

dr hab. Stanisław Kucharski
Pracownia Warstwy Wierzchniej
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

OCENA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Sadowskiego
„Modelowanie przepływu ciepła przez powierzchnię kontaktu ciał chropowatych w
procesach przeróbki plastycznej”

Opracowana na zlecenie Rady Naukowej
Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN

1. Zakres i cel rozprawy

Celem rozprawy było opracowanie modelu procesu przepływu ciepła między pozostającymi w kontakcie ciałami chropowatymi. Zakres działania modelu powinien umożliwić zastosowanie go do symulacji procesów obróbki plastycznej, zatem w analizach uwzględniono takie zjawiska jak sprężysto plastyczne zgniatanie nierówności, wzajemny ruch kontaktujących się powierzchni, tarcie. Praca składa się z dziesięciu rozdziałów (łącznie z Dodatkiem A) i wykazu literatury zawierającego 120 pozycji.

W pierwszym wstępnym rozdziale autor podaje motywacje podjęcia tematyki, określa cel i zakres pracy oraz przedstawia krótkie omówienie zakresu pracy. W rozdziale drugim omówione są modele kontaktu mechanicznego powierzchni chropowatych, ze szczególnym uwzględnieniem zależności nominalnego ciśnienia i rzeczywistej powierzchni kontaktu, która jest jednym z podstawowych parametrów w modelach kontaktowego oporu cieplnego. Uwzględniono wpływ tarcia i makroskopowej deformacji materiału, które występują w procesach przeróbki plastycznej. Zaproponowano metodę wyznaczania rzeczywistej powierzchni kontaktu dla obliczeń cieplnych. Rozdział trzeci został poświęcony problemom przepływu ciepła ze szczególnym uwzględnieniem kontaktu ciał chropowatych. Przedstawiono podstawowe równania tego zagadnienia, zdefiniowano kontaktowy opór cieplny. Omówiono prace dotyczące doświadczalnego wyznaczania tego parametru oraz wybrane modele przepływu ciepła na kontakcie powierzchni chropowatych. W rozdziale czwartym zaproponowano dwuskalowy model przepływu ciepła przez powierzchnię kontaktu ciał chropowatych. Sformułowano makroskopowy problem brzegowy wprowadzając pojęcie komórki periodycznej, niejednorodny rozkład kontaktowego oporu cieplnego wynikający z rozkładu mikroobszarów rzeczywistego styku i lokalny współczynnik przewodzenia ciepła w tych obszarach. Rozwiązując problem przy pomocy MES wyznaczono makroskopowy, efektywny współczynnik przewodzenia ciepła. Znalaziono funkcję analityczną, która aproksymuje wyniki numeryczne. Przedstawia ona zależność makroskopowego, kontaktowego współczynnika przewodzenia ciepła od rzeczywistej powierzchni styku, parametrów powierzchni i parametrów materiału. W rozdziale piątym zamieszczono analizę wpływu niektórych założeń przyjętych w rozwiązaniu problemu brzegowego sformułowanego w poprzednim rozdziale na wyniki obliczeń. Zbadano wpływ warunków brzegowych, kątów pochylenia nierówności, metody całkowania numerycznego w elementach powierzchniowych, rozkładu obszarów rzeczywistej powierzchni styku, ruchu względnego ciał. W rozdziale szóstym uogólniono zaproponowany wcześniej model. Wykonano kalibrację parametrów znalezionej funkcji analitycznej (parametrów zaproponowanego modelu) dla powierzchni otrzymanych przy pomocy różnych rodzajów obróbki mechanicznej. Wprowadzono parametr – długość charakterystyczną- który reprezentuje chropowatość powierzchni w proponowanym modelu.

W rozdziale siódmym opisano stanowisko do testu redukcji grubości blachy, zwanego testem SRT. W teście badano m. in. wpływ warunków smarowania i modyfikacji chropowatości powierzchni na

parametry procesu, jednym z tych parametrów była temperatura narzędzia. Przedstawiono wyniki badań (m. in. ewolucję temperatury) wykonanych przez Autora. Wykorzystano je w kolejnym rozdziale pracy do identyfikacji niektórych parametrów opracowanego modelu. W rozdziale 8 przedstawiono uproszczony termomechaniczny model testu SRT. Do obliczenia pracy odkształceń plastycznych (a tym samym ilości generowanego ciepła) zastosowano rozwiązanie analityczne, a następnie wynik tego rozwiązania wykorzystano w analizie termicznej (nieustalony przepływ ciepła) wykonanej przy pomocy MES. W obliczeniach termicznych zastosowano zaproponowany w rozprawie dwuskalowy model przewodzenia ciepła. Porównano wyniki teoretyczne i doświadczalne. Otrzymano zadowalającą zgodność wyników. Rozdział dziewiąty jest podsumowaniem pracy. W Dodatku A zamieszczonym na końcu rozprawy Autor przedstawił podstawy teoretyczne rozwiązania problemu spłaszczania nierówności w obecności tarcia. W sformułowaniu Autora podstawowymi zmiennymi są prędkości a nie przemieszczenia zwykle występujące w równaniach MES. Otrzymane rozwiązanie zostało wykorzystane w rozdziale 2 rozprawy.

2. Ogólna ocena merytoryczna i uwagi szczegółowe

Autor podjął problem wyznaczenia efektywnego, makroskopowego współczynnika przewodzenia ciepła na kontakcie ciał chropowatych. Problem ten jest trudny do rozwiązania ponieważ mamy tu do czynienia z połączeniem zadania mechanicznego i termicznego. Kontakt powierzchni chropowatych jest zwykle wymuszony przez pewną siłę, której odpowiada pewna rzeczywista powierzchnia styku, która kolei jest podstawowym parametrem analizy termicznej. Stąd autor znaczną część pracy poświęcił problemom kontaktu mechanicznego. Należy zaznaczyć, że pomimo istnienia dużej liczby modeli tego problemu, jest on nadal przedmiotem wielu prac i nie jest ostatecznie rozwiązany. Problemowi temu poświęcone są rozdziały 2 i 7 rozprawy oraz dodatek.

W rozdziale 2 przedstawiono rozwiązanie problemu mechanicznego kontaktu podatnej powierzchni chropowatej i sztywnej powierzchni gładkiej, ze szczególnym uwzględnieniem przewidywanej przez model rzeczywistej powierzchni styku α dla przypadku małych ciśnień nominalnych. Przedstawiono znane z literatury wzory umożliwiające wyznaczenie rzeczywistej powierzchni styku w funkcji naprężenia nominalnego lub w funkcji zbliżenia. Wyniki otrzymane przy pomocy znanych z literatury modeli porównano z wynikami obliczeń Autora przy pomocy MES dla powierzchni piaskowanej. Uwzględniono plastyczną deformację nierówności. Rzeczywistą powierzchnię styku otrzymaną przez symulację kontaktu przy pomocy MES porównano również z powierzchnią otrzymaną w wyniku przecięcia nierówności płaszczyzną równoległą do płaszczyzny średniej podobnie jak przy wyznaczaniu krzywej nośności. Ta ostatnia metoda wyznaczania rzeczywistej powierzchni styku nazywana jest przez Autora metodą geometrycznego ścinania. Stwierdzono, że rozkład obszarów kontaktu w obydwu przypadkach jest podobny. Założenie o równości tych rozkładów jest jednym z założeń, które Autor przyjął w swoim modelu opisanym w rozdziale 4, jest ono pewnym uproszczeniem, które można uznać za dopuszczalne.

Omówiono także nieliczne prace poświęcone modelowaniu spłaszczania powierzchni chropowatych przy jednoczesnym odkształceniu makroskopowym zgniatanego elementu. Przedstawiono wpływ jednoczesnego działania tarcia i deformacji makroskopowych. Przedstawiono też wyniki obliczeń dotyczących tego zagadnienia wykonanych przez autora. Autor jednak nie podał jakich powierzchni (obróbek powierzchniowych) dotyczą te obliczenia, a zatem nie wiemy na ile ogólne są przedstawione wyniki. Ta część pracy wskazuje na umiejętność Doktoranta krytycznej oceny istniejących modeli kontaktu mechanicznego i ich weryfikacji przy pomocy własnych obliczeń. Rzeczywista powierzchnia styku jest podstawowym parametrem

