MODELOWANIE ZJAWISK CIEPLNYCH W PROCESIE NAPAWANIA W GEOMETRII 2D

Jacek Słoma^{1a}, Ireneusz Szczygieł^{1b}, Andrzej Sachajdak ^{1c}

¹Instytut Techniki Cieplnej, Politechnika Śląska

e-mail: * jaceksloma@wp.pl; * jreneusz.szcygiel@polsl.pl; * andrzej.sachajdak@polsl.pl

Streszczenie

W pracy zaprezentowano różne sposoby modelowania procesu napawania metalu za pomocą oprogramowania CFD w geometrii dwuwymiarowej. Przedstawione wyniki są częścią pracy, której celem jest opracowanie modelu dla analizy zjawisk wymiany ciepła i masy podczas napawania. Przeanalizowano techniki Sliding Mesh oraz MRF (moving reference frames) wraz z modelowaniem przepływów wielofazowych oraz modelu topnienia i krzepnięcia metalu. Model obejmuje wzdłużny przekrój przez fragment napawanej płyty metodą GMA. Zastosowanie geometrii dwuwymiarowej pozwalało na szybsze obliczenia w wielu wariantach fizycznych oraz numerycznych.

MODELING OF THERMAL PHENOMENA DURING THE SURFACING PROCESS IN 2D GEOMETRY

Summary

The thesis presents various modeling methods of the metal surfacing process by means of CFD software in the two-dimensional geometry. The findings stand for a part of the thesis which aims at elaborating a model meant for analyzing the heat and mass interchange effect that occurs during the welding. The techniques of Sliding Mesh and MRF (moving reference frames) have been analyzed along with multiphase flows modeling, as well as melting and metal solidifying. The model includes the sheer draft of a slab piece welded by means of the GMA method. Applying the two-dimensional geometry allowed for faster calculations in numerous physical and numeric variations.

1. WSTĘP

Napawanie przeprowadzane użyciu jest przy wielorakich technik, spośród których najczęściej stosowane są: napawanie gazowe, łukowe, łukiem krytym, elektrożużlowe, w osłonie gazowej (GTA, TIG), laserowe, plazmowe, tarciowe, wybuchowe i inne [1,2]. W niniejszej pracy przeanalizowano napawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazowej (GMA). We wspomnianej metodzie materiał doprowadzany jest do napawanego materiału w osłonie gazu obojętnego. Zapobiega to kontaktowi atmosfervcznym napoinv \mathbf{Z} powietrzem i w konsekwencji intensywnemu utlenianiu. jej Materiał napawany jest doprowadzany do stanu ciekłego w łuku elektrycznym, którego jedną elektrodę stanowi topiony drut podawany w okolice łuku

elektrodą jest napawany element. Głowica do napawania porusza się ruchem posuwistym. Łuk elektryczny powstający pomiędzy drutem i napawanym materiałem powoduje topienie tego drutu, a siły elektromagnetyczne przyspieszają ruch kropel metalu w kierunku napawanej blachy, gdzie tworzy się ciekłe, przesuwające się jeziorko napoiny. Spawalniczy łuk elektryczny nadtapia również napawaną blachę i następuje wymieszanie materiału stopionego z materiałem dodatkowym do spawania. Jest to pożądane do skutecznego i trwałego połączenia napoiny z napawaną blachą. Z drugiej strony, nadmierne wymieszanie materiału napoiny i blachy jest niekorzystne z punktu widzenia własności

podajnikiem mechanicznym, podczas gdy

druga

napoiny. Jakość napoiny zależy też od szybkości jej krystalizacji – jest generalnie tym lepsza, im krystalizacja przebiega szybciej. Procesy te są zależne od szybkości posuwu uchwytu spawalniczego, mocy łuku i zdolności do odprowadzania ciepła z układu [1,2].Parametrem, który powinien uwzględnić powyższe uwarunkowania, jest energia liniowa spawania. Zależy ona wprost proporcjonalnie od iloczynu natężenia pradu spawania I i napięcia łuku elektrycznego U i odwrotnie proporcjonalnie do prędkości spawania v_{sp} . Zależność przedstawia wzór:

$$EL = \frac{U \cdot I}{v_{sp}}$$
(1)

Jak wskazuje doświadczenie, nie jest możliwe nieskończone podnoszenie prędkości spawania oraz prądu spawania i napięcia łuku elektrycznego. W pewnym momencie ograniczenia związane z odprowadzaniem ciepła z napawanego materiału uniemożliwiają zwiększanie tych parametrów [5]. Badania przedstawione w niniejszej pracy miały na celu określenie, na ile modelowanie numeryczne może być narzędziem do wyznaczenia optymalnego ze względu na własności napoiny zakresu energii liniowej spawania.

2. MODEL NUMERYCZNY

Model obejmuje wzdłużny przekrój przez fragment napawanej płyty o długości 50mm, grubości blachy 6mm, warstwę atmosfery o grubości 30mm oraz dysze gazową. Jako materiał blachy przyjęto stal S500MC z następującymi właściwościami: gęstość 7850 kg / m³, temperatura liquidusu 1520 °C, temperatura solidusu 1350 °C, ciepło właściwe 460 J /kgK, ciepło topienia 272 KJ/kg. Napawanie odbywało się metodą GMA. Elektroda poruszała się z prędkością 2 cm/s poziomo względem płyty; a drut był podawany z prędkością 5 cm/s. Z dyszy gazowej wypływało 12 litrów/min argonu. Właściwości cieplne materiału drutu: gęstość 7850 kg / m³, temperatura liquidusu 1520 °C, temperatura solidusu 1350 °C, ciepło właściwe 460 J/kgK, ciepło topienia 272 KJ/kg). Średnica drutu 1,2mm.

W modelu wykorzystano metodę analizy przepływów wielofazowych VOF (volume of fluid) [4]. Jako fazę podstawową (fazę wypełniającą) przyjęto mieszaninę gazów (argon, powietrze) opływających obszar napawania. Jako druga faze przyjęto metal elektrody. Jako trzecią fazę przyjęto materiał rodzimy napawanej płyty. Założono, że metal ten dopływa do obszaru łuku w postaci ciekłej z tym, że energia zużyta na topienie elektrody została odjęta od energii cieplnej wydzielającej się w łuku elektrody, która wynika z natężenia i napięcia prądu elektrycznego. Napięcie powierzchniowe pomiędzy fazami zaczerpnięto z literatury [3] i założono na poziomie 1600 mN/m. Kąty zwilżania ciekłego metalu oceniono na podstawie obrazowania szybką kamerą oraz badań metalograficznych na poziomie 90^{0} Kąt ten jednakże zmieniał się w zależności od energii łuku, technologii napawania i materiału napoiny. W przedstawionym przykładzie wykorzystano również model krzepnięcia i topienia (solidification and melting). Pozostałe zjawiska transportu masy i energii modelowane są za pomocą standardowych metod dostępnych w pakiecie Fluent: turbulencja za pomoca standartowego modelu k-e, promieniowanie za pomoca metody Discrete Ordinate [4].

2.1 TECHNIKA SLIDING MESH

W opisywanym przykładzie wykorzystano technikę Sliding Mesh, tzn. model symuluje przesuwanie się



Rys.1. Schemat układu w geometrii 2D z wykorzystaniem sliding mesh oraz topienia się płyty



Mesh (Time=1.0455e+00)	May 28, 2011 ANSYS FLUENT 13.0 (2d, dp, pbns, vof, ske, transient)
Rys.2. Siatka w geometrii 2D z wykorzystaniem Sliding Mesh	

dwóch części siatki numerycznej względem siebie wzdłuż wybranej powierzchni stanowiącej interfejs pomiędzy obiema częściami modelu [4]. Schemat zastosowanej geometrii przedstawiono na rys. 1. Powierzchnie interfejsu wybrano tak, aby utworzona spoina znalazła się w nieruchomej części siatki.

Zastosowaną siatkę numeryczną zaprezentowano na rys. 2. Zagęszczono obszary, w których spodziewano się znacznych gradientów temperatury oraz koncentracji faz. Założono dwie powierzchnię interfejsów: na powierzchni górnej napawanej blachy (pomiędzy materiałem stałym a płynem) oraz jako powierzchnię poślizgu pomiędzy dwoma częściami siatki.

2.2 TECHNIKA MRF (MOVING REFERENCE FRAME)

W wariancie tym założono, że badana geometria oraz siatka numeryczna pozostają nieruchome, symulowane jest natomiast przemieszczanie się materiału płyty, napoiny oraz warstwy atmosfery nad płytą z prędkościami wynikającymi z ruchu głowicy spawalniczej [4].

2.3 WARUNKI BRZEGOWE

Warunki brzegowe dla przedstawionych uproszczonych modeli numerycznych skonstruowano na podstawie badań eksperymentalnych, których



Rys.3. Schemat układu w geometrii 2D z wykorzystaniem techniki MRF





Rys.4. Siatka w geometrii 2D z wykorzystaniem techniki MRF

celem jest opracowanie pełnego modelu numerycznego w geometrii 3D. Niezbędne zatem było dostosowanie ich do geometrii dwuwymiarowej, uwzględniając fakt, że celem pracy było testowanie dostępnych modeli w oprogramowaniu Ansys Fluent. Warunki brzegowe przyjęto następująco:

- prędkość wypływu gazu 0,5m/s, wektor prędkości normalny do powierzchni włotu, rozkład prędkości równomierny w całym profilu, temperatura gazu równa temperaturze otoczenia 25°C (warunek brzegowy Dirichleta),
- prędkość posuwu drutu przyjęto 0,12m/s jako prędkość płynnego metalu na końcówce elektrody, temperatura 1800°C (warunek brzegowy Dirichleta),
- temperatura otoczenia 25°C, ciśnienie manometryczne otoczenia p_{am}=0Pa przyjęto jako warunek brzegowy pressure outlet na granicy obszaru obliczeń,
- konwekcyjny całkowity współczynnik przepływu ciepła15 W/m²K i temperatura płynu 25°C (warunek brzegowy Robina) przyjęto na dolnej powierzchni płyty, która jednocześnie ograniczała obszar obliczeń na dole modelu,
- ruch napawanej płyty przyjęto 0,02m/s,
- na powierzchni czołowej płyty od strony włotu i wylotu założono stałą temperaturę równą temperaturze otoczenia (warunek brzegowy Dirichleta).

3. WYNIKI

Przedstawione wyniki obliczeń miały za zadanie przetestowanie techniki Sliding Mesh oraz MRF (moving reference frames) wraz z modelowaniem przepływów wielofazowych. Zastosowanie geometrii dwuwymiarowej pozwalało na szybsze obliczenia w wielu wariantach fizycznych oraz numerycznych.

Wyniki obliczeń zaprezentowano w trzech zestawieniach: rozkładu faz (rys. 5), rozkładu temperatury (rys. 6) oraz rozkładu krzepnięcia materiału napoiny (rys. 7). Przedstawione obliczenia prowadzone były dla czasu około 2s, co dla przyjętych parametrów procesu napawania pokrywało cały badany odcinek napoiny.

Obserwacje wyników wskazują, że powiązanie pola temperatury z kształtem napoiny oraz procesami krzepnięcia jest zgodne. Maksymalna temperatura występuje w obszarze transferu roztopionego materiału od elektrody do jeziorka spawalniczego. Granice początku i końca krzepnięcia odpowiadają zadanym temperaturom solidusu i likwidusu. Prezentowane wyniki pokazują również rozkład temperatury w materiale rodzimym w różnych momentach procesu.



Z punktu widzenia zastosowania symulacji do analiz praktycznych istotne jest badanie rozkładu temperatury w materiale napawanym wzdłuż osi y. Prezentowane przykłady pokazują, że symulacje komputerowe mogą dostarczyć takich danych konfiguracji. Zastosowanie różnych dostępnych w pakiecie Fluent wariantów warunków brzegowych w miejscu hipotetycznego wylotu napawanej płyty generowało niefizykalne błędy. Natomiast jest możliwe przeprowadzenie obliczeń bardziej uproszczonych,



dostępnych w inny sposób jedynie na drodze niszczących badań struktury metalograficznych

materiału pod napoiną.

Z uzyskanych wyników można wnioskować, że w przypadku zastosowania modelu VOF dla trzech faz w połączeniu z techniką Sliding Mesh proces krzepnięcia wydaje się być przedstawiony prawidłowo. Zastosowanie techniki MRF napotkało na istotne ograniczenia modeli zaimplementowanych w komercyjnym oprogramowaniu. Problem opisano dokładniej we wnioskach.

4. MODEL DWUWYMIAROWY – WNIOSKI

Z uzyskanych wyników można wnioskować, że w przypadku zastosowania modelu VOF dla trzech faz w połączeniu z techniką MRF występują istotne błędy w pobliżu niektórych warunków brzegowych. Model nie zachowywał ciągłości materiału napawanej płyty przy wylocie z układu (obszar zakreślony na rys.8). Problemem okazał się brak dostępnego w pakietach CFD odpowiedniego warunku brzegowego dla takiej w układzie dwu faz przy założeniu nietopliwej płyty z uwzględnieniem jedynie efektów cieplnych zmiany fazy. Modele takie mogą być przydatne do wstępnego badania zjawisk cieplnych podczas napawania ze względu na to, że technika MRF umożliwia modelowanie stanów pseudoustalonych dla stosunkowo niewielkiego wycinka badanego obiektu.

Symulacje z zastosowaniem techniki Sliding Mesh zarówno w układzie dwóch, jak i trzech faz dużo lepiej odwzorowywały proces układania napoiny, natomiast utrudnione jest analizowanie większych obszarów napawanego materiału.

Wymaga to analizy dużo większego obszaru napawanej płyty, dodatkowo gęsto podzielonego, co pociąga za sobą większe wymagania odnośnie do wydajności obliczeń. Zastosowanie takiego modelu wydaje się jednak konieczne, jeśli ma być analizowana jakość ułożenia napoiny, a nie tylko zjawiska cieplne.



Rys.8 Błędy zaobserwowane w modelu przy zastosowaniu techniki MRF w układzie 3 faz

Literatura

- 1. Klimpel A.: Technologie napawania i natryskiwania cieplnego. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 1999.
- 2. Pilarczyk J. Poradnik inżyniera: spawalnictwo. Warszawa: WNT, 2003.
- 3. Matsumoto.T, MisonoT, Fuji.H, Nog.K: Surface tension of molten stainless steels under plasma conditions. "Journal of Materials Science" 2005, 40, p. 2197-2200.
- 4. Ansys Inc., ANSYS Fluent 14.0 Theory Guide, 2009.
- 5. Słoma J., Szczygieł I, Sachajdak A.: Weryfikacja zjawisk cieplnych podczas napawania za pomocą kamery termowizyjnej. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 2011, nr 2, s. 51-55.

Proszę cytować ten artykuł jako:

Słoma J., Szczygieł I., Sachajdak A.: Modelowanie zjawisk cieplnych w procesie napawania w geometrii 2D. "Modelowanie Inżynierskie" 2013, nr 46, t. 15, s. 110 – 116.