanie

Udało się opracować zaawansowany model numeryczny przepływu czynnika chłodzącego przez strefę szlifowania. Zaproponowane podejście pozwoliło wyeliminować błędy numeryczne modeli opisanych w literaturze. Zasymulowano przepływ powietrza jako czynnika chłodzącego dla wybranych warunków jego napływu i potwierdzono jakościową zgodność otrzymanych wyników z danymi literaturowymi. Dalsze prace będą miały na celu m.in. wzbogacenie modelu o zjawiska związane z generacją i wymianą ciepła w strefie szlifowania oraz modelowanie przepływów dwufazowych, a przez to wprowadzenie do strumienia powietrza drobin olejowych. Pozwoli to symulować złożone procesy występujące podczas podawania płynów chłodząco-smarujących z minimalnym wydatkiem w strefę przedmiot-ściernica (MQL). Niezbędne będzie uwzględnienie transportu chłodziwa wewnątrz porów ściernicy i na jej powierzchni.

LITERATURA

- Malkin S., Anderson R.B. "Thermal aspects of grinding, Part 1: Energy partition". *J. Eng. Ind.* Vol. 96 (1974): pp. 1177÷1183.
- Malkin S., Guo C. "Thermal analysis of grinding". *CIRP Ann-Manuf. Techn.* Vol. 56 (2007): pp. 760÷782.
- Kruszyński B., Wójcik R. "Residual stresses in grinding". *J. Mater. Process. Tech.* Vol. 109 (2001): pp. 254÷257.
- Morgan M.N., Jackson A.R., Wu H., Baines-Jones V., Batako A., Rowe W.B. "Optimisation of fluid application in grinding". *CIRP Ann-Manuf. Techn.* Vol. 57 (2008): pp. 363÷366.
- Lopez-Ariza A., Castillo G., Dhakli H.N., Alberdi R. "High performance composite nozzle for the improvement of cooling". *Compos. Part B-Eng.* Vol. 54 (2013): pp. 313÷318.
- Schumack M.R., Chung J.B., Schultz W.W., Kannatey-Asibu E. "Analyses of fluid flow under a grinding wheel". *J. Eng. Ind.* Vol. 113 (1991): pp. 190÷197.
- Zhang J., Tan X., Liu B., Zhu X. "Investigation for convective heat transfer on grinding work-piece surface subjected to an impinging jet". *Appl. Therm. Eng.* Vol. 51 (2013): pp. 653÷661.
- O'Donovan T.S., Murray D.B., Torrance A.A. "Jet heat transfer in the vicinity of a rotating grinding wheel". *J. Mech. Eng. Sci.* Vol. 220 (2006): pp. 837÷845.
- Mihic S., Cioc S., Marinescu I., Weismiller M. "Detailed study of a fluid flow and heat transfer in the abrasive grinding contact using computational fluid dynamics methods". *J. Manuf. Sci. Eng.* Vol. 135 (2013): pp. 2÷13.