

SIMULAREA NUMERICĂ A PROCESULUI DE CONTRACȚIE ȘI DE FORMARE A RETASURILOR ÎN TIMPUL PROCESULUI DE SOLIDIFICARE

V. Soporan

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

C. Vamoș

Institutul de Calcul "Tiberiu Popoviciu" Cluj-Napoca

C. Pava

Centrul de Meteorologie Cluj-Napoca

ABSTRACT: *The shrinkages cavity can be caused by the increase of the alloy mass density during its solidification. The associated decrease of the volume occupied by the solidifying alloy creates a pressure gradient which draws the liquid from the neighboring regions into the solidification front. In this paper we present a numerical algorithm for the shrinkage cavity simulation assuming that the liquid alloy can flow through the mushy region without any opposition. This algorithm is attached to a three-dimensional numerical model for alloy solidification using finite difference method and neglecting the alloy flow. To experimentally verify the numerical algorithm, we have chosen pure aluminium whose mushy region can be neglected and which has a great variation of density at solidification. We have used a shrinkage test piece, with cylindrical symmetry affected by a large shrinkage cavity.*

KEY WORDS: *solidification, shrinkage cavity, numerical simulation, finite difference method*

1. INTRODUCERE

Una din cauzele formării retasurilor este creșterea densității aliajului în timpul procesului de solidificare. Modelul numeric al procesului de contracție face parte din modelul numeric de turnare, elaborat de autorii acestui articol, prezentat în lucrări anterioare acestuia [1], [2], [3], [4]. Modelul are un grad mare de generalitate, abordând problema tridimensională, cu luarea în considerare a curgerii aliajului, a fenomenelor termice și a celor legate de contracție și de formare a retasurii.

2. CARACTERIZAREA MODELULUI

Spațiul în care se analizează procesul de solidificare este spațiul tridimensional, sistemul de coordonate putând fi cartezian sau cilindric. Modelul ține seama de prezența mai multor elemente tehnologice, și anume: aliaj (stare lichidă, stare intermediară, stare solidă), răcitor exterior, răcitor interior, maselotă, maselotieră, răcitor în materialul din care este realizată forma. De asemenea se ține cont de eliberarea căldurii latente de solidificare,

utilizându-se metoda variației fracției solide, după regula pârgheii. Transferul termic este guvernat de ecuația Fourier a conducției termice. Această ecuație este însoțită de condițiile inițiale și la limită de tip Cauchy, Dirichlet și Neumann. Ecuațiile se aplică domeniilor participante.

În cadrul modelului formării retasurii se presupune că scăderea volumului ocupat de masa de aliaj solidificată este compensată printr-un flux de aliaj lichid, adică se consideră că regiunea păstoasă nu reprezintă un obstacol semnificativ la curgerea aliajului lichid. Scăderea volumului ocupat de masa de aliaj solidificată creează un gradient de presiune care antrenează aliajul din regiunile învecinate. Dacă zona păstoasă permite curgerea aliajului lichid, atunci retasura se formează prin scăderea suprafeței libere a volumului de aliaj lichid în contact cu zona păstoasă. În caz contrar în zona păstoasă apar discontinuități microscopice. Algoritmul numeric pentru simularea formării retasurii se face în ipoteza că zona păstoasă nu se opune trecerii aliajului lichid. Acest algoritim este atașat unui model numeric de solidificare tridimensional în diferențe finite, în care curgerea aliajului lichid este neglijată.

La fiecare pas de timp se efectuează următoarele operații:

- se identifică volumele de aliaj lichid prin care se poate transmite fluxul de masă necesar compensării contracției din celulele în curs de solidificare folosind variația fracției solide cu ajutorul modelului numeric;
- se calculează creșterea masei de celule cu aliaj în curs de solidificare, folosind variația fracției solide calculate cu ajutorul modelului numeric;
- pentru satisfacerea conservării masei se compensează creșterea de masă calculată în etapa precedentă prin coborârea nivelului suprafeței libere a volumului cu aliaj lichid aflată în contact cu celulele în curs de solidificare.

3. STRUCTURA TEHNOLOGICĂ ANALIZATĂ

Punerea la punct a funcționării modelului a impus un studiu atent a parametrilor numerici, fizici și tehnologici. Studiul s-a realizat prin intermediul probei sferice, turnată într-o formă din amestec de formare cu un inel din oțel la partea superioară a formei (fig1).

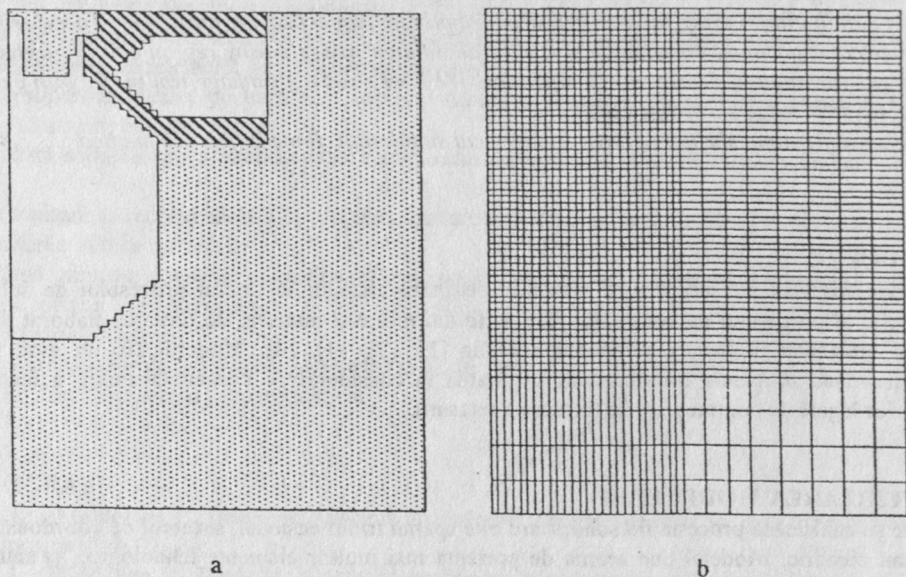


Fig.1. Secțiunea verticală a probei sferice (a) și rețeaua de discretizare a acesteia (b)

Analiza s-a făcut prin tratarea problemei în spațiul tridimensional, sistemul reprezentat fiind cel cilindric. Pentru discretizare s-a folosit o rețea cu 35 de pași variabili pe direcția Ox, 60 de pași pe direcția Oy, iar pasul unghiular este $\Delta\varphi=\pi/9$. Pasul de timp utilizat este de 0,02 secunde. Pentru verificarea experimentală s-a folosit aluminiul pur, a căruia zonă păstoasă se poate neglija și care are o variație mare a densității la solidificării. Temperatura de turnare aleasă pentru aluminiu a fost de 760 °C, iar forma prezintă temperatura inițială de 20 °C. Pentru rularea programului s-au folosit următoarele caracteristici termofizice: $\rho_{011}=2380$ kg/m³, $\rho_{015}=2702$ kg/m³, $c_{11}=1050$ J/kg.grad, $c_{15}=1000$ J/kg.grad, $\kappa_{a11}=100$ W/m.grad, $\kappa_{a15}=170$ W/m.grad, $\rho_{02}=1600$ kg/m³, $c_2=1100$ J/kg.grad, $\kappa_{a2}=0,51$ W/m.grad, $L=398000$ J/kg.

4. ANALIZA REZULTATELOR MODELĂRII ȘI COMPARAREA CU DATELE EXPERIMENTALE

În figura 2 se prezintă evoluția frontului de solidificare și a formării retasurii obținute în urma calculului numeric și a experimentului de turnare. O sinteză a datelor experimentale și a celor obținute pe cale numerică este prezentată în tabelul 1.

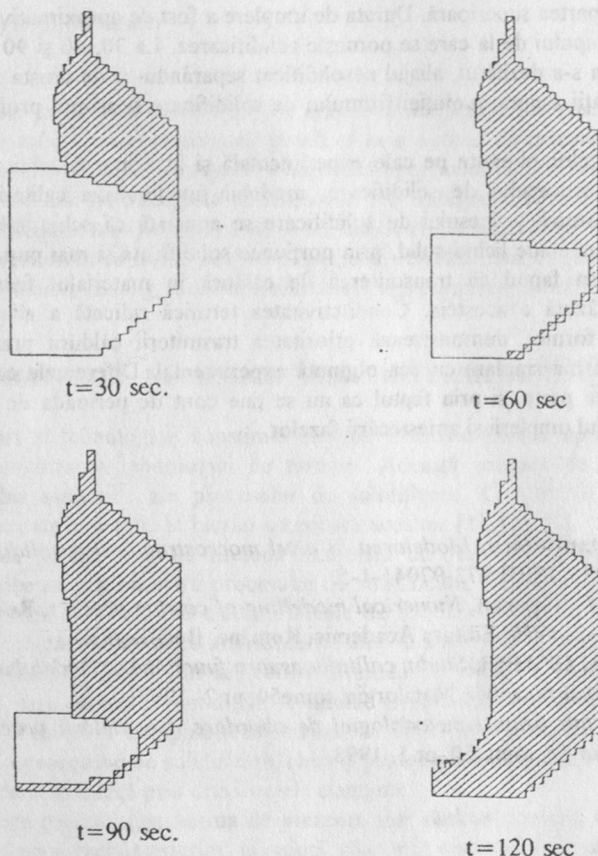


Fig. 2. Frontul de solidificare și profilul retasurii pentru proba sferică

Tabelul I Compararea datelor experimentale și a celor obținute în urma calculului pentru proba sferică

Nr.	Parametru analizat	Experiment	Calculul numeric
1.	Timp solidificare	215	207
2.	Înălțimea solidificată de la partea superioară după 30 de secunde, în mm	34	50
3.	Înălțimea solidificată de la partea superioară după 60 de secunde, în mm	57	65
4.	Înălțimea solidificată de la partea superioară după 90 de secunde, în mm	67	75
5.	Înălțimea solidificată de la partea superioară după 120 de secunde, în mm	Toată piesa	Toată piesa

Experimentul a fost realizat prin turnarea probei sferice din aluminiu într-o formă din amestec de formare și un inel atașat la partea superioară. Durata de umplere a fost de aproximativ 10 secunde. Acest timp s-a neglijat în aprecierea timpului de la care se pornește solidificarea. La 30, 60 și 90 secunde de la umplerea formei cu aluminiu, aceasta s-a dezbătut, aliajul nesolidificat separându-se de crusta solidificată. Prin această procedură se obțin informații asupra evoluției frontului de solidificare și asupra profilului retaturii în timpul formării acesteia.

Din compararea datelor obținute pe cale experimentală și în urma calcului numeric se constată că, exceptând faza inițială a procesului de solidificare, modelul funcționează calitativ și cantitativ în bune condițiuni. Din analiza dinamicii procesului de solidificare se constată că schimbul de căldură se produce prioritar prin suprafața de separație lichid-solid, prin porțiunea solidificată și mai puțin prin forma de turnare. Acest lucru se explică prin faptul că transmiterea de căldură în materialul formei este îngreunată de conductivitatea termică scăzută a acesteia. Conductivitatea termică ridicată a aliajului deja solidificat, în comparație cu materialul formei, demonstrează prioritatea transmiterii căldurii prin statul deja solidificat. Retasura calculată are o formă similară cu cea obținută experimental. Diferențele care apar în prima fază a procesului sunt explicate, în parte, și prin faptul că nu se ține cont de perioada de umplere și de mișcarea ulterioară a aliajului în timpul umplerii și amestecării fazelor.

BIBLIOGRAFIE

1. V. Soporan, V. Constantinescu, *Modelarea la nivel macrostructural a solidificării aliajelor*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1995, ISBN 973-97041-1-5.
2. C. Vamoș, C. Pavai, V. Soporan, *Numerical modelling of casting process*, Rev. Anal. Numer. Theorie Approximations (25), 1-2, 1996, Editura Academiei Române, București.
3. V. Soporan, C. Vamoș, C. Pavai, *Studiu calitativ asupra funcționării modelului numeric al solidificării cu verificarea funcționării retaturii*, Metalurgia, tome 50, nr. 2, 1998.
4. V. Soporan, *Considerații asupra metodologiei de abordare a modelării procesului de solidificare a pieselor turnate*, Metalurgia, tome 50, nr. 5, 1998.