

III P830

METALURGIA

PUBLICAȚIA EDITURII ȘTIINȚIFICE F.M.R.

1999

ISSN 0461 - 9579



UZINSIDER

Univ de B
BM
Activități de construcții și modernizări de
uzine metalurgice în România și în
străinătate, în cooperare cu companii de
renume specializate în tehnologia și
execuția echipamentelor pentru industria



UZINSIDER s.a.

12, Carol I Blvd., Bucharest - 3, România
Phone: (40.1) 313 16 34
Fax: (40.1) 312 39 02, Telex: 12 402-UZSID
E-mail: uzinside@box.mail box.ro

Sumar

<i>Scorțea Costin, Lepădatu V. Gheorghe: Coordonatele dezvoltării industriale și economico-financiare în deceniul patru</i>	5
<i>Bejan Mircea: Considerații privind determinarea stării de tensiuni în batiurile preselor hidraulice de matrițat</i>	14
<i>Chițu Gheorghe: Relansarea producției de laminate plate în România</i>	19
<i>Nagy I., Nagy Daniela: Realizări și perspective privind extracția lichid-lichid a cuprului în tehnologiile hidrometalurgice</i>	27
<i>Nica P., Agop M., Carcea I.: Considerații asupra determinării tensiunii superficiale folosind metoda picăturii imobile.....</i>	31
<i>Micle Valer: Influența factorilor tehnologici asupra degenerescenței superficiale a grafitului la piesele turnate din FgN</i>	39
<i>Ivănescu Al., Ene Antoaneta: Studiul eredității elementelor reziduale în procesul de elaborare a oțelului în convertizor LD</i>	44
<i>Soporan V., Vamos C., Pavai C.: Influența curgerii aliajului în timpul umplerii cavității asupra procesului de solidificare</i>	56
<i>Varga Iosif, Varga Bela: Considerații privind elaborarea și structura aliajelor de aluminiu cu componente ușor fuzibile</i>	71
<i>Ștefan A., Vertan H., Mustață Șt. M.: Considerații privind un model hidraulic la turnarea pieselor</i>	76
<i>Chira I.: Asimilarea aliajelor turnate tip Adamit.....</i>	80
<i>Mărginean I., Ripoșan Al., Ibraim I.: Gradul de influență al impurităților asupra calității aliajelor de aluminiu</i>	86
<i>Crișan Aurel: Modificarea fontelor cu granule active</i>	94
<i>Geamăn Virgil: Elemente de protecția mediului specifice tratamentelor de suprafață</i>	99
<i>Carcea I., Mareș M., Roman C., Chelariu R.: Studiul influenței conținutului de particule asupra proprietăților mecanice ale unor compozite hibride. Partea a II-a. Influența carburii de siliciu</i>	102
Recenzii	106
Cărți apărute la Editura Științifică F.M.R.	111
Noi apariții	112
Din istoria metalurgiei	117
Noutăți din trecut	118
Congrese-târguri	119
Am notat pentru dumneavoastră	121
Figuri "încremenite" în bronz	124
Revista revistelor	13, 18, 43, 70, 75
Informații din metalurgia mondială	I - XXVII

CONTENTS *Metalurgia 4/ '99*

D.C.: 338.45

Costin Scorțea, Gheorghe V. Lepădatu: **Coordinates of Industrial Development and Economical Financial in the Fourth Decade**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.5

D.C.: 621.979.07

Mircea Bejan: **On the Determination of Stress Status in the Stamping Hydraulic Presses**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.14

D.C.: 621.771

Gheorghe Chifu: **The Revival of the Flat-Products Manufacturing in Romania**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.19

I. Nagy, Daniela Nagy: **Achievements and Expectations Referring to Liquid-Liquid Extraction of Cooper in the Hydrometallurgical Technologies**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.27

D.C.: 621

P. Nica, M. Agop, I. Carcea: **On the Surface Tension Measurement using Immobile-Drop Method**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.31

D.C.: 669.131.622

Valer Micle: **The Influence of Some Technological factors Upon the Superficial Degeneration of the Graphite in FgN Cast Product**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.39

D.C.: 669.14

Alexandru Ivănescu, Ene Antoaneta: **Study of Residual-Elements Heredity During the Steel making Process in LD converter**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.44

D.C.: 621.74

V. Soporan, C. Vamos, C. Pavai: **The Influence of Alloy Flowing During Filling the Cavity Upon the Solidification Process**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.56

D.C.: 669.71

Iosif Varga, Bela Varga: **Some Considerations About the Elaboration and the Structure of the Aluminium Alloys Including Easily-Fusible Components**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.71

D.C.: 621.74

A. Ștefan, H. Vertan, Șt.M. Mustață: **On a Hydraulic Model for Parts Casting**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.76

D.C.: 621.74

Ion Chira: **Assimilation of ADAMIT-Type Cast Alloys**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.80

D.C.: 669.71

Ion Mărginean, Al. Ripoșan, Ismet Ibrahim: **Impurities Influence Upon the Quality of Aluminium Alloys**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.86

D.C.: 669.162

Aurel Crișan: **Cast Iron Modification Using Active Particles**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.94

D.C.: 621.794.6

Virgil Geamăn: **Environmental-Protection Elements, Specific for Surface Treatments**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.99

D.C.: 669.018.25

I. Carcea, M. Mareș, C. Roman, R. Chelariu: **Researches on the Influence of Particle Volume Fraction on the Mechanical Properties of an Aluminium Matrix Hibrid Composite. Part. II —The Influence of SiC Particles**
Metalurgia (51), 1999, nr.4, p.102

INFLUENȚA CURGERII ALIAJULUI ÎN TIMPUL UMLERII CAVITĂȚII ASUPRA PROCESULUI DE SOLIDIFICARE

THE INFLUENCE OF ALLOY FLOWING DURING FILLING THE CAVITY UPON SOLIDIFICATION PROCESS

Prof. dr. ing. V. Soporan, drd. fiz. C. Vamoș, mat. C. Pavai
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

C.Z.:621.74

REZUMAT/ABSTRACT

Lucrarea prezintă modelul numeric de cuplare a fenomenelor termice și hidraulice la procesul de formare a retasurilor. Modelul numeric pentru fenomenele termice se bazează pe metoda volumelor de control, iar modelul hidraulic se bazează pe metoda SOLA-VOF. În cadrul modelului formării retasurii se presupune că scăderea volumului ocupat de masă 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. Experimentul numeric s-a realizat pe proba sferică, turnată din fontă. Mișcarea aliajului în timpul umplerii formei și după această perioadă influențează substanțial procesul de solidificare, imaginile obținute pe cale numerică făcând o dovadă a acestei afirmații.

The paper presents coupling numeric model of thermal and hydraulical phenomena during the shrink holes forming process. Numerical mode for thermal phenomena is according to control volum method and the hydraulic model on SOLA-VOF method.

INTRODUCERE

Programele comerciale existente pe plan mondial conțin modelarea curgerii, conducția termică, transformarea de fază cu eliberarea căldurii latente de solidificare și mai puțin fenomenele legate de interacție și de formarea retasurii. Pe plan internațional simularea numerică a formării retasurilor este un subiect de mare actualitate. Evaluarea zonelor marcate de

retsuri se face, în mod curent, prin metode indirecte, statistice, semiempirice [57]-[59]. Până în acest moment există puține metode numerice pentru solidificare care să conțină și modelarea retasurii [60].

Din analiza ultimelor conferințe internaționale [5]-[55], [61] am constatat că ponderea importantă a comunicărilor din domeniul retsurilor și compactității materialelor este aceea al materialelor metalice neferoase și

mai puțin din cel al domeniului fontelor.

Colectivul de la Cluj a obținut rezultate pentru formarea retasurii în cazul unor piese simple din aluminiu și a început să abordeze și domeniul fontelor, rezultatele fiind publicate și com-unicate în mai multe rânduri [21], [39], [42].

În cadrul acestei lucrări se prezintă influența curgerii aliajului în timpul umplerii cavității formeii asupra procesului de solidificare și de formare a retasurii.

MODELUL FIZIC

Procesul de solidificare este deosebit de complex, el fiind caracterizat prin fenomene hidraulice (curgerea aliajelor în sistemele de alimentare, curgerea aliajelor în cavitatea formeii), fenomene termice (transmiterea căldurii în piesa turnată, în elementele tehnologice, la interfața diverselor elemente tehnologice), fenomene de transport de masă (redistribuirea elementelor de aliere în masa aliajului), fenomene legate de contracția aliajului în stare lichidă, la solidificare și în stare solidă.

Modelul se caracterizează prin următoarele elemente:

- modelul creat este general, ține seama de prezența mai multor domenii tehnologice, și anume: aliaj, formă, răcitor interior, răcitor exterior, maselotă, maselotieră, răcitor în materialul din care este constituită forma;
- complexul tehnologic este definit în sistemul tridimensional (axe carteziane sau cilindrice, în funcție de configurația geometrică a piesei);
- caracteristicile termofizice ale elementelor tehnologice participante sunt caracterizate prin valori medii specifice intervalelor de analiză;
- modelul ține seama de eliberarea căldurii latente de solidificare după regula pârgheii;
- transferul de căldură în elementele tehnologice se desfășoară prin conductivitate termică, fenomen care este reglementat de ecuația Fourier,

tratarea făcându-se prin intermediul fluxurilor;

- procesul de transmitere de căldură se consideră că începe în momentul în care forma este umplută cu aliaj;
- metoda de calcul utilizată este metoda diferențelor finite;
- precizarea soluției se face prin folosirea condițiilor la limită de tip Cauchy, Dirichlet și Neumann.

ALGORITMUL NUMERIC

Modelul Numeric de Turnare (MONT), pe care l-a abordat colectivul din Cluj-Napoca, care stă la baza acestei cercetări, are un grad mare de generalitate. Față de celelalte încercări din România este net superior, prin faptul că face parte dintr-o altă generație, care abordează problema solidificării tridimensional, cu luarea în considerare a curgerii aliajului. Modelul conține noutăți în algoritmul de deplasare a suprafeței libere a aliajului. Pentru rezolvarea numerică a modelului se utilizează metoda SOLA-VOF, bazată pe o schemă cu diferențe finite aplicată pe o grilă încrucișată. Fenomenele fizice incluse în model sunt cele legate de curgerea aliajului ca un fluid vâcos, eliberarea căldurii latente de solidificare, transferul termic și contracția prezentă la solidificare cu implicațiile acesteia în formarea retasurii. Curgerea aliajului sub acțiunea forțelor gravitaționale, vâscoase și ale gradientului de presiune este descrisă prin câmpul de viteze și de presiune a căror evoluție este dată de ecuația Navier-Stokes, ecuația continuității și condițiile la suprafața liberă. Transferul termic în timpul curgerii și solidificării este guvernat de ecuația Fourier a conducției termice. Această ecuație este însoțită de condițiile inițiale și la limită de tip Cauchy, Dirichlet și Neumann [3], [15], [19], [24].

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 [2], [42], [39].

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 din celulele 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.

Curgerea fluidelor vâscoase cu suprafața liberă este guvernată de ecuațiile Navier-Stokes, ecuația continuității și ecuația pentru controlul poziției frontului de fluid prin intermediul variabilei $f=f(x,y,z,t)$ numită fracția de volum. Acest sistem este completat cu ecuația Fourier pentru transferul termic:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\
 & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\
 & \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \\
 (1) \quad & \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \\
 & \frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} + w \frac{\partial f}{\partial z} = 0 \\
 & \rho(c - \lambda \frac{\partial f_s}{\partial T}) \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)
 \end{aligned}$$

unde u, v, w sunt componentele vitezei, p - presiunea totală, ρ - densitatea, T - temperatura, iar k, ρ și c sunt conductivitatea termică, densitatea și căldura specifică. Cu λ s-a notat căldura latentă de solidificare, iar cu f_s fracțiunea volumică de aliaj solidificat.

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații (1) domeniul ansamblului tehnologic analizat este împărțit cu ajutorul unei rețele tridimensionale de plane paralele cu planele de coordonate xOy, xOz, yOz ale sistemului de coordonate, în $im \times jm \times km$ elemente paralelipipedice numite celule. Valorile im, ij și km reprezintă numărul

celulelor în direcția Ox, Oy și Oz (fig.1). dacă dimensiunile elementului (i, j, k) din rețea (fig.2) sunt $dx(i), dy(j), dz(k)$ atunci pentru descrierea geometriei ansamblului piesă-formă este necesară specificarea a $im+jm+km$ valori pentru muchiile celulelor din rețea.

Celulele din rețea conțin materiale diferite, motiv pentru care se introduce o variabilă suplimentară sub forma unei matrice tridimensionale, menită să controleze conținutul celulelor. Notăm cu $obs(i, j, k)$ valoarea sa pentru celula curentă (i, j, k) . Această variabilă va avea următoarele valori:

1. pentru aliaj lichid;
2. pentru aliaj solidificat la frontiera liberă;
3. pentru aerul exterior;
4. pentru aerul interior fără legătura cu exteriorul;
5. pentru aliaj solidificat în spatele frontului de solidificare;
6. pentru materialul formei;
7. pentru răcitori.

Pentru fiecare material trebuie să fie precizate caracteristicile termofizice: densitatea, coeficientul de conductivitate termică, căldura specifică, coeficientul de schimb termic global pentru suprafețele de contact cu aerul exterior. Pentru aliaj sunt specificate și densitatea în stare solidă, căldura latentă de solidificare, temperatura lichidus și temperatura solidus.

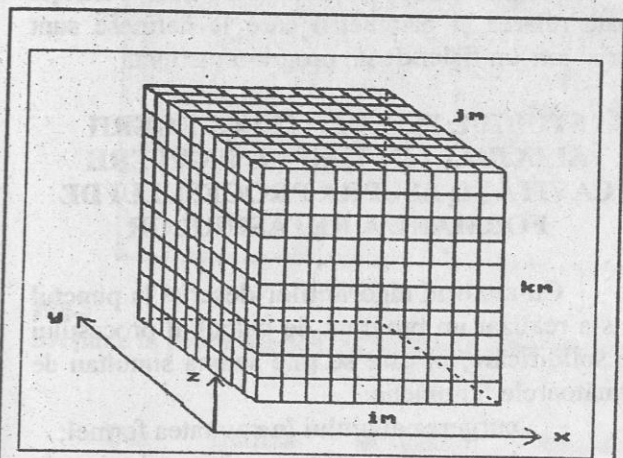


Fig.1
Rețeaua de discretizare în sistemul de coordonate Oxyz

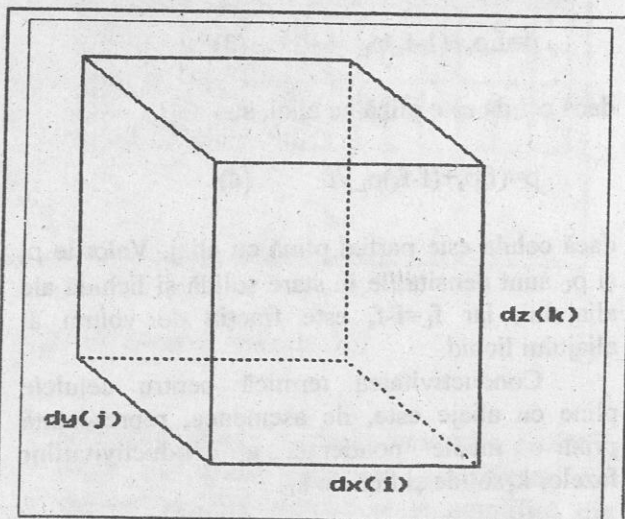


Fig.2
Celula curentă (I,j,k) din rețea și dimensiunile sale

Setarea condițiilor inițiale se face prin definirea valorilor corespunzătoare la momentul inițial t_0 pentru fiecare component al sistemului tehnologic. La frontierele ansamblului tehnologic sunt definite condiții la limite potrivite. Detalii privind specificarea condițiilor inițiale și la limită-la frontierele interioare, exterioare, lichide sau solide-precum și formularea corectă a problemei sunt prezentate în [3].

Ecuatiile (1) cu condițiile inițiale și la limită sunt discretizate în diferențe finite utilizând grila încrucișată formată de centre și mijloacele fețelor celulelor (I,j,k) , $i \in \{1, \dots, im\}$, $j \in \{1, \dots, jm\}$ și $k \in \{1, \dots, km\}$. Pentru derivată temporală se utilizează o schemă explicită cu două nivele.

Pentru a controla avansarea frontului de solidificare și contracția sunt utilizate funcțiile

de volum f și fracția de volum solidificat f_s :

$$f, f_s: \{1, \dots, im\} \times \{1, \dots, jm\} \times \{1, \dots, km\} \rightarrow [0, 1]$$

$$f(i,j,k) = \text{volumul aliajului din celulă } (I,j,k) \quad (2)$$

raportat la volumul celulei

$$f_s(i,j,k) = \text{volumul aliajului solidificat din celulă } (i,j,k) \text{ raportat la volumul celulei}$$

adică:

$$f(i,j,k) = 1 \text{ dacă celula este plină cu aliaj}$$

$$f(i,j,k) = 0 \text{ dacă celula nu conține aliaj și}$$

$$f(i,j,k) \in (0,1) \text{ dacă celula este parțial ocupată de aliaj.}$$

Pentru fracția de volum solidificat are:

$$f_s(i,j,k) = 1 \text{ dacă } T(i,j,k) < T_s, \text{ adică celula este plină cu aliaj solidificat}$$

$$f_s(i,j,k) = 0 \text{ dacă } T(i,j,k) > T_L, \text{ adică celula nu conține aliaj solidificat și}$$

$$f_s(i,j,k) = (T_L - T(i,j,k)) / (T_L - T_s) \text{ dacă } T_s < T(i,j,k) < T_L,$$

adică aliajul din celulă este parțial solidificat, unde T_s și T_L sunt temperaturile solidus și lichidus ale aliajului.

În funcție de tipul materialului ce se găsește într-o celulă-aliaj topit sau solidificat, materialul peretelui forme, miezului, răcitorului, aer etc.-ea este caracterizată prin constante de materiale mediate: densitate, căldură specifică, coeficient de conductivitate termică și coeficient de schimb termic global. Pentru celula curentă din domeniul aliajului vom avea densitatea medie.

$$\rho = f_s \rho_s + (1 - f_s) \rho_L \quad (3)$$

dacă celula este plină cu aliaj, sau

$$\rho = (f_s \rho_s + (1 - f_s) \rho_L) / f \quad (4)$$

dacă celula este parțial plină cu aliaj. Valorile ρ_s și ρ_L sunt densitățile în stare solidă și lichidă ale aliajului, iar $f_L = 1 - f_s$ este fracția de volum al aliajului lichid.

Conductivitatea termică pentru celulele pline cu aliaje este, de asemenea, reprezentată printr-o medie ponderată a conductivităților fazelor k_s solide și lichide k_L .

$$k = f_s k_s + f_L k_L \quad (5)$$

și analog, căldura specifică

$$c = f_s c_s + f_L c_L \quad (6)$$

unde c_s și c_L sunt căldurile specifice în faza solidă și lichidă.

Între temperaturile lichidus și solidus căldura specifică a aliajului este modificat în așa fel ca să țină cont de eliberarea căldurii latente de solidificare.

$$c_{Ls} = c - \lambda df_s / (T_L - T_s) \quad (7)$$

unde c este valoare căldurii specifice obținută cu relația (6).

Programul scris în Turbo-Pascal poate fi rulat și pe calculatoare personale. Deoarece derularea unui astfel de model durează zeci de ore, ea a fost împărțită în durate mai mici cu ajutorul unor fișiere în care sunt reținute câmpurile intermediare. Modelul numeric poate fi pornit de la oricare dintre aceste câmpuri. S-a construit și un program de analiză a câmpurilor intermediare și finale. Câmpurile inițiale de la care pornește toată rularea și parametrii care le definesc sunt scriși într-un fișier de un program distinct.

STUDIUL INFLUENȚEI CURGERII ALIAJULUI ÎN TIMPUL UMLERII CAVITĂȚII ASUPRA PROCESULUI DE FORMARE A RETASURILOR

Cu ajutorul algoritmilor descriși la punctul 2, s-a realizat un program de calcul al procesului de solidificare, în care se ține seama simultan de următoarele fenomene:

- curgerea aliajului în cavitatea forme;
- transferul termic în elementele ansamblului tehnologic;
- transformarea lichid-solid, cu eliberarea căldurii latente de solidificare;
- modificările dimensionale care au loc în stare lichidă, la solidificare și în stare solidă.

Pentru verificarea funcționării modelului numeric s-a folosit ansamblul de turnare a probei sferice, prezentat în figura 3: formă, inelul de răcire, aliaj introdus pe la partea superioară. Aliajul utilizat la turnare este fonta, pentru formă s-a utilizat un amestec de formare clasic (nisip de turnătorie, argilă), iar inelul de răcire este realizat din oțel.

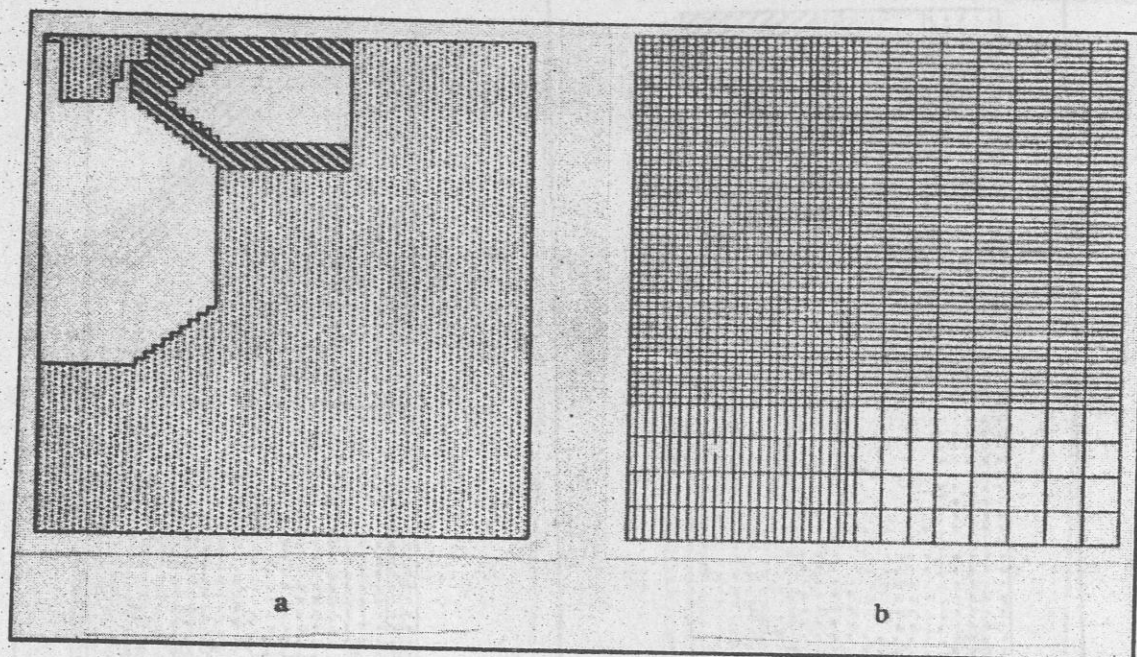


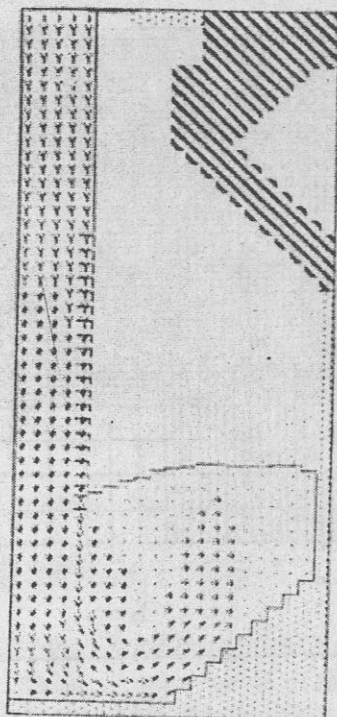
Fig.3
Secțiune în proba sferică utilizată la studiul numeric (a) și discretizarea aferentă (b)

Din analiza imaginilor secțiunii transversale se constată următoarele:

1. La timpul de 0,5 s de la începerea umplerii (fig.4), aliajul a atins partea inferioară a cavității, se stabilizează suprafața liberă a aliajului, iar în masa aliajului aflat în partea inferioară se creează un curent ascendent, care determină ridicarea suprafeței libere. În partea inferioară a cavității curentul este mai intens, existând pericolul erodării peretelui formeii.
2. La timpul de 0,8 s de la începerea umplerii (fig.5), aliajul continuă stabilizarea suprafeței libere a aliajului, curentul ascensional marginal se apropie de peretele formeii, totuși se păstrează o anumită staționare a aliajului în dreptul peretelui vertical al formeii. Această staționare face ca la nivelul interfeței, procesul de transmitere de căldură, după faza convectivă, să fie predominant conductiv.
3. În intervalul de la 1,15 s (fig.6) la 1,20 s (fig.7), cavitatea formeii se apropie de umplere cu aliaj, acesta ajungând la nivelul suprafeței exterioare a cavității. Curentul

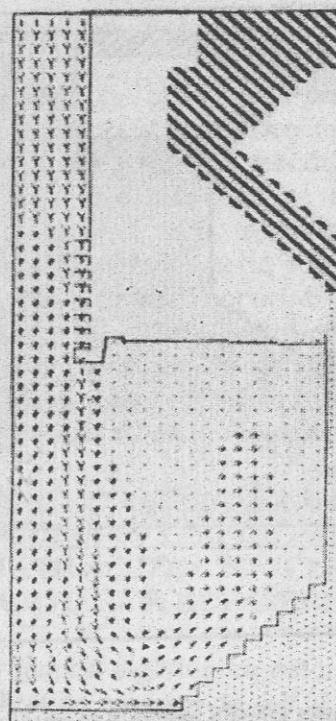
ascendent atinge partea superioară a cavității, după ce spală porțiunea solidificată din dreptul inelului metalic și se amplifică din cauza îngustării secțiunii transversale.

4. La timpul de 3 s (fig.8), după ce alimentarea din exterior a fost oprită, în masa aliajului se formează o mișcare circulară (turbionară). Această mișcare ajută la menținerea unei mase de aliaj mai caldă la nivelul părții inferioare a formeii. Mișcarea circulară este perturbată printr-un curent ascendent la partea superioară, care se împarte în două ramuri, ramura care se continuă ascendent spre răcitor și ramura descendentă care spală peretele formeii. Ramura ascendentă, cu o temperatură ridicată, determină o retopire a stratului solidificat. Fenomenul este observat și din grosimea mai mică a stratului solidificat la mijlocul răcitorului. Acest lucru determină o încetinire a procesului de solidificare la nivelul răcitorului. În același timp, începe procesul de formare a retasurii.



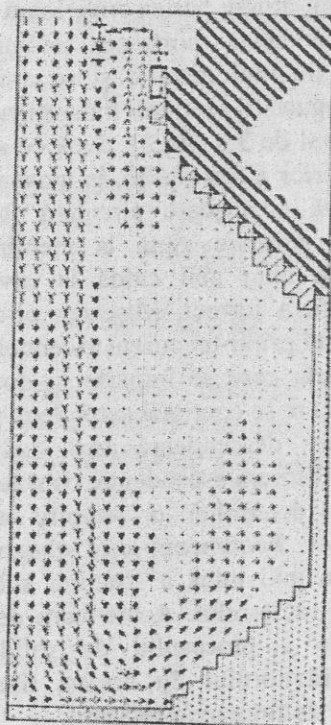
La t = 0.5000 sec

Fig. 4



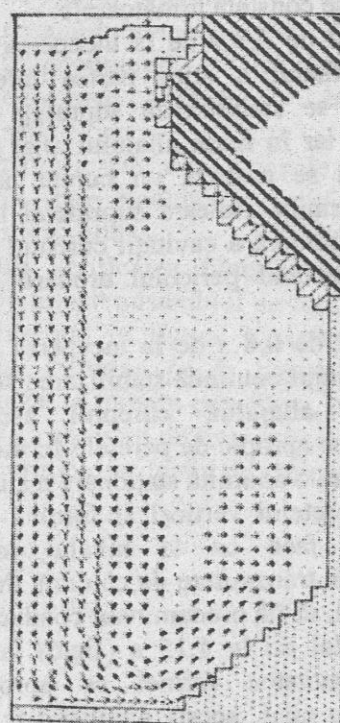
La t = 0.8000 sec

Fig. 5



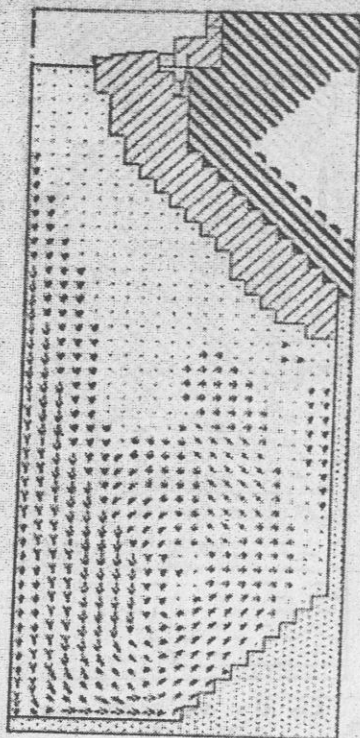
La t = 1.1500 sec

Fig. 6



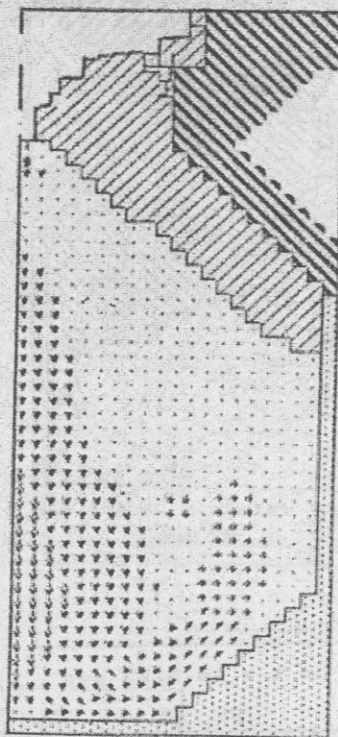
La t = 1.2000 sec

Fig. 7



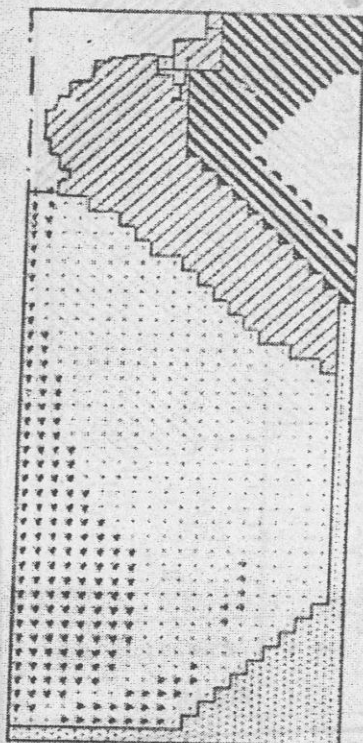
La t = 3.0825 sec

Fig. 8



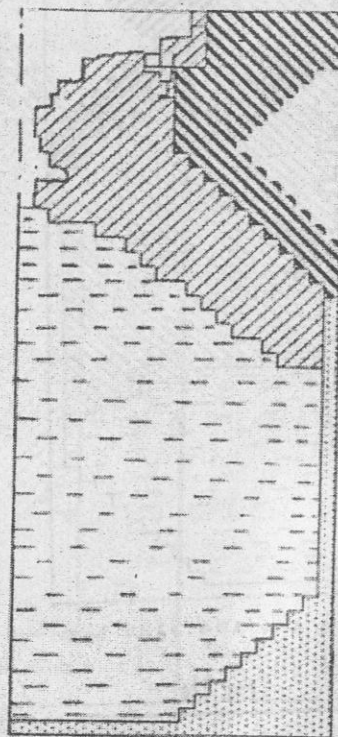
La t = 4.1325 sec

Fig. 9



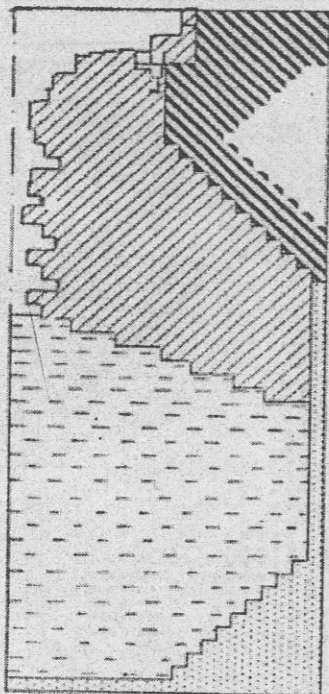
La t = 4.9825 sec

Fig. 10



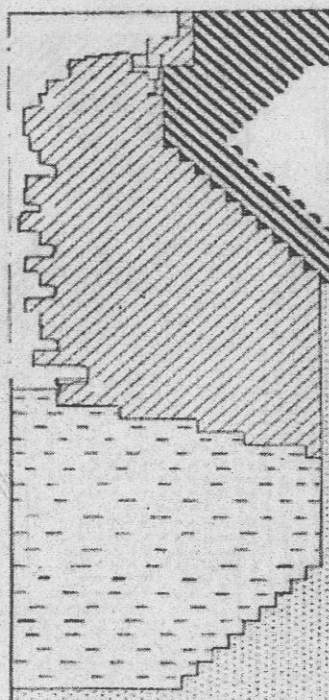
La t = 6.2825 sec

Fig. 11



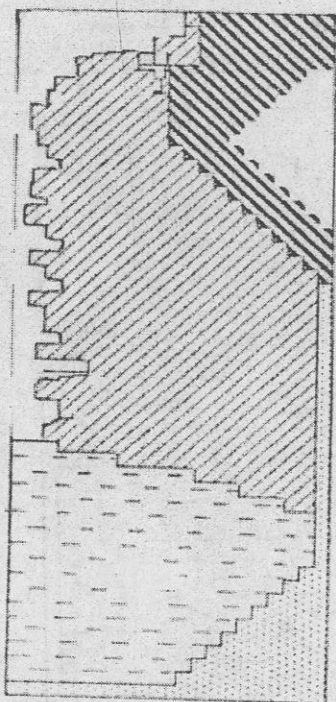
La t = 16.3125 sec

Fig. 12



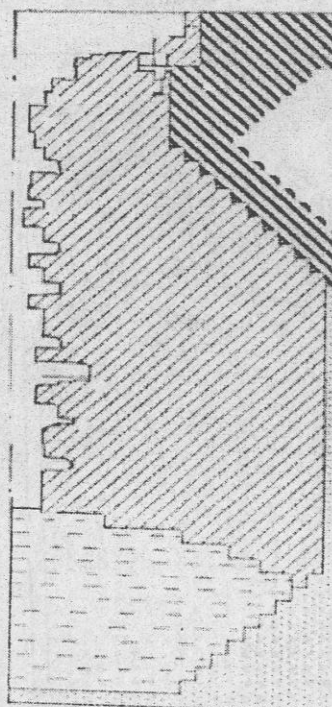
La t = 94.3125 sec

Fig. 13



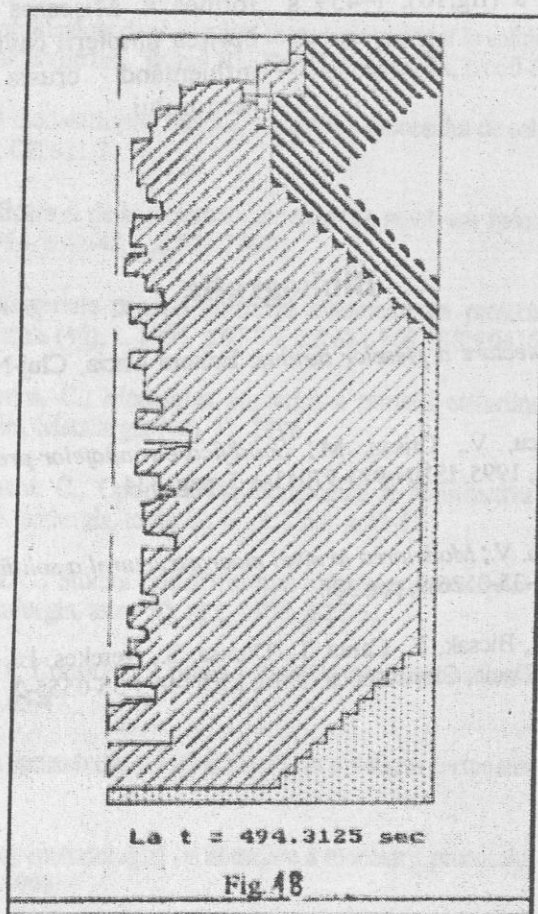
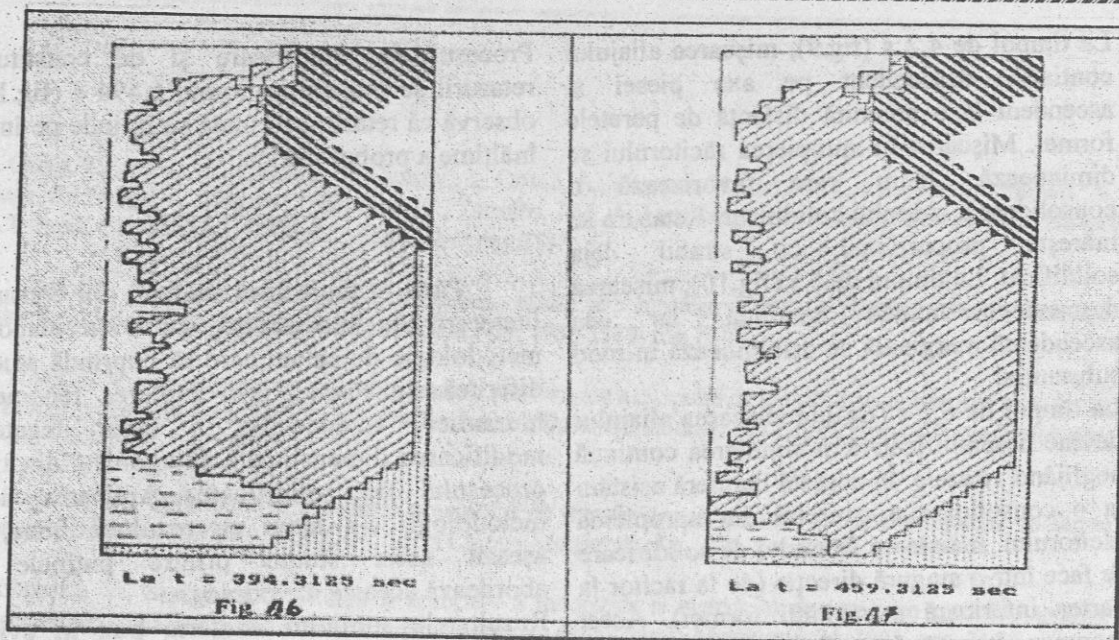
La t = 194.3125 sec

Fig. 14



La t = 294.3125 sec

Fig. 15



5. La timpul de 4,2 s (fig.9), mișcarea aliajului continuă, descendent pe axa piesei și ascendent la o anumită distanță de peretele forme. Mișcarea în apropierea răcitorului se diminuează, lucru care favorizează o consolidare a stratului solidificat. Retasura se mărește proporțional cu stratul deja solidificat. La timpul de 5 s (fig.10), mișcarea descendentă axială continuă, iar cea ascendentă marginală se diminuează în mod substanțial.
6. La timpul de 6,2 s (fig.11) mișcarea aliajului devine nesemnificativă și simularea continuă neglijând vitezele. În această manieră asistăm la o consolidare a stratului din apropierea răcitorului. Înaintarea frontului de solidificare se face într-o singură direcție (de la răcitor la partea inferioară a cavității forme). Acest fenomen, împreună cu formarea retasurii în partea axială continuă și pentru timpii $t=16,5$ (fig.12), $t=94$ s (fig.13), $t=194$ s (fig.14), $t=294$ s (fig.15), $t=394$ s (fig.16), $t=459$ s (fig.17).

Procesul de solidificare și de constituire a retasurii se încheie la timpul $t=494$ s (fig.18). se observă că retasura formată se întinde pe întreaga înălțime a probei sferice.

CONCLUZII

Până în momentul de față, din consultarea literaturii de specialitate, nu s-a elaborat o metodologie de calcul care să cuprindă studierea diferitelor influențe, prin cuplarea fenomenelor hidraulice, termice și a celor legate de modificarea dimensională antagonistă din timpul procesului de solidificare. Aplicarea acestei metodologii s-a făcut cu rezultate bune, care așează acest studiu printre puținele care abordează această metodologie. Rezultatele studiului numeric pun în evidență faptul că în timpul umplerii cavității forme, procesul de solidificare este influențat de prezența curenților ascensionali și descendenți care se formează. Mișcarea aliajului nu încetează după oprirea umplerii cavității forme, curenții formați influențând crusta solidificată la nivelul răcitorului.

Bibliografie

1. Soporan, V.; *Sisteme de proiectare a pieselor turnate*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996, ISBN 973-35-0589-7, pag. 332.
2. Soporan, V., Constantinescu, V., Crisan, M.; *Solidificarea aliajelor-preliminari teoretice*, Editura Transilvania Press, Cluj-Napoca, 1995, ISBN-973-97041-1-5, pag. 334.
3. Soporan, V., Constantinescu, V.; *Modelarea la nivel macrostructural a solidificării aliajelor*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1995, ISBN-973-35-0526-9, pag. 336.
4. Vida-Simiti, I., Banabic, D., Bicsak, E., Canta, T., Domsa, S., Kerekes, L., Soporan, V.; *Prelucrabilitatea materialelor metalice*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996, ISBN-973-35-0555-2, pag. 361.

5. Canta, T., Arghir, G., Chicinas, I., Ciobanu, I., Crisan, A., Geaman, V., Iancau, V., Milosan, I., Molinari, A., Nagy, E., Neagu, A., Nistor, L., Soporan, V., Torralba, J.M., *Noi tehnologii pentru materiale avansate*, Editura U.T. Press, Cluj-Napoca, ISBN 973-98081-2-3, pag.258.
6. Soporan, V., Contributii privind modelarea solidificarii macrostructurale a pieselor turnate, Buletinul stiintific al I.P.C-N., seria Chimie-Metalurgie, 31-32, 1988-1989, pag.73-81.
7. Soporan, V., Consideratii asupra metodelor de determinare a cimpului de temperatura in sistemul aliaj-forma in timpul procesului de solidificare a pieselor turnate, Buletinul stiintific al I.P.C-N., seria Chimie-Metalurgie, 31-32, 1988-1989, pag. 82-90.
8. Soporan, V., Contributii la simularea procesului de transfer termic prezent la turnarea pieselor in forme metalice, Buletinul stiintific al I.P.C-N., Seria Chimie-Metalurgie, 33, 1990, pag.23-39.
9. Soporan, V., Sistem de clasificare si apreciere a modelelor si metodelor de rezolvare specifice analizei procesului de solidificare, Buletinul stiintific al I.P.C-N., seria Chimie-Metalurgie, 34, 1991, pag. 31-36.
10. Soporan, V., Utilisation des ordinateurs dans l'analyse thermique pendant la solidification des piéces coulées (part I), Buletinul Institutului Politehnic Iasi, Tomul XL, Fasc.3-4, sectia IX, p.652-659.
11. Soporan, V., Utilisation des ordinateurs dans l'analyse thermique pendant la solidification des piéces coulées (part II), Buletinul Institutului Politehnic Iasi, Tomul XL, Fasc.3-4, sectia IX, p.660-665.
12. Soporan, V., Stadiul actual al modelarii prin metode numerice a procesului de solidificare a pieselor turnate, Metalurgia, 46, 9, 1994, p.20-23, CZ:621.74.04.
13. Soporan, V., Sistem de clasificare si de apreciere a modelelor de rezolvare specifice analizei procesului de solidificare, Metalurgia, 46, 9, 1994, p.42-48, CZ:621.776.01.
14. Soporan, V., Implicatii manageriale privind utilizarea sistemelor de proiectare asistata de calculator productie de piese turnate, Metalurgia (48), 1, 1996, p.67-70, CZ:621.746, ISSN 04161-9576.
15. Soporan, V., Pavai, C., Vamos, C., Modelarea numerica a turnarii otelurilor in lingotiera in vederea optimizarii parametrilor tehnologici, Metalurgia (48), 11, 1996.
16. Soporan, V., Vamos, C., Pavai, C., Optimizarea tehnologica si constructiva a pieselor tip batiu prin intermediul metodelor numerice, Metalurgia, tome 50, nr. 2, 1998, p.43-51.
17. Soporan, V., Vamos, C., Pavai, C., Studiul calitativ asupra functionarii modelului numeric al solidificarii cu verificarea formarii retasurii, Metalurgia, tome 50, nr.1, 1998, p.27-31.
18. Soporan, V., Constantinescu, V., Consideratii privind strategia dezvoltarii stiintei si ingineriei materialelor, Metalurgia, tome 50, nr.3, 1998, p.45-47.
19. Soporan, V., Analiza termica a constructiei piesei turnate prin utilizarea metodelor numerice, Constructia de masini, nr.4-5, 1996, p.27-29.
20. Soporan, V., Consideratii asupra metodologiei de abordare a modelarii procesului de solidificare a pieselor turnate, Metalurgia, tome 50, nr.4, 1998.

21. Soporan, V., Vamoș, C., Pavai, C., Simularea numerică a procesului de contracție și de formare a rețasurilor în timpul procesului de solidificare, În *Turnarea și Solidificarea Metalelor și Aliajelor*, tome 1, nr.1, 1998, Editura U.T.Press, p.163-166, ISSN 1453-9756.
22. Soporan, V., Vamoș, C., Pavai, C., Utilizarea curbelor direcțiilor de solidificare pentru determinarea poziției optime de turnare a pieselor, În *Turnarea și Solidificarea Metalelor și Aliajelor*, tome 1, nr.1, 1998, Editura U.T.Press, p.167-172, ISSN 1453-9756.
23. Soporan, V., Vamoș, C., Pavai, C., Modelarea numerică cu rezoluție redusă a procesului de solidificare a pieselor de mari dimensiuni, În *Revista de Turnătorie*, tome 3, nr.1998, ISSN 1224-21-44.
24. Vamoș, C., Pavai, C., Soporan, V., Numerical modeling of casting process, *Rev. Anal. Numér. Theorie Approximations* (25),1-2, 1996, Editura Academiei, București.
25. Soporan, V., Constantinescu, V.,Lungu, F., Analysis and Estimative System on Specific Models of Solidification Process of Castings (part I), *Solidification of Metals and Alloys*, Polish Academy of Science, 19, 1994, p.121-129.
26. Soporan, V., Constantinescu, V., Lungu, F., Analysis and Estimative System on Specific Models of Solidification Process of Castings (part II), *Solidification of Metals and Alloys*, Polish Academy of Science, 19, 1994, p.130-138
27. Soporan, V., Zirbo, Gh., Lungu, F., Study about Convergence of Methoda of Numerica Calculation Used for Unidimensionnal Model of Solidification Process, *Solidification of Metals and Alloys*, Polish Academy of Science, 19, 1994, p.139-147.
28. Soporan, V., State of art of computer modelling of solidification processes, *Metals Abstracts*, volume 28, 1995, 51-0343, p.146, The Materials Information Society, ISSN 0026-0924.
29. Soporan, V., Classification and evaluation system for models and methods specific to solidification process analysis, *Metals Abstracts*, volume 28, 1995, 51-0468, p.157, The Materials Information Society, ISSN 0026-0924.
30. Soporan, V., Lungu, F., Thermal anlysis by numerical methods for casting construction a possible variant of preventive tests of materials, *Metals abstracts*, volume 29, number 7, July 1996, The Institu of Materials, ASM International, Published by Cambridge Scientific Abstracts, ISSN 0026-0924, p.201.
31. Soporan, V., Contributions to solidification modelling for die casting, *Metals abstracts*, volume 29, number 9, September 1996, The Institu of Materials, ASM International, Published by Cambridge Scientific Abstracts, ISSN 0026-0924, p.156.
32. Soporan, V., Consideration sur les methodes de determination du temps de solidification des pieces coulees, 52-emes Journées d'Etudes de la Fonderie, Nantes, 1992, Mem. B2.1, PAG.1-41.
33. Soporan, V., Contribution a la simulation du processus de transfert thermique presents a la coulee des pieces dans les moules metalliquees, 58-emes Congres Mondial de Fonderie, Mem. P.12, Krakow, 1991, pag. 1-17.
34. Soporan, V., Thermal analysis by numerical methods for castoing construction - a possible variant of preventive tests of materials, *EUROMAT'94*, Hungarian Mining and Metallurgical Society, 1994.
35. Soporan, V., Etude par l'ordinateur des facteurs perturbateurs du processus de solidification des pieces coulees, *Procedings First International Conference on materials and Manufacturing Technologies, MATEHN'94*, Editor G. Arghir, Cluj-Napoca, mai, 1994.
36. Soporan, V., Lungu, F., Some aspects concerning at the physical-mathematical simulation of the thermal specific phenomenos by the solidification process of casting pieces, *Proceedings of the 11 th International Conference on Process Control and Simulation*, September 19-20, 1994, SSAKI, Kosice, 1994, p.402-407.

37. Soporan, V., Lungu, F., Thermal Analysis of Solidification Process of Casting Pieces by using Numerical Method, 2nd International Conference Design to Manufacture in Modern Industry, University of Maribor, Slovenia-Bled, 29-30 May 1995.
38. Soporan, V., Pavai, C., Vamos, C., Lungu, F., Crisan, M., The Modelling of Hydraulic and Thermic Phenomena Specific of casting Alloys, , Proceedings of the 12th International Conference on Process Control and Simulation, September 10-13, 1996, SSAKI, Kosice, 1996, p.169-176.
39. Soporan, V., Vamoş, C., Pavai, C., Numerical modeling of the cavities during the alloys solidification, Proceedings of the MATEHN 98, Cluj-Napoca, 1998.
40. Soporan, V., Vamoş, C., Pavai, C., Numerical simulation for technological interpretation of the solidification process castings, Proceedings of the MATEHN 98, Cluj-Napoca, 1998.
41. Soporan, V., Vamoş, C., Pavai, C., The constructive and technological optimization of casting by means of the solidification direction graph, Science and Processing of Cast Iron, The University of Alabama, 1998.
42. Soporan, V., Vamoş, C., Pavai, C., Numerical simulation of the shrinkage due to the mass density increase during alloy solidification, Science and Processing of Cast Iron, The University of Alabama, 1998.
43. Soporan, V., Consideratii asupra determinarii cimpului de temperatura in piesele tratate termic, Conferinta de Tratamente termice si termochimice, vol.3. pag.34-43, Cluj-Napoca, 1992.
44. Soporan, V., Zirbo, Gh., Modelarea proceselor de transfer termic care apar la solidificarea pieselor in forme metalice, modelarea numerica a proceselor termice. Lucrarile primului simpozion tematic organizat de sectia Procese Termice-SIAC, 1990, Bucuresti, editori C. Bratianu, A., Chisacof, pag.245-256.
45. Soporan, V., Analiza termica a constructiei piesei turnate prin utilizarea metodelor numerice, A V-a Conferinta Nationala de Termotehnica, Cluj-Napoca, 1995, Comunicari stiintifice, vol.I, 95-100.
46. Soporan, V., Crisan, M., Probleme inverse la solidificarea aliajelor, A V-a Conferinta Nationala de Termotehnica, Cluj-Napoca, 1995, Comunicari stiintifice, vol.I, 101-106.
47. Soporan, V., David, I., Utilizarea metodelor numerice in sistem unidimensional pentru modelarea proceselor de transfer termic prezent la solidificarea pieselor turnate, Sesiunea stiintifica "Noutati in domeniul tehnologiilor si utilajelor pentru prelucrare la cald a metalelor", Brasov, Universitatea Transilvania, 1993, Vol.1, pag. 297-301.
48. Soporan, V., Consideratii asupra conditiilor la limita prezente in analiza procesului de solidificare a pieselor turnate, Sesiunea stiintifica "Noutati in domeniul tehnologiilor si utilajelor pentru prelucrare la cald a metalelor", Brasov, Universitatea Transilvania, 1993, Vol.1, pag. 302-309.
49. Soporan, V., Pavai, C., Vamos, C., Crisan, M., Modelarea numerica a fenomenelor hidraulice , termice prezente la solidificarea aliajelor, Buletinul Stiintific al Academiei Aviatiei si Apararii Antiaeriene "Henri Coanda", Brasov, vol.5, 1996, p.169-176.
50. Soporan, V., Vamoş, C., Pavai, C., Influenţa coeficientului de transfer asupra procesului de solidificare, Ştiinţă, Inginerie, Eficienţă, Editura U.T. Pres, Cluj-Napoca, 1998, ISBN 973-98380-6-5, p. 229-232.
51. *** Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes - VIII, San Diego, 1998;
52. *** Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes - VIII, San Diego, 1998;
53. *** Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes - VIII, San Diego, 1998;
54. *** SP97 10th Decennial International Conference on Solidification Processing, Universitz of Sheffield, 7-10 July 1997.

55. *** Modelisation et Conduite des Procédés métallurgiques, Faculté Polytechnique de Mons, 16-17 mai 1995.
56. V. Soporan, Modelarea la nivel macrostructural a solidificării aliajelor, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1993.
57. Braszczynski, J., Teoria procesów odlewniczych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1989.
58. Devaux, H., Traité pratique de masselottage des pièces coulées en sables, Editions Techniques des Industries de la Fonderie, Sevres, 1984.
59. Karsay, I.S., Fonte GS III, Alimentation et masselottage, QIT FER et TITANE INC., 1981.
60. LI Jiarong, LIU Baichen, XIANG Huabing, TONG Hanjing, Study of Formation and prediction Shrinkage cavity and Porosity of S.G.Iron Casting.
61. *** Sixth International Symposium Science and Processing of Cast Iron, 30 September-2 October 1998, The University of Alabama.

REVISTA REVISTELOR

Giesserei, Germania, 1998, nr.5

(continuare)

- *Revistă tehnică*
 - Hess – 50 de ani – piese turnate pentru tehnica iluminatului, p.80
 - Măsurarea directă la mașinile de turnare sub presiune, p.82
 - Creuzete pentru aliaje de Mg și Zn, p.84
- *Revistă economică*
 - Envitec '98 – protecția mediului la nivel superior, p.87
 - Producția de piese turnate în Germania în luna ianuarie 1998, p.89
 - Patente, p.91-97
 - Cărți noi, p.98-99
 - Informații scurte, p.99-105
 - Actualități, p.6-16
 - Congrese, targuri, p.23-24