

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ**

Ing. Constantin Marta

TEZA DE DOCTORAT

Conducător științific: prof. dr. ing. Ion Sporea

Timișoara

2003

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ**

Ing. Constantin Marta

TEZA DE DOCTORAT

**Studii teoretice și experimentale privind turnarea bilelor din
oțel cu conținut ridicat de mangan pentru morile de
măcinat minereu**

Conducător științific: prof. dr. ing. Ion Sporea

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA



Timișoara

2003

CUPRINS

INTRODUCERE

1.	Scurtă istorie a oțelurilor manganoase	8
2.	Importanța oțelurilor manganoase pentru dezvoltarea economică, domeniul de utilizare și principalele lor caracteristici.	8
3.	Domeniile de utilizare ale morilor cu bile.	9
3.1.	Masa medie a bilelor din oțel	9
3.2.	Factorii principali care influențează consumul de bile	9
3.2.1.	Factorii mecanici	10
3.2.2.	Factorii tehnologici	11
4.	Influența carbonului și manganului asupra proprietăților oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan	13
5.	Caracteristicile mecanice ale oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan	13
6.	Turnarea oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan.	14
7.	Turnarea bilelor din oțel austenitic manganos	15
8.	Obiectivele tezei	16
Cap. 1. OȚELURI TURNATE AUSTENITICE MANGANOASE		
1.1.	Influența manganului asupra transformărilor fazice și a temperaturilor punctelor critice	19
1.1.1.	Compoziția chimică	19
1.1.2.	Starea structurală a oțelurilor aliate cu mangan	20
1.2.	Tratamente termice aplicate oțelurilor manganoase turnate în piese	27
1.3.	Caracteristicile mecanice și tehnologice ale oțelurilor austenitice manganoase	31
1.4.	Mărci de oțeluri austenitice manganoase	32
1.5.	Concluzii parțiale	33
Cap. 2. CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA TEHNOLOGIILOR DE ELABORARE A OȚELULUI MANGANOS		
2.1.	Dezavantajele tehnologiei actuale de elaborare a oțelurilor	

	austenitice manganoase (varianta I)	35
2.2.	Îmbunătățiri ale tehnologiei actuale de elaborare a oțelului austenitic manganos (varianta II)	37
2.2.1.	Defosforarea	38
2.2.2.	Oxidarea carbonului	39
2.2.3.	Oxidarea și regenerarea manganului	40
2.2.4.	Dezoxidarea și alierea	42
2.3.	Studii și încercări practice de elaborare a oțelului manganos în cuptorul electric cu arc bazic cu capacitatea de 3t	44
2.4.	Eficiența economică a îmbunătățirilor propuse și aplicate	49
2.5.	Concluzii	49
2.7.	Avantajele cuptorului electric prin inducție cu căptușeală acidă, față de cuptorul electric bazic cu arc	54
2.8.	Determinarea temperaturilor de elaborare – turnare a oțelului austenitic manganos	55
2.9.	Tehnologia elaborării în cuptorul electric prin inducție de 250 kg	56
2.10.	Concluzii la elaborarea oțelului aliat Mn – Cr, în cuptorul electric cu căptușeală acidă, prin inducție	56
Cap. 3. STUDII TEORETICE ASUPRA TURNĂRII BILELOR DIN OȚEL AUSTENITIC MANGANOS MARCA T120CrMn130		
3.1.	Introducere în simulare	59
3.2.	Introducere în MAGMASOFT	60
3.2.1.	Ecuatiile de bază folosite la modelarea și simularea turnării	61
3.3.	Utilizarea programului MAGMASOFT la simularea turnării bilelor din oțel austenitic manganos	64
3.3.1.	Preprocesarea datelor inițiale de start ale simulării	64
3.3.1.1.	Preprocesarea geometriei piesei	64
3.3.1.2.	Definirea componentelor sistemului de turnare	65
3.3.1.3.	Definirea punctelor de control al procesului de umplere și solidificare	66
3.4.	Calculul simulării	70
3.5.	Definirea parametrilor simulării	70
3.5.1	Materiale. Definirea materialelor	71

3.5.2.	Selectarea materialelor din baza de date	71
3.5.3.	Definirea transferului de căldură	71
3.5.4.	Introducerea parametrilor umplerii	72
3.5.5.	Introducerea parametrilor solidificării	73
3.5.6.	Simularea umplerii și solidificării	74
3.6.	Postprocesarea. Prezentarea rezultatelor. Funcțiile pentru solidificare după criterii (solid criterion)	75
3.7.	Variante tehnologice simulate	77
3.7.1.	Simularea turnării unei bile într-o formă de turnare fără maseletă	77
3.7.2.	Turnarea bilelor într-o formă temporară cu răcitori	80
3.7.2.1	Turnarea pieselor utilizând răcitori interni	81
3.7.2.1.1.	Simularea turnării bilelor utilizând răcitori interni	81
3.7.2.1.2.	Concluzii privind turnarea bilelor utilizând răcitori interni	82
3.7.2.1.3.	Simularea turnării bilei din oțel austenitic manganos în varianta cu răcitor extern	82
3.7.2.1.4.	Condițiile de simulare a umplerii și solidificării formei de turnare în varianta cu răcitor extern din cupru	84
3.7.2.1.5.	Simularea umplerii formei	85
3.7.2.1.6.	Simularea solidificării piesei	87
3.7.2.1.7.	Prezentarea secvențială a rezultatelor solidificării	89
3.7.2.1.8.	Simularea variației principalilor parametri ai procesului de turnare	95
3.7.2.1.9.	Concluzii parțiale asupra turnării unei forme cu răcitor	99
3.7.3.	Propuneri de rentabilizare	99
3.8.	Simularea turnării bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan în forme din nisip, cu 6 bile, cu maseletă	100
3.8.1.	Determinarea parametrilor maseletei și a rețelei de turnare	100
3.8.2.	Simularea turnării în forme cu 6 bile	102
3.8.2.1.	Preprocesarea geometriei piesei	102
3.8.2.2.	Postprocesarea. Prezentarea rezultatelor	104
3.8.2.3.	Simularea umplerii	105
3.8.2.4.	Simularea solidificării	107
3.8.2.5	Simularea variației principalilor parametri ai umplerii și	114

3.9.	Concluzii parțiale asupra simulării turnării bilelor din oțel austenitic cu crom	119
------	---	-----

Cap. 4. STUDII ȘI ÎNCERCĂRI PRACTICE ASUPRA TURNĂRII BILELOR DIN OȚEL AUSTENITIC MANGANOS

4.1	Experiența 1. Analiza solidificării unei bile cu diametrul de 100 mm, turnată din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, în formă din amestec de formare, fără maseletă	121
4.1.1.	Schema instalației de preluare și interpretare a datelor	123
4.1.1.1.	Prezentarea rezultatelor măsurărilor	124
4.1.1.2.	Calculul teoretic al timpului de solidificare a unei bile cu diametru de 100 mm turnată în formă de nisip, fără maseletă din oțelul marca T120CrMn130. Condiții inițiale	125
4.1.1.3.	Determinarea variației temperaturii în peretele formei de turnare fără maseletă	128
4.1.1.4.	Rezultate practice ale turnării în forma de amestec de formare fără maseletă a bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130	129
4.1.1.5.	Turnarea bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, în amestec de formare, utilizând răcitori externi	130
4.2.	Concluzii parțiale	135
4.3.	Determinarea variației temperaturii în peretele formei de turnare cu răcitor exterior din cupru	136
4.4.	Rezultatele turnării bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan marca T120CrMn130, în varianta de turnare cu răcitor de cupru exterior	137
4.5.	Turnarea bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn120, în formă de nisip, cu 6 bile	140
4.6.	Concluzii parțiale	142
4.7.	Rezultatele turnării bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, în forma de turnare cu 6 bile	143

4.7.1	Concluzii parțiale	145
4.7.2	Măsurători efectuate asupra bilelor turnate din oțel austentic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130	146
4.7.3	Concluzii parțiale	147
Cap. 5. STUDII ȘI ÎNCERCĂRI DE TRATAMENTE TERMICE, MECANICE ȘI STRUCTURALE		148
5.1.	Măsurări efectuate asupra bilelor turnate cu răcitor	150
5.1.1.	Măsuratori de duritate asupra bilelor turnate fără răcitor	152
5.2.	Microstructurile pieselor turnate fără răcitor	153
5.2.1.	Microstructurile pieselor turnate în stare brută în forma din amestec de formare	153
5.3.	Tratamente termice aplicate oțelurilor austenitice, T120CrMn130	154
5.3.1	Încălzirea oțelului austenitic manganos în vederea călirii	155
5.3.2	Dezbaterea din formă și menținere în cuptor	156
5.3.3.	Încălzirea rapidă	157
5.3.4.	Încălzire în trepte	158
5.4.	Încercarea de reziliență pe epruvetă cu creștătură în V.	160
5.5.	Analiza deformațiilor și stărilor de tensiuni la impactul bilei cu și fără retasură interioară	161
5.6.	CONCLUZII	168
5.7.	Turnarea și dezbaterea pieselor cu grosimea mai mari de 100 mm	169
5.7.1.	Tratamentul termic de punere în soluție	171
5.7.2.	Concluzii	172
Cap. 6. CONCLUZII FINALE		
6.1.	Contribuții teoretice.	174
.2.	Contribuții tehnice și științifice	175
6.2.1.	Reducerea procentului de rebuturi	175
6.2.2.	Îmbunătățirea calității oțelului	175
6.2.3.	Mărirea productivității cuptorului	175
6.2.4.	Realizarea unei tehnologii de elaborare și turnare a bilelor, din oțel marca T120CrMn130, zona de laborator, folosind cuptorul electric prin inducție	175

6.3.	Realizarea unei tehnologii de turnare utilizând pentru simulare programul MAGMASOFT	176
6.4.	Studii experimentale asupra caracteristicilor bilelor turnate	176
6.5.	Contribuții deosebite	178
	Bibliografie	180

INTRODUCERE

1. Scurtă istorie a oțelurilor manganoase.

În anul 1885 profesorul V.I. Lipin de la Institutul minier din Leningrad a cercetat influența manganului asupra proprietăților fizico-mecanice ale oțelurilor, care cresc până la alierea cu 2-2,5% Mn. Mărirea conținutului de mangan peste 2,5% conduce la o scădere bruscă a plasticității oțelurilor.

În anul 1888, R. Hadfield în Anglia (Sheffield), reluând cercetările lui Lipin, a descoperit că începând de la 12% Mn plasticitatea oțelului crește din nou după călire. Din acest motiv, oțelurile înalt aliate cu mangan sunt cunoscute în literatura de specialitate ca oțeluri austenitice manganoase sau oțeluri Hadfield.

Proprietatea fizică principală a oțelurilor austenitice manganoase este rezistența mare la uzare abrazivă în condiții de solicitare la soc, concomitent cu presiuni specifice mari. În afară de aceasta, oțelul cu conținut ridicat de mangan, având o structură austenitică, nu este magnetic, ceea ce determină și alte utilizări ale lui.

Datorită acestor proprietăți fizice speciale, oțelurile austenitice manganoase au un domeniu foarte larg de folosire pentru turnarea pieselor care nu trebuie să fie prelucrate mecanic și lucrează în condiții de uzare abrazivă cu solicitări mari, la temperaturi sub 200° C. Prelucrarea mecanică se execută extrem de greu folosind scule din materiale metalice și materiale mineralo - ceramice. [2], [12], [23], [22], [32], [51].

2. Importanța oțelurilor manganoase pentru dezvoltarea economică, domeniul de utilizare și principalele lor caracteristici.

În consecință, acest oțel a câștigat acceptul ca fiind un material foarte util în tehnologie. Oțelurile austenitice cu conținut ridicat de mangan sunt intens utilizate, cu modificări minore în compoziția chimică și tratamentul termic, în următoarele activități economice majore: industria minieră, în producția de ciment și argilă.

Domeniile de utilizare ale oțelurilor austenitice manganoase în piese turnate sunt: șenile de tractoare, fălci de concasoare, bile pentru mori de măcinare, cupe de excavatoare, plăci de uzură și bandaje pentru mori, ciocane și bare pentru mori, inimi de încrucișare pentru linii de tramvai și căi ferate.

Alte domenii de întrebuințare ale oțelului manganos sunt: piese turnate care să suporte sarcini variate la șoc (piese de locomotive, vagoane, automobile, etc.);

piese care să reziste la temperaturi ridicate, sub presiunea aburilor (piese de turbine și conducte de aburi); piese turnate solicitate la uzură, piese supuse la tensiuni mari pentru diferite ramuri ale construcției de mașini.

3. Domeniile de utilizare ale morilor cu bile și factorii cu influență majoră asupra uzării bilelor.

Morile cu bile se utilizează la măcinarea cărbunelui, a argilei uscate și alte materiale utilizate în industrie; mai recent încep să fie din ce în ce mai mult utilizate pentru obținerea materiilor prime utilizate în industria chimică, farmaceutică, cosmetică și electronică.

3.1. Masa medie a bilelor din oțel.

Masa medie a bilelor de oțel oscilează între anumite limite, funcție de diametrul bilei conform tabelului 1.

Tabelul 1. *Masa medie a bilelor în funcție de diametru*[72]

Diametrul bilei (mm)	Masa unei bile (kg)
30	0,111
40	0,263
50	0,514
60	0,884
80	2,107
100	4,115
125	8,038

3.2. Factorii principali care influențează consumul de bile de măcinare.

Principala întreprindere minieră care utilizează industrial mori de măcinare cu bile din oțel austenitic manganos a fost Exploatarea Minieră Deva și Uzina de Preparare Teliuc.

Din observațiile efectuate în cadrul Exploatarea Miniere Deva, s-a concluzionat că numai o mică parte din energia consumată în timpul măcinării se transformă în lucru mecanic util de măcinare, restul consumându-se datorită frecărilor. Fenomenul își găsește explicația în faptul că, în timpul funcționării morii, bilele antrenate pe suprafața căptușelii au, o dată cu mișcarea ascendentă și o

mișcare de rostogolire și de alunecare în sensul rotirii morii. Fenomenele de frecare ce au loc generează uzura prematură a corpurilor de măcinare, explicând astfel consumul ridicat de bile, semnalat în industria de preparare a minereurilor.

Principali factori de care s-a constatat că depinde nivelul consumurilor de corpuri de măcinare sunt [2], [22], [42], [51], [59] :

- factori mecanici – calitatea materialului din care sunt confecționate bilele și forma geometrică a acestora, precum și cinematica bilelor în timpul funcționării morii;
- factori tehnologici - calitatea și compoziția materialului supus măcinării și respectiv, gradul de umplere și sortimentul de corpuri de măcinare din încărcătură morii.

3.2.1. Factorii mecanici

Corpurile de măcinare cu care s-a lucrat în cadrul EM Deva, executate de diferiți agenți economici prin turnare sau forjare și supuse sau nu unui tratament termic de călire, au avut o duritate variabilă între 300-450 HB. Experimental, s-a constatat că, drept urmare a tensiunilor interne și a structurilor generate în masa bilelor de un posibil tratament termic condus incorect, o bună parte din bile au prezentat amorse de fisuri iar altele s-au spart în timpul funcționării. De asemenea, defectele „ascunse” de turnare, de tipul suflurilor, porozităților și incluziunilor, au produs aceleași neajunsuri în exploatare, semnalate anterior.

Observațiile efectuate la E.M. Deva au scos în evidență comportări bune în exploatare a bilelor executate din fontă cu conținut relativ mic de carbon 2,6% și nichel 0,42%, dar cu peste 23% crom. În cazul măcinării materialelor dure sau foarte dure s-au obținut uzări mai reduse prin utilizarea bilelor din oțel manganos [58].

În cazul utilizării bilelor din oțel austenitic manganos, s-a remarcat avantajul uzărilor mai reduse cu un consum specific scăzut de corpuri de măcinare și a crescut productivitatea medie datorită unei încărcături constante de bile în moară. Utilizarea corpurilor de măcinare din oțeluri aliate a condus la eficientizarea din punct de vedere economic și prin mărirea gradului de ocupare a morilor, adică mărirea intervalelor de revizie a încărcăturii cu bile. Totuși, prezența bavurilor, dezaxărilor, retasurilor de contracție și, în general, a imperfecțiunilor de formă geometrică prin abateri de la forma sferică, au influențat negativ efectul de măcinare.

3.2.2. Factorii tehnologici

Principalele caracteristici de calitate ale materialelor supuse măcinării, care au determinat hotărâtor nivelul de uzură al bilelor au fost granulometria și compoziția chimică a acestora.

Influența granulometriei asupra consumului de corpuri de măcinare

O granulometrie în care au predominat dimensiunile mari de material (peste 25 mm la intrare) a obligat pe de o parte la folosirea unei încărcături de bile de dimensiuni mari, ceea ce a solicitat mecanic căptușelile morilor, iar pe de altă parte, a creat condiții nefavorabile contactului direct dintre corpurile de măcinare și căptușeală. În consecință, a fost favorizat fenomenul de alunecare a încărcăturii în sensul invers rotirii morii, măbind uzurile și micșorând productivitatea.

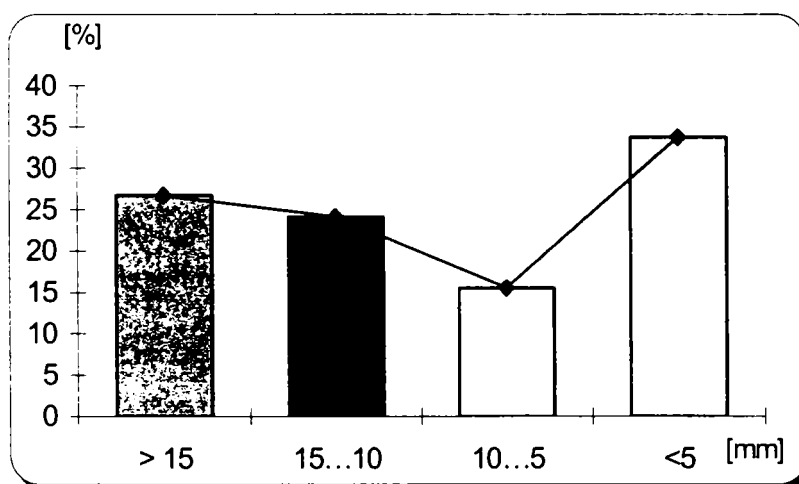


Fig.1 Media granulometrică a minereului la Uzina de Preparare Teliuc

Importantă este și întinderea scării granulometrice, deoarece o scară granulometrică extinsă conduce la necesitatea folosirii unei încărcături de bile cu diferențe mari de dimensiuni, ceea ce înrăutățește procesul de măcinare. De exemplu, la E.M. Deva, consumul specific de corpuri de măcinare a fost de 0,39 kg/tonă în cazul măcinării minereurilor complexe și de 0,33 kg/tonă pentru minereurile cuprifere, fiind mai mari decât consumurile înregistrate la Uzina de Preparare Teliuc, unde media granulometrică determinată pe probele de minereu supuse măcinării, prezentată în figura.1, arată o extindere mai mică a granulometriei.

O granulometrie în care au predominat dimensiunile mari de material (peste 25 mm la intrare) a obligat pe de o parte la folosirea unei încărcături de bile de dimensiuni mari, ceea ce a solicitat mecanic căptușelile morilor, iar pe de altă parte, a creat condiții nefavorabile contactului direct dintre corpurile de măcinare și

căptușeală. În consecință, a fost favorizat fenomenul de alunecare a încărcăturii în sens invers rotirii morii, măbind uzurile și micșorând productivitatea. Particularitățile de compoziție chimică a minereurilor supuse măcinării în cadrul EM Deva au influențat semnificativ consumul de corpuri de măcinare. Analiza acestui aspect, a fost efectuată pe baza determinărilor compoziției chimice a minereurilor supuse operațiunilor de măcinare în cadrul E.M. Deva și respectiv la Uzina de Preparare Teliuc, rezultatele analizelor de original fiind prezentate în figura 2 de mai jos.

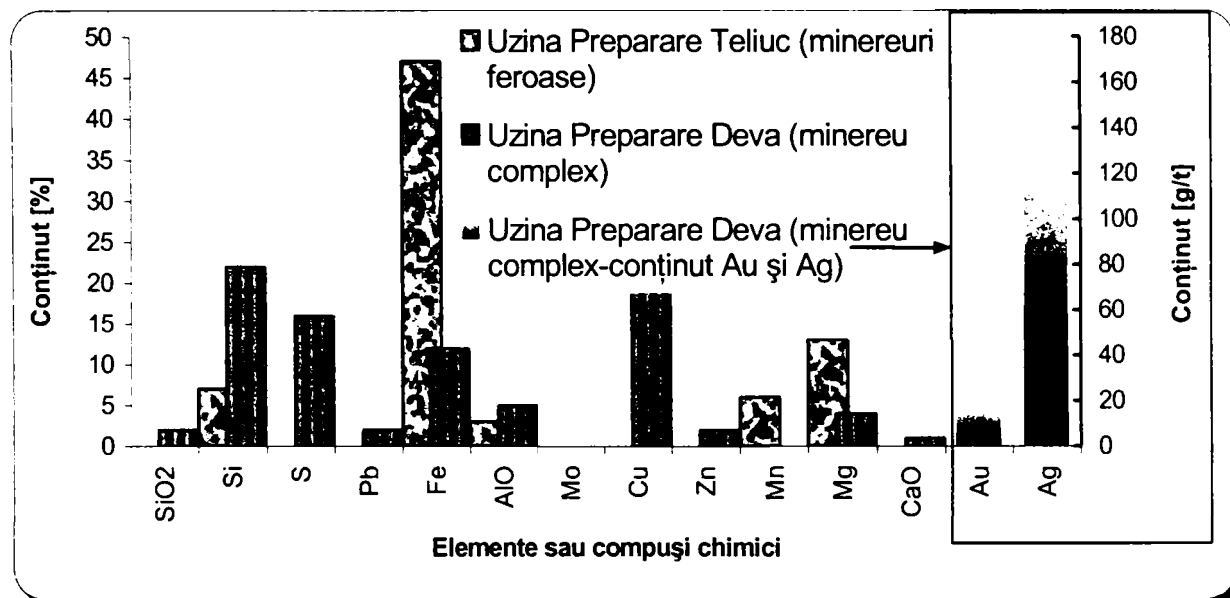


Fig.2 Analize de original la Uzina de Preparare Teliuc și E.M. Deva

Consumul mai ridicat de bile, la aceleași tipuri de mori, s-a constatat că s-a produs în cazul Uzinei de Preparare Deva, deoarece minereul supus măcinării la Deva este mai dur din cauza procentajului de SiO₂.

Rezultatele obținute experimental în cadrul E.M. Deva, confirmă și concluziile teoriei consacrate măcinării în morile cu bile: fiecărui tip de minereu cu caracteristici date îi corespunde un anumit nivel de consum al corpurilor de măcinare pentru care se obține un ciclu optim al încărcăturii. Sub acest nivel optim al gradului de umplere se accentuează fenomenul de rostogolire al bilelor în sens invers rotirii morii, ceea ce conduce la scăderea productivității și mărirea uzărilor.

În ceea ce privește finețea de măcinare, ea este proporțională cu masa încărcăturii cu bile, de unde rezultă că obținerea unei fineți scăzute, fără a acționa asupra încărcăturii, determină o uzare suplimentară a corpurilor de măcinare, datorită mersului în regim de gol.

4. Influența carbonului și manganului asupra proprietăților oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan.

Proprietățile mecanice ale oțelurilor austenitice se schimbă în funcție de conținutul de carbon și mangan.[22], [45], [70]. Prin creșterea conținutului de carbon este dificilă menținerea acestuia în soluție solidă, ceea ce explică reducerea rezistenței la tracțiune și a ductibilității. Carburile se formează în formele de turnare care sunt răcite lent în forme și în toate aliajele care conțin mai mult de 1% C.

Deoarece carbonul este prezent în cantitate mai mare devine tot mai dificil să fie reținut tot carbonul în soluția solidă. Totuși, rezistența la abraziune tinde să crească cu carbonul, conținutul de carbon mai mare decât 1,2%, poate fi preferat chiar dacă ductilitatea și valorile de impact sunt mai reduse. Conținutul de carbon peste 1,4% este rareori folosit din cauza dificultății de a obține o structură austenitică cu un conținut destul de redus de carburi la granițele granulare, care sunt în detrimentul rezistenței și ductilității.

Un conținut redus de carbon este util pentru evitarea efectului de fragilizare a precipitării carburilor în timpul răcirii sub solubilitate limită. Manganul aduce un element vital: efectul stabilizator austenitic de frânare a transformării în timpul răcirii. În încercarea la întindere, rezistența și ductilitatea cresc destul de rapid cu creșterea conținutului de mangan până la 12%. Scăderea conținutului de mangan până la 10% favorizează formarea constituenților perlită care cauzează o pierdere a valorilor de impact. Modificarea conținutului de mangan în domeniul 10 – 15% nu afectează aproape de loc proprietățile mecanice.

5. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan.

Oțelurile au asociată o mare ductibilitate și tenacitate cu o rezistență la rupere remarcabile. Prelucrabilitatea prin așchiere a acestor oțeluri este dificilă datorită $\frac{R_{p02}}{R_m} = 0,31-0,40$ și ca urmare a ecruisării superficiale sub acțiunea forțelor de așchiere. Oțelurile manganoase sunt rezistente la uzare prin șocuri, datorită capacității lor de ecruisare, când duritatea se dublează față de cea inițială.

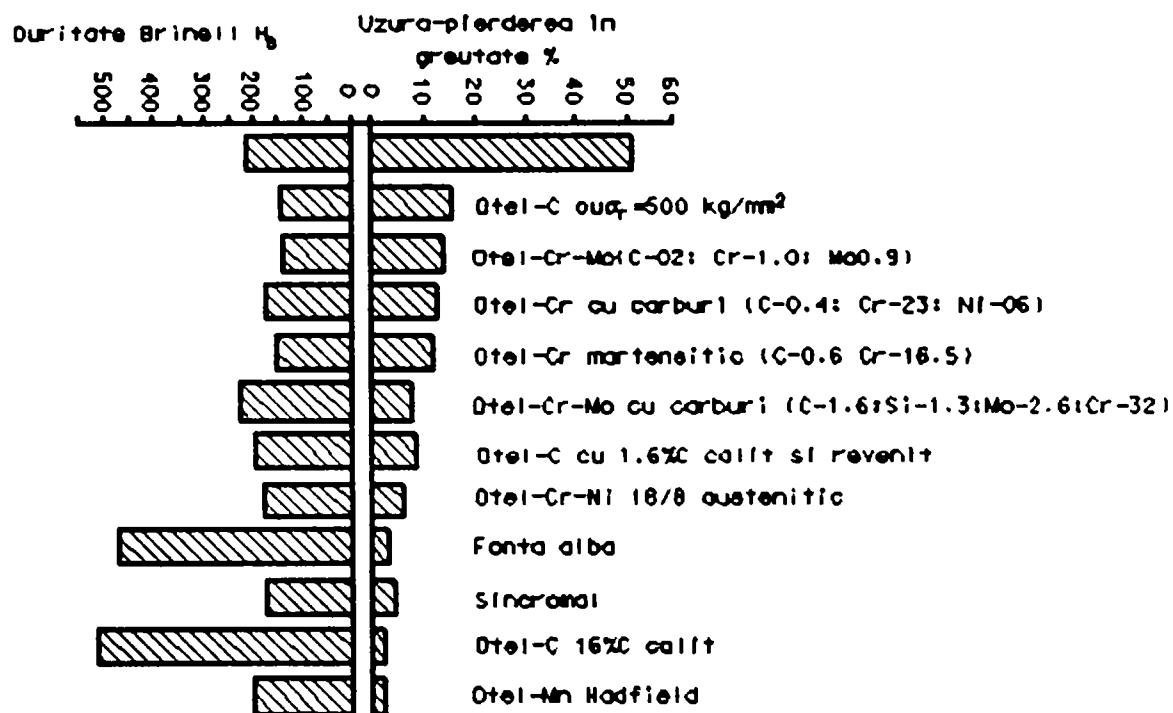


Figura 1. Rezistența la uzare a oțelului austenitic manganos față de fontă și alte calități de oțel, cu diferite durități. [34], [42].

6. Turnarea oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan.

Creșterea conținutului de mangan mărește în mod vizibil contracția oțelului în stare lichidă și contracția liniară în piesele turnate din oțel de construcție, [13], însă contracția liniară în piesele de oțel Hadfield crește și mai simțitor, ajungând chiar la 2,8 – 3 %. [6],

În ce privește mărimea contracției de care trebuie să ținem seama în producție la construirea modelelor de piese turnate din oțel Hadfield, se poate indica de exemplu că pentru piesele turnate masive (fălci de concasor, etc.) contracția este de 2,5 – 2,8%. La turnarea pieselor lungi și subțiri (inimi de încrucișare, ace de macaz, etc) contracția după lungime este 2,85%, după lățime și înălțime de 1,5%.

Valoarea mare a contracției și dezvoltarea ei intensă în intervalul de temperatură imediat următor solidificării provoacă cu ușurință formarea crăpăturilor la cald în piesele turnate din oțel manganos. În același timp, însă, ea contribuie la o micșorare a volumului retasurii de contracție.

Este răspândită părerea că retasurile în piesele turnate din oțelul Hadfield sunt mult mai mari, decât la piesele turnate din oțel carbon obișnuit. Este adevărat că, cu toată influența contracției liniare, retasurile pot fi cu mult mai mari în cazurile când se toarnă un metal, puternic supraîncălzit, fără a ține cont de fluiditatea practică mare a

oțelului Hadfield. Însă la o supraîncălzire mică, se pot obține retasuri mai mici chiar decât la piesele turnate din oțel carbon obișnuit. [50], [74].

În alte condiții egale, ne putem aștepta la o dezvoltare mare a retasurilor deoarece conductibilitatea termică a oțelului Hadfield este foarte mică, iar turnarea în forme se face repede. Făcând uz de o supraîncălzire mică și de numeroase alimentari ciclice ale maselotelor, se pot obține piese turnate din oțel Hadfield sănătoase, cu maselote relativ mici.

După cum s-a arătat, din cauza contracției care se dezvoltă intens îndată după solidificare, piesele turnate din oțel manganos sunt predispuse la formarea de crăpături la cald. Creșterea conținutului de mangan nu influențează rezistența sau plasticitatea oțelului în intervalul de temperatură al formării retasurilor. De asemenea acest interval nici nu se îngustează și nici nu crește. Indici de rezistență și de plasticitate, sunt influențați numai de conținutul de carbon din oțelul austenitic manganos.

Formarea MnO în oțel trebuie înlăturată prin dezoxidarea completă și printr-o turnare cu oxidare minimă. Formarea crustei aderente poate fi de asemenea micșorată prin întrebuințarea de nisip de cuarț mărunț granulat, cu un conținut foarte mare de SiO₂ (aproximativ 87 – 98%). Pentru combaterea crăpăturilor la cald, în afară de măsurile menționate privitoare la proprietățile amestecurilor de formare, piesele turnate din oțel Hadfield, sunt supuse deseori unei dezbatere rapide din formă când temperatura atinge 850 – 950°. Combaterea crăpăturilor la rece este o condiție de bază pentru fabricația corectă a pieselor turnate din oțel manganos și oțel Hadfield, tot atât de importantă ca și combaterea crăpăturilor la cald. Conductibilitatea termică mică a oțelului austenitic manganos, combinată cu coeficientul foarte mare de dilatare liniară (aceasta este de 1,5 – 1,8 ori mai mare ca la oțelul carbon obișnuit) provoacă apariția, în piesele turnate, a unor tensiuni termice. Cu toate că sunt mai mici, tensiunile care se obțin după turnare sunt mai periculoase decât cele care apar în timpul procesului de călire.

7. Turnarea bilelor din oțel austenitic manganos

Principalii factori de care depinde nivelul consumurilor de bile de măcinat sunt calitatea materialului din care sunt confecționate, forma geometrică, tratamentele termice aplicate după turnare, precum și duritatea materialului supus măcinării. Defectele de turnare de tipul suflurilor, porozităților, incluziunilor și retasurii de contracție provoacă aceleași neajunsuri în exploatare. Bilele de oțel austenitic

manganos sunt recomandate pentru măcinarea materialelor dure sau foarte dure, ținând cont de principala lor proprietate și anume rezistența la uzare prin șoc datorită capacității lor de autoecruisare. [2], [9], [54].

Bile din oțel austenitic manganos s-au turnat la Rempes S.A. Deva până în anul 1995, când producția a fost oprită din lipsă de comenzi datorită reducerii activității miniere din țară.

Se utilizau două procedee de turnare a bilelor – turnarea mecanizată pe conveyer și turnarea la sol în forme cu 6 bile. Alimentarea se făcea printr-un alimentator central, canalele de alimentare porneau din alimentatorul central către bile și avea o lungime de 10 mm. Retasura se obținea la nivelul canalului de alimentare, deci în partea laterală a bilei. În ambele variante de turnare bilele turnate aveau abateri de la sfericitate, prezentând bavuri și retasuri exterioare și interioare. În timpul măcinării bilele se spărgeau, datorită tratamentului termic necorespunzător, altele datorită poziției retasuri (în partea superioară) prezentau o uzare neuniformă și chiar se turteau. În ambele cazuri explicația era tehnologia de elaborare și tunare necorespunzătoare precum și tratamentele termice după turnare aplicate necorespunzător [59].

8. Obiectivele tezei

Oțelurile austenitice manganoase datorită a două mari avantaje economice tehnice (costuri apropiate de oțelurile carbon și rezistență deosebită la uzare abrazivă) au o largă utilizare în variate domenii industriale. Între acestea se înscrie și folosirea pentru măcinare (mărunțire) a materialelor dure și foarte, a bilelor turnate din oțel austenitic manganos.

Din studiul documentației [1], [2], [12], [34], [48], [59], [70], [71], [72], referitoare la oțelul austenitic manganos, precum și a unor colaborări cu cercetători din străinătate, a rezultat că există dificultăți în elaborarea oțelurilor manganoase. Dificultățile de elaborare conduc industrial la obținerea rebuturilor nivelul de peste 14%, cauzate de retasuri, formarea de microfisuri, crăpături la cald, incluziuni, etc. De asemenea a reieșit că există probleme și la turnarea oțelului austenitic manganos în bile prin obținerea unor piese în care retasura de contracție regăsea fie la suprafața piesei, fie era plasată în interiorul piesei dar foarte aproape de suprafața piesei. A rezultat teoretic că sunt posibile două soluții tehnologice care pot duce la obținerea unei piese „sănătoase” fără retasura de contracție; prima fiind realizarea

unei tehnologii de turnare a bilelor în care retasura să se regăsească în maselotă, dar în acest caz volumul maseletei este cel puțin egal cu volumul piesei turnate, variantă considerată nerentabilă din punct de vedere economic; și a doua, o tehnologie de turnare în care retasura să se regăsească cât mai aproape de centrul geometric al bilei și de dimensiuni cât mai mici. În această lucrare s-a optat pentru a doua variantă tehnologică și anume obținerea unei retasuri de contracție cât mai mică și plasată cât mai aproape de centrul geometric al piesei. Din cele enumerate reiese că, în cazul bilelor turnate din oțel austenitic manganos în vederea creșterii durabilității în serviciu, trebuie să se obțină o structură la suprafață, capabilă de ecruisare maximă în condițiile date, iar retasura de contracție să fie cât mai mică și pe cât posibil plasată în centrul bilei (sferei). Pentru a atinge acest deziderat major în lucrare se abordează câteva probleme actuale de bază:

8.1. propunerea unei tehnologii de elaborare a oțelurilor austenitice manganoase care să asigure cele mai favorabile structuri turnate a căror menire este să reducă procentajul de rebut al pieselor turnate;

8.2. simularea, care permite definirea parametrilor de turnare astfel încât să se obțină din primele încercări o piesă corespunzătoare procesului industrial; retasura de contracție cât mai mică și plasată pe cât posibil în centru geometric al piesei;

8.3. studii și încercări practice de turnare a bilelor de diametru de 100 mm în vederea confirmării concluziilor rezultate după folosirea MAGMASOT-ULUI pentru simulare;

8.4. studii și încercări de tratament termic de punere în soluție în vederea realizării structurii „pur” austenitice.

În contextul tezei s-a urmărit reducerea rebuturilor. În acest scop se vor realiza tehnologii de elaborare și turnare corespunzătoare. Rezistența la uzare a bilelor depinde de microstructura și de capacitatea de ecruisare superficială. Mărirea rezistenței la uzare s-a abordat prin alegerea calității oțelului și aplicarea unor tratamente termice de călire adecvate, folosind diferite viteze de încălzire și durate de menținere la temperatura de austenitizare. Atingerea acestui obiectiv a necesitat folosirea programului de simulare a turnării bilelor și a multiple încercări de laborator și industriale care vor fi detaliate în lucrare.

Am deosebita plăcere și bucurie de a adresa deosebite mulțumiri persoanelor instituțiilor și uzinelor care într-un fel sau altul m-au ajutat la realizarea obiectivelor tezei de doctorat. Fructuoasele discuții cu conducătorul științific, domnul Prof. dr. ing Sporea Ion, mi-au fost de un real folos în special la lămurirea problemelor de elaborare și turnare.

Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița mi-a facilitat accesul în laboratoarele de cercetare și în felul acesta m-a ajutat la efectuarea unor încercări de o deosebită importanță pentru caracterizarea oțelurilor manganoase.

Conducerea Universității „Eftimie Murgu” prin domnul rector, Prof. dr. ing. Vela Ion, colegii de la laboratorul de „Știința Materialelor”, laboratorul de „Electronică și măsurători electrice” reprezentate prin doamna Conf. dr. ing. Frunzăverde Doina, domnul Prof. dr. ing. Ruja Ioan și domnul asistent ing. Szabo Ștefan, care m-au ajutat în mod deosebit la efectuarea încercărilor și prelucrarea rezultatelor și îi asigur de toata stima și considerația mea.

Un sprijin deosebit de important în realizarea elaborării, turnării și încercării bilelor din oțel austenitic manganos am primit din partea U.C.M. Reșița și în special aduc mulțumiri domnului director general ing. Obădău Dan. Pentru facilitățile create de a lucra în atelierele societății aduc mulțumiri și domnului ing. șef Georgevici Iulian, pentru deosebitele discuții cu privire la elaborarea și turnarea oțelului și pentru ajutorul neprecupețit dat la elaborarea șarjelor.

Nu în ultimul rând gândurile se îndreaptă spre familie și părinți, soție care m-au sprijinit în aceasta muncă deosebit de dificilă dar foarte importantă.

Cap. 1. OȚELURI TURNATE AUSTENITICE MANGANOASE

Oțelurile austenitice manganoase se folosesc la turnarea pieselor, rezistente la uzare prin șoc în condiții de lucru la temperaturi $\theta \leq 200^{\circ}C$. Se folosesc în principal la fabricarea de corpuri de mori turbionare și cu bile, fălci de concasoare, zale de șenile pentru tancuri și tractoare, roți de lanț, dinți destinați cupelor de excavator, macaze, bile, ș.a.

1.1 Influența manganului asupra transformărilor fazice și a temperaturilor punctelor critice

1.1.1 Compoziția chimică

Oțelurile manganoase au un conținut de mangan de 10-18%, conțin în general peste 1% C și 0,4-1% Si și pot avea ca elemente de aliere 0,6 – 2,5% Cr, 0,9-1,2% Mo și 0,8 – 4% Ni. Se limitează conținutul în sulf la 0,05% și în fosfor la 0,07 – 0,11%.

Foarte important pentru realizarea oțelurilor austenitice manganoase este raportul $\frac{Mn}{C} \geq 10$, în care Mn este cuprins între 11,50 – 14,0% și C între 1,05 – 1,40%, pentru a se obține, după tratament termic, o structură austenitică și caracteristici de utilizare care tind spre optim.

Pentru a se obține o structură austenitică fină și o dispersie fină a carburii de mangan, este necesar să se facă corelarea conținutului de carbon cu cel al manganului. O asemenea situație se obține la $\frac{Mn}{C} = 10$. Dacă $\frac{Mn}{C} > 10$ se favorizează separarea de carburi de mangan de dimensiuni mari și cu tendință de separarea la limita grăunților de austenită [22], [69] fapt care este defavorabil rezistenței la uzare prin șoc. Siliciul se folosește în special ca element dezoxidant și calmant și trebuie limitat la 1% pentru a nu se favoriza separarea carbonului și apoi apariția carburilor. Alierea cu crom, molibden, nichel, s.a. are ca scop stabilizarea carburilor și îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și de tenacitate.

În oțelul manganos cromul are rolul de stabilizator al carburilor, prin formarea unor carburi complexe și reducerea riscului de formare a crăpăturilor la

dezbaterea pieselor turnate. De asemenea, cromul contribuie la mărirea rezistenței la coroziune a oțelului manganos. [71], [74].

În scopul măririi ductilității oțelului manganos se face alierea cu nichel. Nichelul prin alierea austenitei contribuie la mărirea alungirii specifice. Dacă conținutul este de 3% Ni se obține o creștere a alungirii specifice de 1,5 ori fără a se afecta semnificativ duritatea și rezistența la rupere a oțelului manganos.

Alierea cu molibden reduce tendința la fragilizare a oțelului manganos și se obțin îmbunătățiri ale durității și rezistenței la rupere.

1.1.2. Starea structurală a oțelurilor turnate aliate cu mangan

Manganul este un element cu caracter puternic γ - gen și contribuie la lărgirea domeniului austenitic și la coborârea punctelor critice de transformare, în special A_3 . În aliajele Fe-Mn (fig. 1.1), creșterea conținutului de Mn conduce la coborârea temperaturii punctelor critice A_3 și la modificarea domeniilor fazelor α și γ .

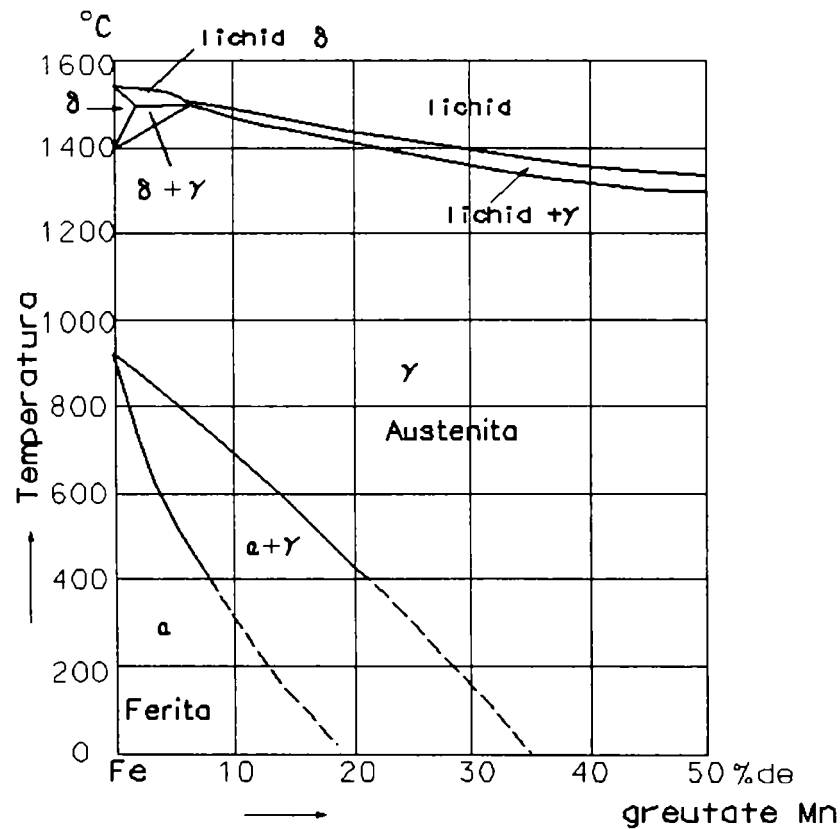


Fig. 1.1. Diagrama de echilibru Fe-Mn [10]

Creșterea conținutului de mangan deplasează transformarea $\gamma \rightarrow \alpha$ la temperaturi mai joase. La cca. 5% Mn, la o răcire obișnuită nu se mai separă din austenită ferita, având loc o transformare fără difuzie prin care se obține

martensita cubică. Această martensită cubică numită și soluție solidă α are aceeași compoziție ca și austenita din care provine, este de fapt o soluție solidă metastabilă suprasaturată cu C, la temperatura ambiantă.

În aliajul Fe-Mn se obține, la răcire, o austenită stabilă la temperatura ambiantă, dacă $Mn > 35\%$. Datorită modificării temperaturii punctelor A_3 este posibil ca prin mărirea concentrației în mangan să se obțină lărgirea domeniului γ și îngustarea domeniului α .

Pentru aplicațiile practice este mai utilă diagrama din figura 1.2 construită de Troiano și Mc Guire [10], [68].

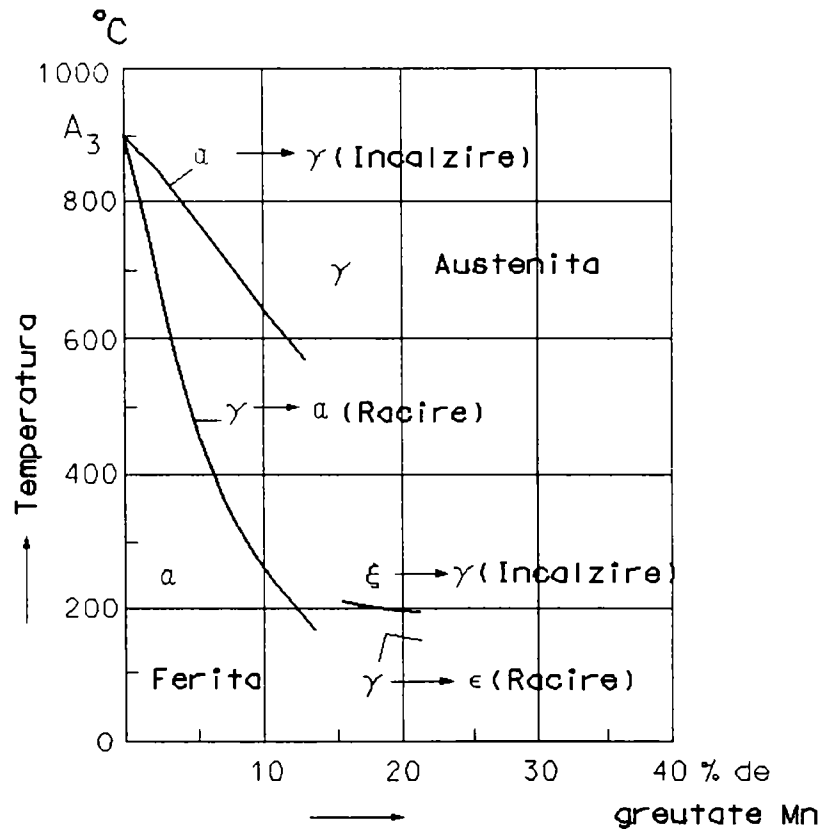


Fig.1.2. Diagrama reală Fe - Mn

Se observă că transformarea $\gamma \rightarrow \alpha$ are loc la conținuturi de până la 13% Mn. Peste 13% Mn faza α nu mai apare. Faza γ este însă metastabilă și la răcire se transformă fără difuziune, la $\theta \cong 170^{\circ}C$ în faza ϵ hexagonală – un tip de martensită, care este stabilă la temperatura ambiantă. Faza ϵ apare sub formă de ace lungi și subțiri în austenită. Structura pur austenitică se obține la aliajele cu raportul $\frac{Mn}{C} \approx 20$. Aliajele Fe-Mn au o structură și mai complicată, prin faptul ca datorită segregățiilor apar structuri mixte chiar la concentrații de 5-10% Mn.

Prezența carbonului, care și el are efect γ -gen modifică concentrațiile limită ale transformărilor fazice. Manganul se dizolva în $Fe\gamma$ și în cementită, și nu formează carburi speciale de mangan în oțelurile manganoase [51]. Studiind structura aliajelor Fe-C-Mn, reprezentată în diagrama Guillet (fig.1.3) [33], [44] se observă ușor că pentru a obține o structură austenitică este necesar ca $\frac{Mn}{C} \geq 10$, pentru care oțelul obținut are o capacitate mare de ecruisare și prin aceasta rezistența mărită la uzare, duritate mică, limita de curgere mică iar alungirea specifică are valoare mare.

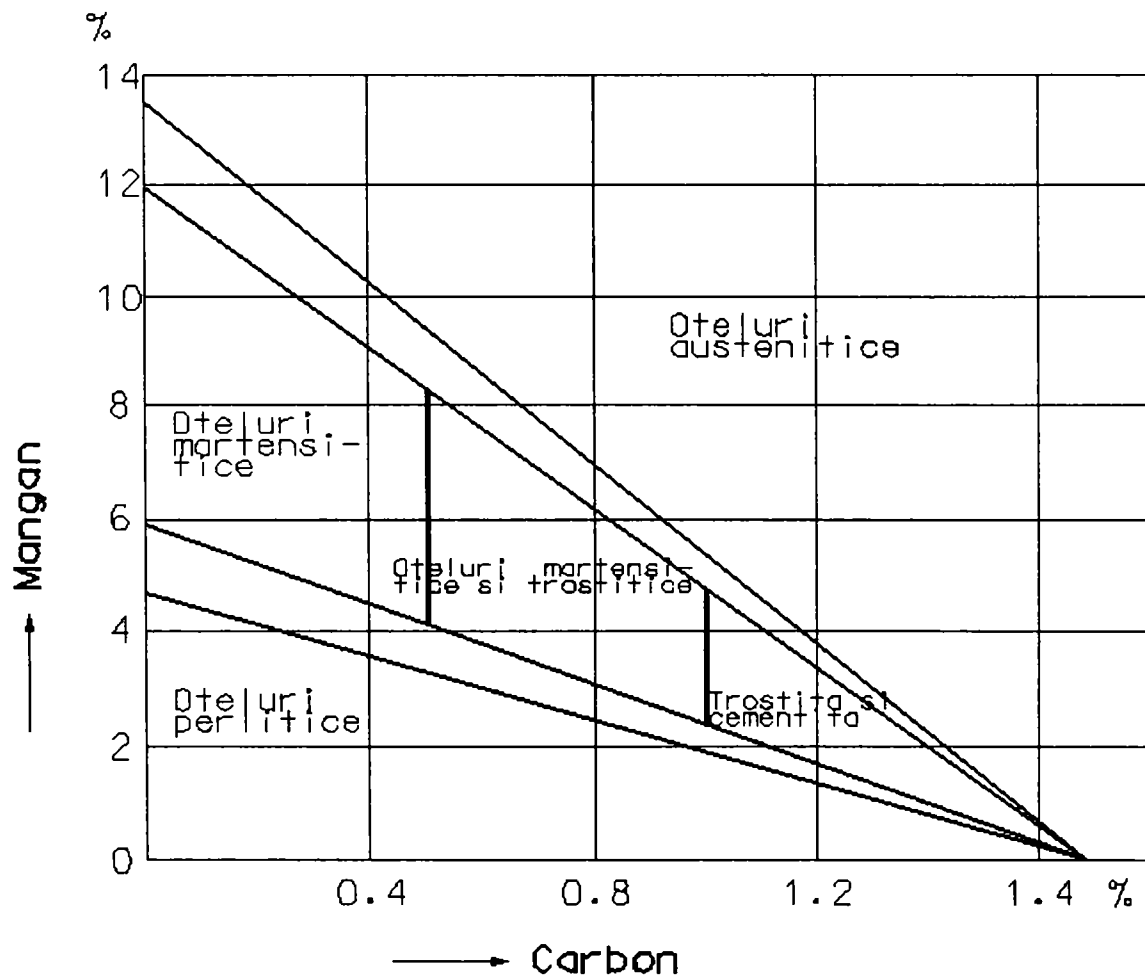


Fig.1.3. Diagrama structurală a oțelurilor aliate cu mangan

Prelucrarea prin așchiere, datorită capacității de ecruisare a austenitei este dificilă și posibilă cu scule din aliaje dure sau prin rectificare.[47]. O deformare plastică superficială și prin solicitare mecanică – dublează duritatea oțelului.

Starea structurală a oțelurilor aliate cu mangan este dependentă de compoziția chimică, în special fier, carbon, mangan, de vitezele de răcire după turnare, dar și de tratamentul termic de călire aplicat. O secțiune prin diagrama ternară Fe-Mn-C, pentru conținuturi de aproximativ 13 Mn%, este prezentată în figura 1.4. [44].

Din diagramele de echilibru din figurile (1.3 – 1.5) reiese că la temperatura ambiantă în piesele turnate din oțel austenitic manganos se poate obține o structură „pur” austenitică la variații foarte mari de Mn și C, dar literatura de specialitate recomandă pentru scopuri practice, raportul $\frac{Mn}{C} \cong 10$, dar chiar și în acest caz, structura finală turnată este funcție și de viteza de răcire în forme [45], [48], [74]. Vitezele mari de răcire (mult diferite de cele în echilibru) favorizează obținerea austenitei suprasaturate ($A_{suprasaturat}$), structură cu mare rezistență la uzare. O influență benefică în acest sens o are și dezbaterea pieselor din formă a pieselor turnate când acestea au o temperatură peste 950°C, [48], [56], pentru a nu favoriza separarea din soluția de austenita (în special la răcirii lente) a carburilor, cele mai nefavorabile fiind de formă grosolană, pe limita de separație. După extragerea pieselor din forme temporare acestea se pot răci rapid în aer sau în apă, sau cel mai eficient se vor introduce în cuptorul încălzit la peste 950°C, în vederea călirii.

În privința influenței tratamentelor termice de punere în soluție în scopul obținerii unei austenite omogene se pot preciza câteva elemente deosebite.

Astfel la conținutul de 1% C și 14% Mn, încălzirea la 1000°C, cu menținerea corespunzătoare, asigură obținerea structurii γ (austenitice) în care se vor dizolva carburile obținute după turnare. Funcție de viteza de răcire după austenitizare putem avea:

- la răcire lentă se va obține transformarea:



- la răcirea rapidă (în apă) se asigură condiția ca:



structură propice de a fi foarte rezistentă la uzare abrazivă.

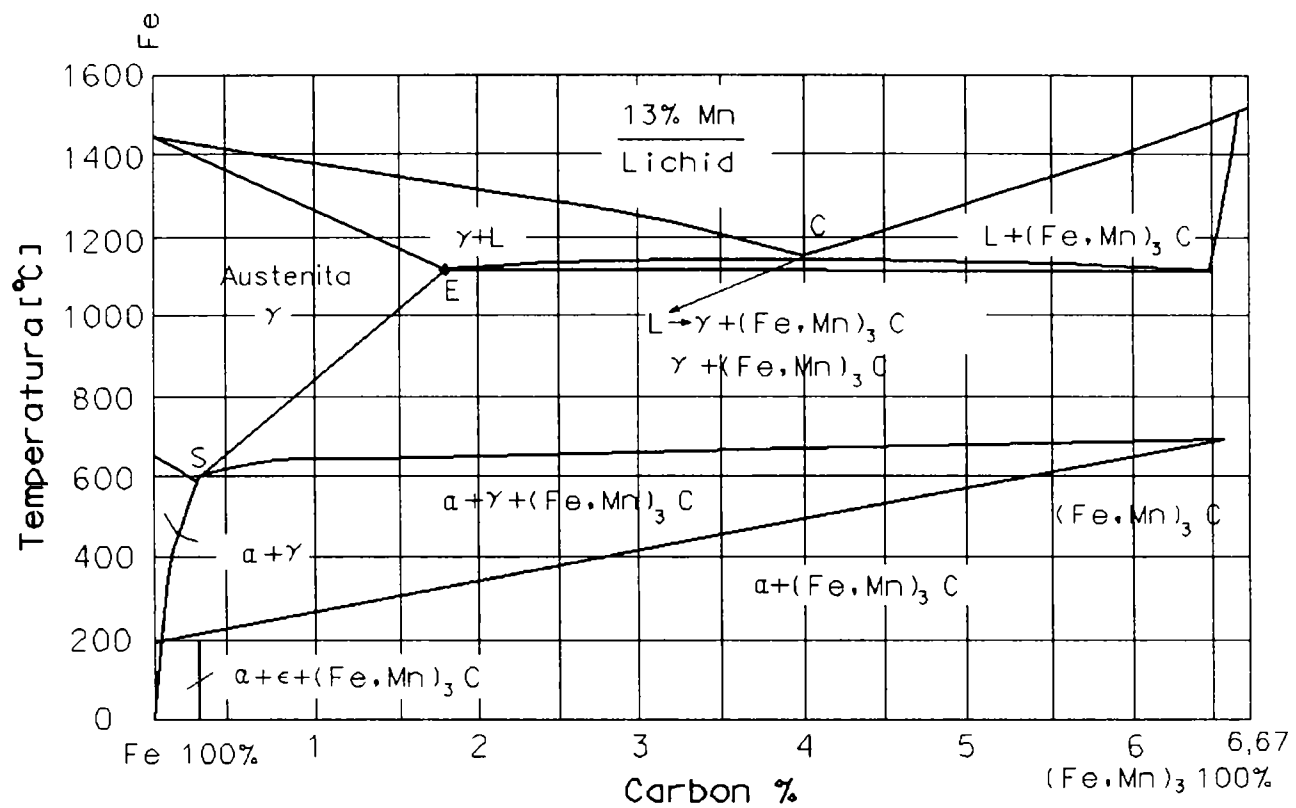


Fig.1.4. Porțiunea diagramei de echilibru Fe-Mn-C pentru 13% Mn.

De menționat faptul că în timpul încălzirii în jurul temperaturii de 400-600°C a oțelului din stare turnată brută se obține transformarea:



Prin urmare obținerea structurii austenitice este posibilă fie prin modificarea raportului $\frac{Mn}{C}$, fie prin aplicarea unor viteze de răcire foarte mari, mult îndepărtate

de cele de echilibru fazic. Dacă $\frac{Mn}{C} \cong 10$, atunci obținerea structurii austenitice este posibilă prin aplicarea unei viteze de răcire mare la piesele încălzite în domeniul 950-1050°C. În cazul răcirii în aer liniștit se poate obține o structură austenitică dacă raportul $\frac{Mn}{C} > 10$, așa cum se observă din figura 1.5. [33], [44].

Diagrama din fig.1.5. este astfel construită încât scara pentru Mn este de 10 ori mai mare decât cea a carbonului. Deci linia OF este locul geometric al punctelor care au $\frac{Mn}{C} = 10$. Dacă $\frac{Mn}{C} > 10$ se obțin oțeluri cu structuri austenitice de

stabilitate ridicată. Dacă $\frac{Mn}{C} < 10$ oțelurile vor avea o stabilitate mică a structurii austenitice. După Guillet [32] se obține o structură austenitică la compozițiile aflate peste linia GE, variind conținutul în mangan corelat cu cel în carbon. După Bain [32] se obține o structură austenitică la compozițiile aflate deasupra liniei $\beta\beta'$, variind conținutul în mangan corelat cu cel al carbonului (1,2%)

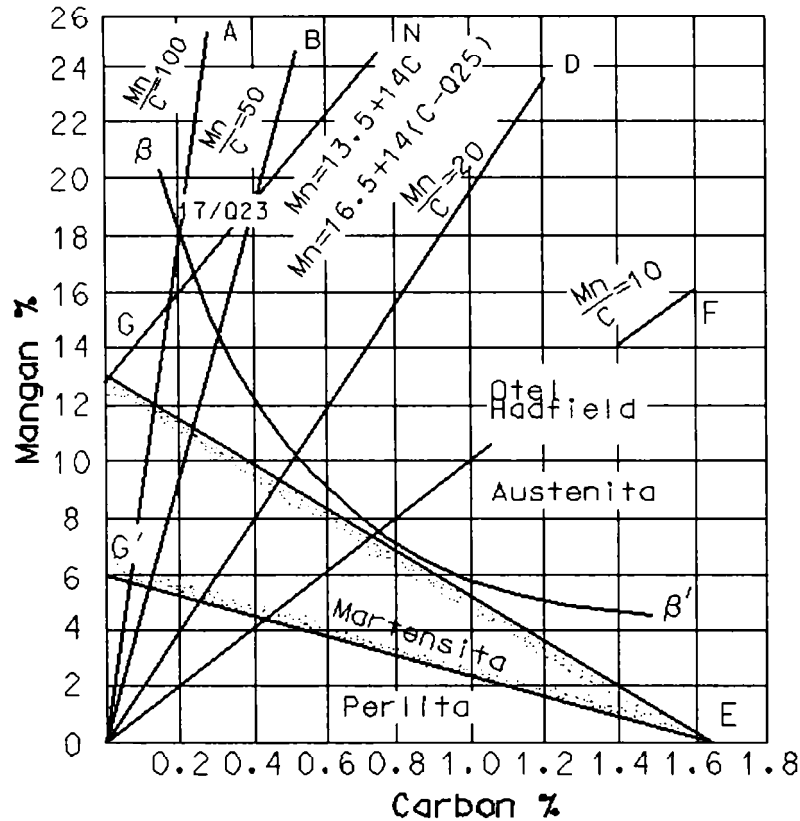
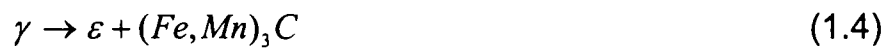


Fig.1.5. Modificarea structurii funcție de raportul $\frac{Mn}{C}$ la răcirea în aer

Se poate obține structura austenitică și la concentrațiile 0,2-0,25%C și 17-25% Mn (fig.1.5. punctul 17/0,25). În acest caz la răciri foarte lente austenita cu conținut scăzut în carbon și ridicat în mangan se va transforma:



ceea ce reprezintă un dezavantaj pentru rezistența la uzare cu șocuri, întrucât ε posedă o rețea cristalină hexagonală și nu se poate ecruisa

Prelucrabilitatea oțelului cu conținut ridicat de mangan, cu carbon în cantitate relativ mică și cu raportul $\frac{Mn}{C}$ mare, se explică prin prezență în structura

lui a fazei ε care are o rețea hexagonală, care asigură o anumită plasticitate, dar care nu permite ecruisare oțelului ca rețeaua cristalină cu fețe centrate. [49]

Este preferabil să se folosească concentrațiile de 12-13% Mn și 0,8-1,1%C care va permite la răciri lente formarea austenitei fără faza ε . Metastabilitatea acestei austenite [75] se va stabiliza la răcire în medii criogenice (azot lichid la -195°C). Conținutul mai ridicat în carbon favorizează formarea de cementită aliată cu mangan, situație care duce la sărăcirea austenitei în mangan și la modificarea stabilității acesteia. Spre a evita aceasta situație se aliază oțelul cu crom, care are afinitate mai mare față de carbon și se evită în acest fel dizolvarea manganului în cementită.

Se recomandă o participare a cromului în proporție de 0,6-2,5%, adică se va corela conținutul în crom cu cel al carbonului, utilizându-se $\frac{Cr}{C} = 0,8 - 1,92$, atunci când conținutul în mangan este de 12-14%, iar cel al carbonului de 0,7-1,3%. [71], [73], [74]. În cazul oțelului manganos destinat turnării pieselor rezistente la uzare prin șoc (corpuri și mori turbionare cu bile, fălci de concasor, macaze de cale ferată ș.a.) se recomandă ca raportul $\frac{Mn}{C} = 10$, iar în cazul cadrelor de laminoare de țevi care lucrează la uzare și în intervalul de temperatura de $500-800^{\circ}\text{C}$, raportul $\frac{Mn}{C} = 20$, [34].

Oțelul manganos cu raportul $\frac{Mn}{C} = 20$, are o stabilitate mai mare a austenitei, dacă se evită răcirea lentă după turnare sau încălzirea la călire cu durata mare în intervalul de $400-800^{\circ}\text{C}$. În consecință, alegerea compoziției chimice a oțelului manganos va fi dependentă de tipul piesei turnate, de condițiile de exploatare și de posibilitățile de tratament termic.

În cazul analizat, turnarea bilelor pentru mori de măcinat minereu, cărbune, ș.a. este favorabil raportul $\frac{Mn}{C} \cong 10$ și alierea cu crom în raportul $\frac{Cr}{C} = 0,8 - 1,92$ și cromul este 1,6%

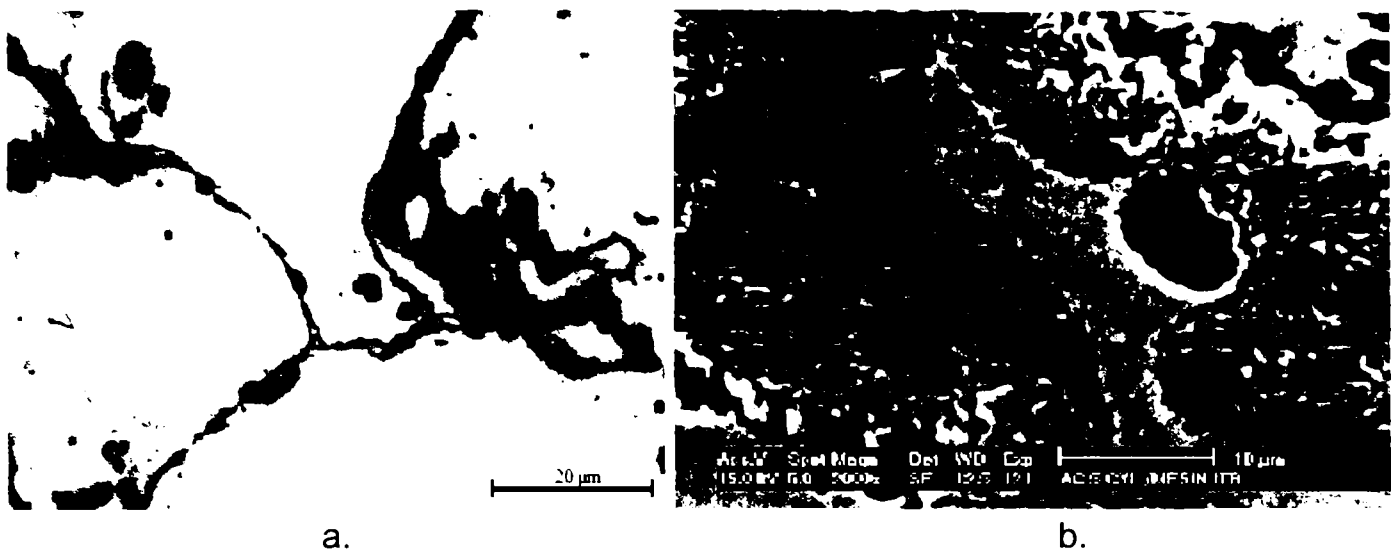


Figura 1.6. Microstructuri ale oțelului manganos turnat cu $\frac{Mn}{C} = 10$ și $\frac{Cr}{C} = 1,5$

a. austenită și carburi; b. structura carburilor. Atac Nital 3%.

Piesele în stare turnată vor avea o microstructură formată din matrice austenitică și separarea de carburi de tip cementită aliată cu mangan și carburi de crom, care se pot separa la limita grăunților sub formă fină (figura 1.6. a)

Se recomandă să se obțină microstructuri după turnare de tipul celor existente în figura 1.6.

1.2. Tratamente termice aplicate oțelurilor manganoase turnate în piese

Oțelurile manganoase au caracteristici mecanice bune și o înaltă rezistență la uzare, dacă au o structură austenitică cât mai omogenă. După turnare nu se obține o structură austenitică omogenă și în consecință piesele turnate trebuiesc supuse tratamentului termic, **călire de punere în soluție**.

Călirea de punere în soluție are următorii parametri tehnologici principali: temperatura de încălzire, (austenitizare), viteza de încălzire, durata de menținere la temperatura de austenitizare și viteza de răcire. Alegerea temperaturii de încălzire este dependentă de compoziția chimică a oțelului și se alege de pe diagrama de echilibru fazic (fig.1.4, fig.1.5) [36]. Se alege o temperatură în intervalul 980-1150°C care asigură obținerea structurii austenitice. **În cazul oțelului cu $\frac{Mn}{C} = 10$ și $\frac{Cr}{C} = 1,2$, temperatura de austenitizare care tinde spre**

valoarea optimă este de 1050°C. Încălzirea la această temperatură favorizează difuzia atomilor și asigură dizolvarea diferitelor tipuri de carburi și mărirea gradului de omogenitate al austenitei. Oțelul austenitic manganos are conductivitate termică redusă și un coeficient de dilatare de aproximativ 1,5 ori mai mare decât oțelul carbon. Datorită acestui fapt o încălzire cu viteză mare favorizează formarea fisurilor intergranulare. Încălzirea se poate realiza cu viteza de 0,5-0,75°C/s (viteza mare de încălzire), cu viteza de 0,17-0,25°C/s (viteză mică de încălzire), sau se poate face în trepte – o primă treaptă la 600 - 650°C cu o menținere de 15-25 minute și o a doua la temperatura de încălzire, cu menținere funcție de grosimea pereților piesei [15] [35], [57]. Dacă se folosește viteză mare de încălzire, este necesar un timp mai mare de menținere la temperatura de încălzire pentru a se omogeniza austenita. Viteza mică de încălzire, respectiv încălzirea în trepte, atrage după sine reducerea duratei de menținere la temperatura de încălzire. Scurtarea duratei de menținere la temperatura de încălzire are un efect benefic, asupra pieselor turnate deoarece se obține o granulație mai fină a austenitei, cu același grad de omogenitate.

Timpul de încălzire pentru oțelul cu $\frac{Mn}{C} = 10$ și $\frac{Cr}{C} = 1,2$ se va determina [58] cu relația:

$$t_{inc} = KW[\text{min}] \quad (1.5)$$

unde $K = 7-15$ [min/cm] este un coeficient de proporționalitate, iar

$W = \frac{V}{A}[\text{cm}]$ este un coeficient ce se calculează în funcție de volumul și

aria totală a piesei. În cazul pieselor sub forma sferică: $W = \frac{D}{6}[\text{cm}]$

Durata de menținere la temperatura de încălzire se determină din condițiile uniformizării temperaturii pe secțiunea piesei și pentru a se obține omogenizarea austenitei. Se folosește relația:

$$t_{men.i} = m \frac{x^2}{a}[\text{ore}] \quad (1.6)$$

unde $m = f(b)$ este un coeficient determinat în funcție de forma pieselor și de

diferența de temperatură inițială și finală pe secțiunea piesei $b = \frac{\Delta T_f}{\Delta T_i}$ în care:

ΔT_f - diferența de temperatură finală între suprafața și miez;

ΔT_i - diferența de temperatura inițială între suprafață și miez;

x – dimensiunea maximă a piesei (diametru, grosime);

a – coeficient de difuzibilitate termică al materialului (calculat sau luat din tabele specifice).

Determinarea lui m în funcție de b se realizează din nomogramă (fig.1.7) [58]. Din momentul egalizării temperaturii pe secțiunea piesei este necesară o durată de menținere, pentru a se asigura omogenizarea austenitei. Durata de transformare fazică $\alpha + (Fe, Mn)_3C \rightarrow \gamma$ se determină cu relația:

$$t_{tr} = 0,3 - 0,5t_{men.i} \text{ [ore]} \quad (1.7)$$

Prin urmare, durata totală de menținere va fi:

$$t_{men} = t_{men.i} + t_{tr} \text{ [ore]} \quad (1.8)$$

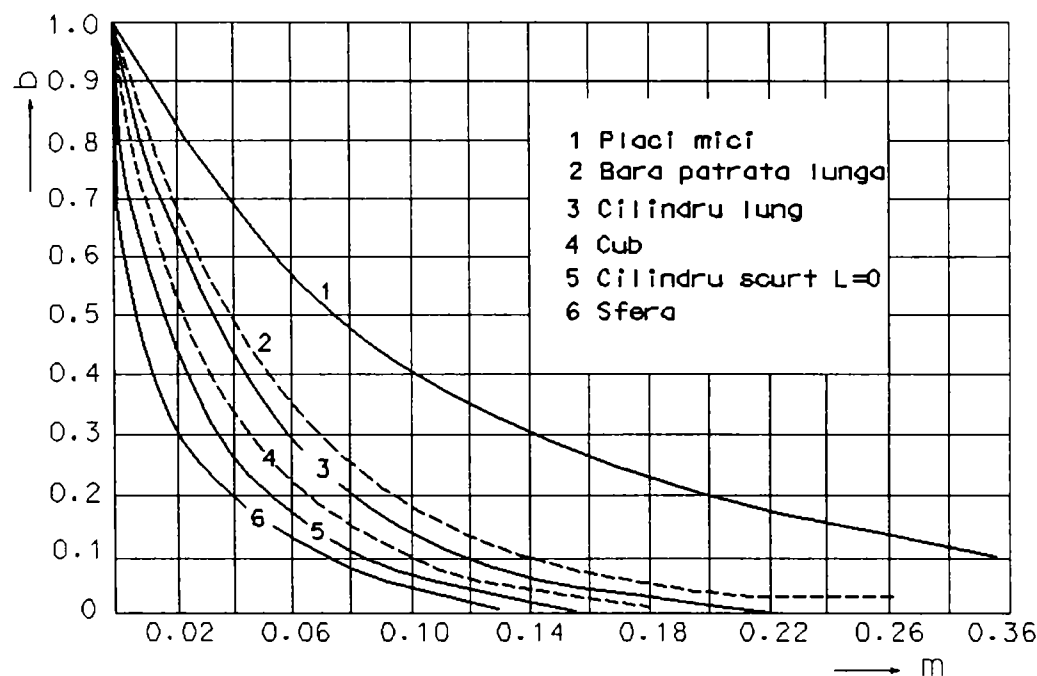


Fig. 1.7. Nomograma pentru determinarea lui m .

Pentru oțelul manganos considerat se admite o durată de menținere:

$$t_{men} = 1h / 25mm \text{ din secțiunea cea mai mare a piesei.}$$

Alegerea vitezei de răcire se face din condițiile de „fixare” a structurii austenitice, adică o viteză de răcire mare, corespunzătoare mediului de răcire, apă sau soluții apoase.

Se recomandă ca mediul de răcire apa a cărei temperatură să nu depășească pe cea a mediului ambiant.

Se recomandă ca după călirea de punerea în soluție să se obțină o microstructură austenitică suprasaturată, conformă celei din fig.1.8. [54].

Stabilitatea termică a oțelurilor manganoase le asigură exploatarea în siguranță până la anumite temperaturi. Dacă după călirea de punere în soluție dacă se aplică încălziri în intervalul 400-600°C, se favorizează formarea și separarea carburilor și sărăcirea în mangan a austenitei.

Micșorarea conținutului de mangan al austenitei favorizează transformarea ei în ferită și ca atare micșorează rezistența la uzare a oțelurilor. [2], [77].



unde:

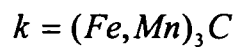


Fig.1.8. Microstructura austenitică a oțelului manganos după tratamentul termic.
(Atac Nital 2% + Na₂S₂O₅ concentrație 20%)

Modificarea durității oțelului austenitic manganos, când se aplică o încălzire după călirea de punere în soluție este arătată în figura 1.9. [33], [71].

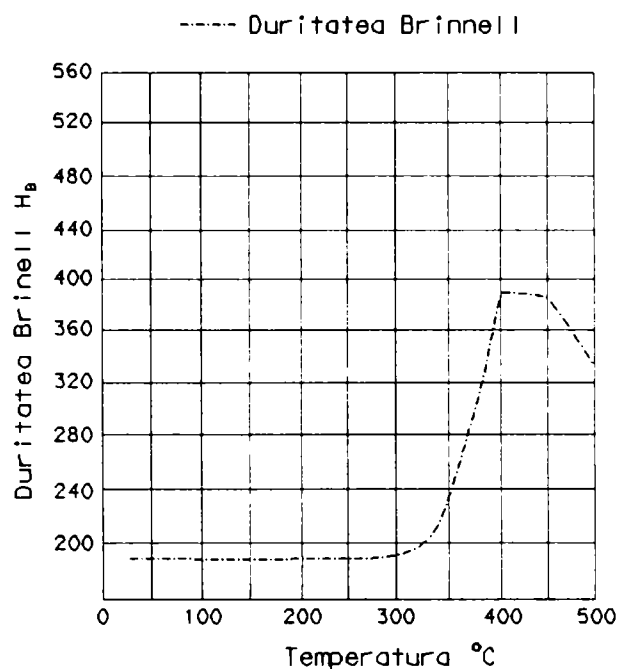


Fig.1.9. Influența temperaturii asupra durității oțelului încălzit după călirea de punere în soluție.

Se observă în figura 1.9. că stabilitatea termică a austenitei oțelului călit se asigură până la temperatura de 350⁰C. Încălzirile peste 350⁰C măresc duritatea, ca urmare a separării carburilor din austenită, dar reduc rezistența la uzare abrazivă.

În consecință oțelul manganos luat în considerare ($\frac{Mn}{C} = 10$ și $\frac{Cr}{C} = 1,2$)

va avea o stabilitate termică până la temperatura de 300-350⁰C.

1.3. Caracteristicile mecanice și tehnologice ale oțelurilor austenitice manganoase [64]

Caracteristicile mecanice ale oțelului manganos, în stare călită iau valorile:

Limita de curgere	$R_{p02} = 245-390 \text{ N/mm}^2$;
Rezistența de rupere	$R_m = 790-980 \text{ N/mm}^2$;
Alungire	$A = 35-40\%$;
Gâtuire	$Z = 35-40\%$;
Rezistența la încovoiere	$R_{mi} = 215-295 \text{ N/mm}^2$;
Duritatea Brinell	$HB = 180-220$;
Reziliența	$KCU2 = 20-30 \text{ J/cm}^2$ la 20 ⁰ C.

Oțelurile au asociată o mare ductibilitate și tenacitate cu rezistență la rupere remarcabile. Prelucrabilitatea prin așchiere a acestor oțeluri este definită datorită

$\frac{R_{p0.2}}{R_m} = 0,31-0,040$ și ca urmare a ecruisării superficiale sub acțiunea forțelor de

așchiere. Oțelurile manganoase sunt rezistente la uzare prin șocuri, datorită capacității lor de ecruisare, când duritatea se dublează față de cea inițială. Oțelurile manganoase se comportă bine la îndoirea prin șoc, ca urmare a valorii mari a rezistenței la încovoiere (R_{mi}). Îndoirea prin șoc se face pe epruvete \square 30x200 mm prismatice cu creștătura la mijloc ($R = 1,5$ mm) folosind o sonetă al cărei berbec de 50 kg cade liber de la 3 m înălțime. Se aplică trei lovituri epruvetei pe partea opusă creștăturii și fisurile apărute în zona creștată să nu fie mai adânci de 7 mm. [59]. Încercarea de reziliență pe epruveta cu creștătura în V se face la temperatura ambiantă și energia de rupere variază între 210-250 J/cm² în funcție de varianta de călire de punere în soluție care s-a aplicat.

Valorile inițiale ale lui KV se aplică după călirea de punere în soluție prin varianta de încălzire rapidă. La călirile de punere în soluție realizate cu viteze mari de încălzire se obțin valori ale lui KV .

1.4.Mărci de oțeluri austenitice manganoase

Oțelul austenitic manganos turnat în piese face obiectul standardului 3718-88. [64]. Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri austenitice manganoase produse în țară este indicată în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1. *Mărci de oțeluri austenitice manganoase elaborate în România*

Marca								
	C	Mn	Si _{max}	P _{max}	S _{max}	Ni _{max}	Cr	Mo
T105Mn120	0,90-1,20	11,50-13,50	1,00	0,11	0,05	0,80	-	-
T130Mn135	1,25-1,40	12,50-14,50	1,00	0,11	0,05	0,80	-	-
T120CrMn130	1,05-1,35	11,50-14,00	1,00	0,07	0,05	-	1,50-2,50	-
T100MoMn130	0,70-1,30	11,50-14,00	1,00	0,07	0,05	3,00-4,00	-	-
T100MoMn130	0,70-1,30	11,50-14,00	1,00	0,07	0,05	-	-	0,80-1,20
T70Mn140	0,60-0,80	12,50-15,50	1,00	0,10	0,05	-	0,60-1,00	-

Se vor respecta abaterile de limită de la compoziția chimică, indicate în standard.

Correspondența mărcilor indigene cu cele străine este prezentată în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2. Corespondența mărcilor indigene cu cele străine

STAS 3718-88	GOST 2167-77	NF A32-058-84	BS 3100-710	ASTM A-128-73	DIN 17145
T105Mn120	110G13L	-	BW-10	B1	-
T130Mn135	-	Z120M12-M	-	A	GX120Mn12
T120CrMn130	120G13H2B1	Z120MC12-M	-	C	GX120Mn13
T100MoMn130	-	Z100MN13.4	-	D	-
T70Mn140	-	Z110MD12.1- M	-	E-1	-

Caracteristicile mecanice impuse mărcilor de oțel austenitic manganos produse la noi în țară sunt indicate în tabelul 1.3. [64]

Tabelul 1.3. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor austenitice manganoase românești

$R_{p0.2}$ [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	A [%]	Z [%]	KCU2 la 20°C [J/cm ²]	R_{mi} [N/mm ²]	HB
245-390	790-980	35-45	35-45	20-30	245-295	180-220

1.5. Concluzii parțiale

Din cele prezentate se pot stabili următoarele concluzii și preocupări în realizarea tezei de doctorat. Se vor folosi mărci de oțeluri care asigură valorile

$$\frac{Mn}{C} = 10 \text{ și } \frac{Cr}{C} = 1,2, \text{ în care carbonul va fi de } 1,3\%.$$

Se vor realiza structuri turnate, care nu trebuie să prezinte rețeaua de carburi la limita grăunților, situație ce se va corela cu compoziția chimică și tehnologia de elaborare, turnare și dezbatere a pieselor turnate.

Se va analiza și îmbunătăți tehnologia de elaborare, turnare pentru a se obține piese de calitate ridicată, reducându-se rebuturile.

Se vor aplica tratamentele termice – căliri de punere în soluție, folosind viteză mică de încălzire și concomitent încălzirea lentă. Se vor determina duratele de menținere și se va face răcirea în apă cu $\theta \leq 20^\circ C$. Se vor face determinări ale caracteristicilor mecanice și tehnologice pe probe turnate în aceleași condiții ca și bilele.

Cap. 2. CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA TEHNOLOGIILOR DE ELABORARE A OȚELULUI MANGANOS

În tehnica actuală se utilizează ca materiale foarte rezistente la uzare oțelurile înalt aliate cu mangan, cu structură austenitică, denumite și oțeluri austenitice manganoase. Piese realizate din acest oțel, datorită caracteristicilor mecanice deosebite ca reziliență și rezistență ridicată la uzare prin șoc, sunt deseori utilizate în industria extractivă și de prelucrare a minereurilor și materiilor prime destinate în special industriei metalurgice și a celei miniere.

Producția de oțeluri înalt aliate cu mangan ridică însă probleme foarte dificil de rezolvat, în special în ceea ce privește turnarea în piese, datorită procentului mare de rebuturi, care depășește de regulă 14%. [28].

Din experimentările efectuate s-a tras concluzia că procentul foarte ridicat de rebuturi se datorează, retasurilor de contracție, crăpăturilor la cald și celor care apar după dezbaterea pieselor turnate. Apariția acestor defecte au loc și datorită unor deficiențe în conducerea elaborării oțelului [29].

În acest capitol s-a analizat tehnologia de elaborare în cuptor electric bazic cu arc a oțelului T130Mn135 care se elaborează în mod curent în țara noastră, (tehnologie industrială), prezentată critic și cu îmbunătățiri ale tehnologiei de elaborare, legate în mod deosebit de dezoxidarea oțelului.

În continuare s-a realizat o tehnologie de elaborare a oțelului austenitic manganos aliat cu crom marca T120CrMn120, tabelul 2.8, (tehnologie de laborator) în cuptorul electric prin inducție ținându-se cont de efectele cromului asupra proprietăților mecanice și care ajută la formarea unor carburi complexe care reduc procentul de rebut.

Din motive economice a fost imposibilă elaborarea oțelului marca T120CrMn120 în cuptor electric bazic cu arc cu capacitatea de 3t și cuptorul electric prin inducție 250kg, pentru a compara proprietățile aceleași mărci de oțel elaborate în două cuptoare diferite, cuptor electric cu arc bazic și cuptor electric prin inducție.

Comparativ s-au făcut comparații între proprietățile oțelului austenitic manganos T130Mn135 elaborat în cuptor electric bazic cu arc și ale oțelului

T120CrMn120 elaborat în cuptor electric prin inducție. Datele redau influența cromului asupra proprietăților oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan și nu influența cuptorului de elaborare.

Oțelul înalt aliat cu Mn (varianta industrială) elaborat în mod curent în țara noastră, are compoziția chimică redată în tabelul 2.1. [64].

Tabelul 2.1. Oțelul austenitic manganos - compoziția chimică

Marca	Compoziția chimică [%]							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
T 130Mn135 STAS 3718-88			max.	max.	max.	max		
	1,25 - 1,40	12,50 - 14,50	1,00	0,11	0,05	0,80	-	-

2.1. Dezavantajele tehnologiei actuale de elaborare a oțelurilor austenitice manganoase în cuptor electric bazic cu arc (varianta I)

S-a analizat actuala tehnologie de elaborare a oțelurilor austenitice manganoase prezentându-se deficiențele acesteia în vederea îmbunătățirii calității pieselor turnate.

2.1.1. Tehnologia actuală de elaborare a oțelurilor austenitice manganoase, numită varianta I.

Tehnologia obișnuită este caracterizată prin faptul că elaborarea se face în cuptor electric cu arc, bazic și FeMn de aliere se dă în întregime la sfârșitul procesului de oxidare a băii metalice, și printr-un regim de oxidare continuă a manganului. [23], [28], [29].

Această variantă duce la elaborarea unui piese cu defecte (crăpături) și cu caracteristici mecanice slabe, ceea ce se explică prin:

- insuficientă dezoxidare a băii metalice care conduce la o concentrație ridicată de [FeO] și (FeO) ;
- adaosul porțiilor mari de FeMn de aliere, duce la oxidarea intensă a manganului;
- obținerea unei concentrații ridicate de (SiO₂), ceea ce determină legarea (MnO) și deplasarea echilibrului reacției spre oxidarea manganului;

- realizarea zgurii insuficient de bazică, cu concentrație mare de anioni de O^{2-} .

După această tehnologie FeMn se adăuga în întregime sau cel mult două porții a câte 300...350 kg la un cuptor de 3t capacitate. [28]. Adăugarea unei cantități mari de FeMn în baie ducea la o răcire bruscă a băii metalice, ceea ce crea condiții favorabile pentru oxidarea avansată a manganului. În perioada adăugării FeMn zgura se menținea în permanență oxidantă (neagră), cu toate că se adăuga în cuptor în mod continuu var, CaF_2 , FeSi 75% și cocs măcinat pentru formarea unei zguri dezoxidante (albe).

După adăugarea întregii cantități de FeMn baia se amesteca până la topirea și dizolvarea completă a acestuia.

În perioada de aliere se lucra cu tensiunea maximă a transformatorului pentru încălzirea puternică a băii metalice și pentru a se accelera formarea zgurii albe cu un conținut cât mai redus în (FeO) și (MnO). Acest lucru se realiza însă foarte greu.

După obținerea unei zguri dezoxidante, bazice și de culoare alb-cenușie se controlează temperatura oțelului la placă, după care se făcea ultimul adaos de FeSi și pregătirile pentru evacuarea și turnarea oțelului.

Dezoxidarea finală se făcea în oală cu aluminiu în proporție de 0,3 kg/t oțel. Turnarea se făcea la 1400 - 420°C, temperatura fiind măsurată cu termocuplu prin imersie. Dezbaterea pieselor turnate se efectua la 700-800°C.

În concluzie elaborarea oțelului manganos după această tehnologie nu este rațională din următoarele cauze:

- a) datorită porțiilor de FeMn care se adaugă în baie într-o singură repriză, temperatura băii scade brusc, ceea ce necesită prelungirea duratei de elaborare pentru a se ajunge la regimul termic adecvat;
- b) durata șarjei se prelungeste și din cauza decarburării foarte avansate (sub 0,10%C) și a unei metodologii defectuoase de dezoxidare. Decarburarea la conținutul sub 0,10...0,15% C, necesită un timp îndelungat și are ca efect negativ pe lângă prelungirea duratei de elaborare și o supraoxidare a oțelului, ceea ce duce la mărirea procentului de rebuturi prin apariția crăpăturilor după dezbatere;

- c) prin aplicarea vechii tehnologii nu se pot asigura condițiile pentru regenerarea manganului, obținându-se zguri finale cu conținuturi mari în (FeO) și (MnO). Acest lucru atrage după sine următoarele neajunsuri:
- d) pierderi mari de Mn în zgură sub forma (MnO);
- e) mărirea duratei de elaborare, ceea ce determină reducerea productivității cuptorului și mărirea consumurilor de energie electrică, electrozi, materiale pentru formarea zgurii și manoperă;
- f) obținerea unei procent ridicat de rebuturi, din cauza crăpăturilor la cald.

2.2. Îmbunătățiri ale tehnologiei actuale de elaborare a oțelului austenitic manganos (varianta II)

Pentru îmbunătățirea tehnologiei de elaborare, s-a efectuat o analiză foarte amănunțită a tehnologiei actuale, scoțând în evidență deficiențele acesteia, și, s-a elaborat o nouă tehnologie a procesului de elaborare, cu aplicarea de noi măsuri. Noua tehnologie de elaborare este caracterizată printr-o mai bună asimilare a manganului în baie, în timpul alierii cu FeMn. [6], [28].

Regimul de asimilare a manganului se menține în toată perioada de aliere ca urmare a respectării următoarelor condiții:

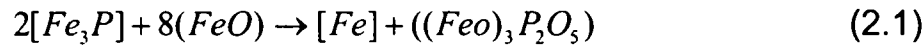
- realizarea unui grad de dezoxidare avansat a băii metalice, prin micșorarea concentrației de ioni de Fe^{2+} și O^{2-} în metal și zgură, prin utilizarea unei încărcături curate, fără oxizi și a unui amestec dezoxidant;
- menținerea unui regim termic ridicat, prin utilizarea de la bun început a unor trepte de putere mai mari;
- prezența unei cantități reduse de anioni de (SiO_4^{4-}) prin reglarea bazicității zgurii.

Prin conducerea corectă a elaborării, prin reglarea temperaturii băii și bazicității zgurii, cu darea treptată a FeMn de aliere, se poate realiza o bună regenerare a manganului.

Conform noii tehnologii, după încărcarea și topirea șarjei trebuie să se acorde o atenție deosebită următoarelor proceselor metalurgice:

2.2.1) Defosforarea. Fosforul fiind un element dăunător în sensul că determină o structură grosolană și înrăutățește caracteristicile mecanice, în special reziliența, trebuie îndepărtat cât mai complet. Potrivit literaturii de

specialitate [5], [6], [33], și a practicii de elaborare, procesul se desfășoară se bazează pe oxidarea fosforului în baia metalică, imediat după oxidarea Si și Mn și trecerea în zgură sub formă de fosfat de fier.



$$\Delta H = -47850 \text{ cal/mol}$$

din expresia constantei de echilibru K_p a reacției:

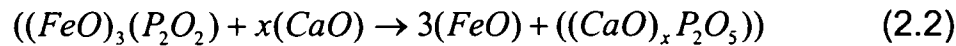
$$K_p = \frac{(P_2O_5)}{[P]^2(FeO)^8}$$

se deduce expresia raportului de repartiție:

$$\frac{(P_2O_5)}{[P]^2} = K_p (FeO)^8$$

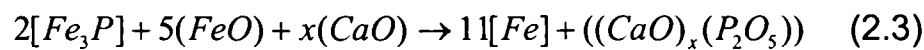
rezultă că valoarea raportului de repartiție (care este maximă pentru starea de echilibru) crește foarte intens odată cu creșterea conținutului de (FeO) liber. De asemenea crește valoarea raportului de repartiție odată cu scăderea de temperatură, deoarece crește valoarea constantei de echilibru, reacția de oxidare a fosforului fiind minimă.

Sub acțiunea calcei are loc reacția:



unde $x = 3 \dots 4$.

Adunând reacțiile (2.1) și (2.2) se obține reacția globală de defosforare:



Constanta de echilibru a acestei reacții este:

$$K_p = \frac{(P_2O_5)}{[P]^2(FeO)^3(CaO)^x}$$

din care rezultă valoarea raportului de repartiție:

$$\frac{(P_2O_5)}{[P]^2} = K_p (FeO)^3 (CaO)^x$$

Pentru a se obține valori mari ale raportului de repartiție, trebuie ca zgura să fie bazică și să aibă o putere mare de oxidare, ceea ce echivalează cu un conținut ridicat de CaO și FeO libere.

2.2.2) Oxidarea carbonului.

În cazul elaborării oțelurilor cu mangan, oxidarea carbonului trebuie condusă intensiv cu viteza de decarburare în limitele 0,4...0,6 % C/h. La o astfel de fierbere energetică se ajunge prin adaos de minereu de fier pe baie în cantități corespunzătoare sau mai ales prin insuflarea oxigenului.

Reacțiile care au loc sunt:



sau în cazul insuflării O₂:



în care CO se degajă în atmosferă și trecând prin zgură creează procesul de „fierbere”.

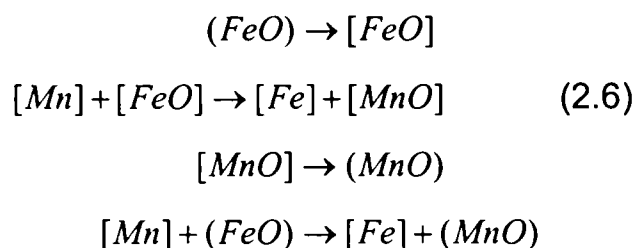
Este indicată respectarea cu strictețe a perioadei de fierbere, evitându-se scurtarea șarjei pe seama acestei perioade (accelerarea fiind admisă doar prin utilizarea oxigenului), chiar dacă conținutul de [P] la topire este redus. În acest sens trebuie arătat că este chiar bine ca la topire conținutul de C să fie ridicat pentru a se asigura o fierbere intensă a băii metalice, mărindu-se viteza de decarburare în special în prima parte a perioadei de fierbere și de defosforare.

Trebuie avut de asemenea în vedere faptul că, asupra calității oțelului acționează nu numai conținutul de C la topire și viteza de decarburare, ci și conținutul de C în perioada de dezoxidare și aliere.

În cazul când se dispune de FeMn metalic, cât și de FeMn standard, decarburarea se recomandă a fi dusă până la 0,40...0,50 % C în baia metalică.

Dacă nu se dispune de cantitățile necesare de FeMn metalic ci numai de FeMn standard, se interzice cu desăvârșire oxidarea carbonului sub 0,20 %.

2.2.3.) Oxidarea și regenerarea manganului. După topirea băii metalice se creează condiții favorabile pentru oxidarea manganului pe seama:



MnO care rezultă în prezența unui exces de [FeO], formează soluția de $mMnO \cdot nFeO$ care are temperaturi de topire cu atât mai joase cu cât conținutul de FeO este mai ridicat. Soluția de $mMnO \cdot nFeO$ se remarcă printr-o solubilitate ridicată în baia metalică. În timpul topirii în prezența SiO_2 , oxizii de fier și de mangan sunt legați sub forma silicaților ($MnO \cdot SiO_2$) și mai ales $(FeO) \cdot SiO_2$ cu temperatură de topire joasă și care trec ușor în zgură.

Odată cu creșterea bazicității zgurii, oxizii acizi sunt legați de CaO, rămânând și o cantitate de CaO liber care se substituie oxidului de mangan în silicați, măbind astfel concentrația de (MnO) liber. Prin mărirea peste anumite limite a concentrației de (MnO) liber se produc condiții favorabile pentru regenerarea manganului.

Valoarea constantei de echilibru este:

$$K_{Mn} = \frac{[Mn](Fe)}{(MnO)} \quad \text{sau} \quad K'_{Mn} = \frac{(MnO)}{[Mn](FeO)} \quad (2.7)$$

Valoarea constantei K'_{Mn} scade cu creșterea temperaturii fiind deci o reacție exotermă, ceea ce rezultă din expresia:

$$\lg K'_{Mn} = \frac{6232}{T} - 3,026 \quad (2.8.)$$

Rezultă că prin creșterea temperaturii scade valoarea constantei K'_{Mn} odată cu scăderea raportului de repartiție $(MnO)/[Mn]$, prin aceasta intensificându-se reacția de regenerare a manganului (fig. 2.2.).

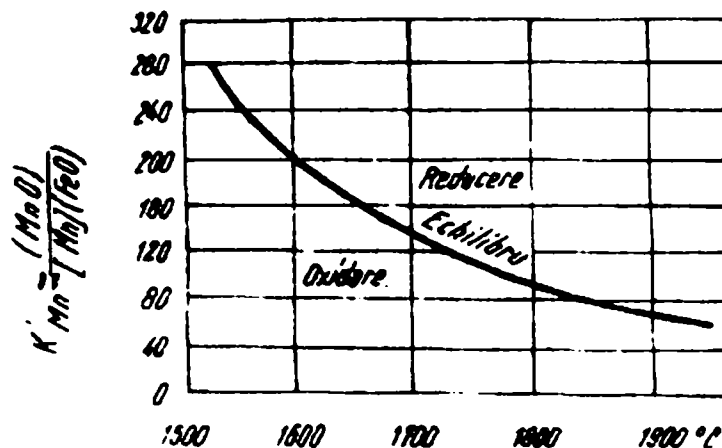


Fig. 2.1. Variația constantei K'_{Mn} cu temperatura

Rezultă din cele mai sus că prin dirijarea temperaturii și a bazicității zgurii, se poate influența regimul manganului în timpul elaborării, fie în sensul oxidării, fie în sensul regenerării. Astfel în timpul topirii și după topire când temperatura băii este relativ joasă se creează condiții prielnice pentru reacția de oxidare. S-a constatat că [FeO] oxidează manganul cu atât mai intens cu cât cuptorul are un mers mai rece.

Reacția de regenerare a manganului este favorizată de:

- a) mărirea bazicității pentru a ridica conținutul de (MnO), deci prin mărirea activității a (MnO);
- b) scăderea conținutului de (FeO), prin adaos de materiale reducătoare pe zgură în special în faza de dezoxidare;
- d) prin scăderea cantității de zgură :

Se observă că [Mn] variază invers proporțional cu cantitatea de zgură și cu raportul de repartiție și direct proporțional cu $\langle Mn \rangle$.

2.2.4) Dezoxidarea și alierea. Din practica elaborării oțelurilor înalt aliate cu mangan s-a observat că adăugarea FeMn de aliere în perioada de oxidare sau de fierbere duce la o înrăutățire sensibilă a caracteristicilor mecanice ale oțelului prin apariția de crăpături, datorită conținutului ridicat de incluziuni de FeO și MnO.

Este indicată alierea cu mangan după realizarea unei bune dezoxidări a băii metalice prin difuziune, folosind amestecuri complexe cu FeMn, FeSi, Al etc. În experimentările realizate la început s-a efectuat predezoxidarea cu feromangan.

După datele din literatura de specialitate [6], [10], [37], conținutul de $[O_2]$ scade pe măsură ce crește adaosul de mangan în baie. În figura 2.3. este

reprezentată variația conținutului de $[O_2]$, după diverși autori. Din analiza curbelor rezultă că pentru a se realiza o bună dezoxidare a băii metalice, cu conținuturi sub 0,01% $[O_2]$, este necesar un procent de 2,5...3% Mn.

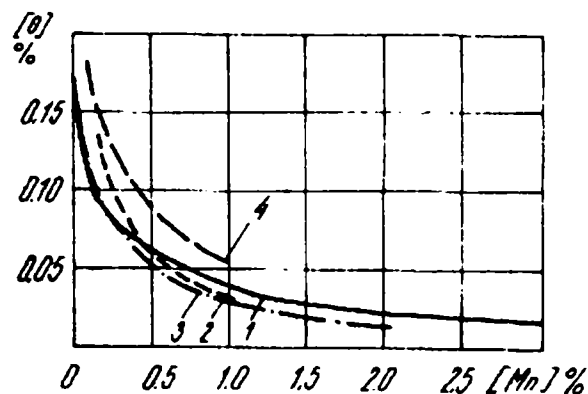


Fig. 2.2. Capacitatea de dezoxidare a Mn după diverși autori

(1. B.V. Lincevski, A.M. Samarina; 2. V.V. Averina, A.I. Poleacov; 3. Hilti, Kraft; 4. Chipman)

Din practica elaborării oțelului manganos s-a constatat că prin folosirea unui conținut mai mare de 0,4...0,5 % Mn, la predezoxidare se formează în baie cantități mari de produși de dezoxidare sub forma soluțiilor $mMnO.nFeO$ cu mare solubilitate în baia metalică și care constituie una din cauzele apariției de crăpături la cald după dezbateră, datorită creșterii conținutului de incluziuni de FeO și MnO .

Acest lucru este confirmat și de S. I. Carmazin [8], care a stabilit că la conținutul de 0,2...0,3% $[Mn]$, incluziunile nemetalice sunt în special oxizi de fier. Peste 0,3% $[Mn]$ incluziunile nemetalice se îmbogățesc cu MnO , cu formarea soluțiilor de $mMnO.nFeO$ cu puncte de topire scăzute și cu mare solubilitate în baia metalică. Autorul arată că există o dependență foarte strânsă între procentul de rebuturi și conținutul de (MnO) . Acest lucru este ilustrat în tabelul 2.2. Concluziile acestea au fost verificate în practica de elaborare.

Pentru a se evita creșterea conținutului de $[Mn]$ prin adaosul unei cantități prea mari de $FeMn$ în baie în scopul unei dezoxidări avansate, s-a experimentat cu bune rezultate amestecul dezoxidant de $FeMn$ și $FeSi$ [29], [71]. Cu această ocazie s-a constatat că se poate ajunge la un grad de dezoxidare avansat prin adaosul concomitent de $[FeSi]$ în baie până la un conținut de 0,2...0,3 % $[Si]$.

Tabelul 2.2. Dependența între procentul de rebuturi și conținutul de (MnO)

Conținutul de (MnO) înainte de evacuare [%]	Rebut [%]
sub 9	2,7
9 ... 12	3,8
peste 12	14

Din cele arătate rezultă ca indicată metoda de dezoxidare a băii metalice cu 0,4...0,5% [Mn] și 0,2...0,3% [Si]. Această concluzie rezultă și din analiza diagramei din figura 2.3.

În cadrul cercetărilor efectuate s-a experimentat un amestec dezoxidant complex alcătuit din: var, fluorină, șpan de aluminiu, electrozi măcinați și FeSi (45 sau 75 %) în proporția de 6:1:1:1:1. Acest amestec a dat rezultate foarte bune, conținutul de oxigen al oțelului fiind diminuat la 0,003...0,005%.

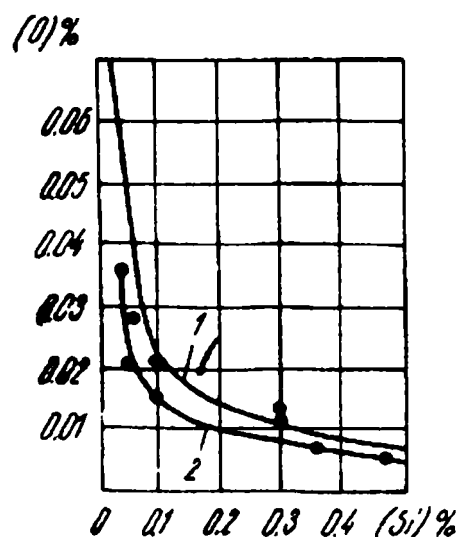


Fig. 2.3. Influența Mn și Si la dezoxidare;

1 – dezoxidarea cu Si; 2 – dezoxidarea cu 0,2–0,3% Si și 0,3–0,4% Mn.

2.3. Studii și încercări practice de elaborare oțelului manganos în cuptorul cu arc electric bazic cu capacitatea de 3 tone.

Pentru a ne putea da seama de eficacitatea celor două variante de elaborare a oțelului manganos s-au luat ca șarje oponente un număr de 20 șarje elaborate după vechea tehnologie.

Ținând cont de recomandările literaturii de specialitate [5], [6],[12],[71], [73], [74], [75] a reieșit că cuptorul electric bazic cu arc este recomandat la elaborarea oțelului austenitic manganos. În vederea elaborării s-a acordat o atenție deosebită următoarelor etape:

1. Ajustarea. În vederea elaborării oțelului manganos, cuptorul trebuie să fie în stare bună; vatra să nu prezinte gropi sau să fi suferit reparații masive, după șarja precedentă, iar pereții să nu fie deteriorați.

Durata reparațiilor nu trebuie să depășească 15 minute.

2. Încărcarea. Se efectuează manual, utilizând materii prime de bună calitate, lipsite de nisip, maselote și piese rebutate din oțel manganos, preîncălzite fontă brută și chiar electrozi. După terminarea încărcării ca și la varianta veche se introduce sub electrozi o cantitate de cocs sau așchii de oțel carbon în proporție de 20...30kg/t, pentru amorsarea arcului electric. Pentru a accelera formarea zgurii de topire se adaugă în cuptor 20...25 kg var/t de încărcătură.

3. Topirea. La început reglarea electrozilor se efectuează manual și se lucrează cu cea mai joasă treaptă de tensiune a transformatorului, până la stabilizarea arcului; după care se trece la reglarea automată a electrozilor și la treapta superioară de tensiune. Imediat după formarea craterelor sub electrozi se introduce în cuptor var mărunț în proporție de 10...15 kg/t.

Durata topirii la cuptorul electric bazic de 3 tone, este în medie 90 minute. La sfârșitul topirii se amestecă bine baia metalică și zgura și se iau probe de metal și zgură pentru analiză.

La sfârșitul topirii conținutul de [C] trebuie să fie de 0,3...0,5%.

4. Fierberea. După obținerea analizei de carbon se începe fierberea. Este indicată respectarea cu strictețe a limitei de ardere a carbonului care nu trebuie să coboare sub 0,20%. Acest lucru are o mare influență asupra calității oțelului, reducându-se astfel procentul de rebuturi, din cauza crăpăturilor de dezbatere.

Adaosul de minereu trebuie calculat riguros în funcție de conținutul de carbon al băii metalice și trebuie efectuat în porții asigurând o viteză de decarburare de 0,5...0,6% C/h.

Perioada de fierbere cu limitarea conținutului de [C] la 0,5% nu trebuie să depășească 45...50 minute, în care se include și fierberea liniștită, cu o durată de 15...20 minute. La sfârșitul perioadei de oxidare se trage întreaga cantitate de zgură oxidantă, într-un timp cât mai scurt posibil, pentru a se evita răcirea băii metalice.

Spre sfârșitul perioadei de fierbere se adaugă în cuptor o cantitate de FeMn care să asigure un conținut de 0,5...0,7% [Mn] după formarea zgurii albe. Acest lucru contribuie la o bună predezoxidare a oțelului. Limita de 0,5...0,7% [Mn] trebuie menținută cu strictețe, deoarece joacă un rol foarte mare în toată perioada de dezoxidare și la obținerea unor piese fără crăpături după turnare.

5. Dezoxidarea și alierea. După evacuarea zgurii oxidante din cuptor se trece la formarea unei noi zguri dezoxidante prin adaos de 35...40 kg var/t și 7...9 kg CaF₂/t. După topirea acestor materiale se începe dezoxidarea zgurii prin adăugarea unei porții de amestec dezoxidant complex alcătuit din: var, CaF₂, cocs de petrol, FeSi 75%, șpan de aluminiu (99%), în proporțiile 6:1:1:1:1.

După obținerea zgurii albe, dezoxidante, cu bazicitate ridicată, având raportul

$$\frac{(CaO)}{(SiO_2)} = 2,5...2,6$$

Se amestecă bine baia metalică, în două reprize, la interval de circa 5 minute, după care se iau probe de metal și zgură pentru analize chimice.

După obținerea analizei la proba de metal se efectuează o primă imersie de aluminiu în baie, în proporție de 0,5 kg/t pentru a se continua dezoxidarea și se amestecă baia în două reprize.

La dezoxidare trebuie menținut un conținut de 0,2...0,3% [Si], ceea ce asigură o diminuare avansată a conținutului de [O₂].

După o bună dezoxidare a băii metalice se începe alierea cu FeMn, calcinat în prealabil la 800...900⁰C în cuptorul de feroaliaje. Adaosul de FeMn se face în mai multe porții a câte 80...100 kg. După fiecare porție de FeMn se introduce în

cuptor și câte o porție de amestec dezoxidant complex. Se lasă apoi baia în repaus 3...5 minute, după care se amestecă bine, controlându-se dacă FeMn adăugat în baie s-a topit. Alternarea porțiilor de FeMn cu adaosul de amestec dezoxidant se face până la introducerea întregii cantități de FeMn în baia metalică. Procedând în modul arătat mai sus, zgura se menține în permanență albă, având un bun caracter reducător.

După introducerea ultimei porții de FeMn, baia se amestecă bine, se face corecția zgurii și se iau probele de oțel și zgură pentru analize chimice, precum și proba de oțel pentru forjare.

Probele de îndoire se călesc în apă de la 1050°C, apoi se supun îndoirii. Proba îndoită nu trebuie să prezinte fisuri, iar proba crestată, în ruptură, trebuie să aibă o structură fibroasă și argintie. Dacă oțelul nu este bine dezoxidat, ruptura se prezintă grăunțoasă și colorată din cauza incluziunilor de FeO și MnO.

Temperatura băii se controlează cu termocuplu de imersie. În tot timpul elaborării temperatura băii metalice nu trebuie să depășească temperatura de evacuare, de 1480° C (corectată). Când temperatura oțelului este cea indicată se face o ultimă imersie de aluminiu pentru dezoxidare în proporție de 0,5 kg Al/t. Când toate probele corespund se face evacuarea oțelului din cuptor.

La turnarea oțelurilor manganoase trebuie respectată temperatura de evacuare a oțelului care trebuie să fie de 1480 - 1490°C, iar temperatura la turnare de 1360 - 1380°C. Este foarte importantă respectarea temperaturii de turnare, deoarece oțelurile manganoase au un coeficient de contracție ridicat, ceea ce are o influență nefavorabilă la turnare, prin apariția crăpăturilor la cald.

Pentru a se evita și mai mult apariția fisurilor la cald, este bine ca dezbaterea pieselor turnate din forme să se efectueze la temperatura de 1150 - 1200°C, după care acestea să fie introduse imediat în cuptorul de tratament termic sau să fie răcite lent. În continuare se prezintă sintetic diferențele dintre cele două metode de elaborare, tabelul 2.3. fiind dedicat comparației duratelor medii ale șarjelor elaborate.

Tabelul 2.3. Duratele medii ale șarjelor elaborate

Nr.crt.	Denumirea operației	Durata [min]	
		Varianta I	Varianta II
1.	Reparație vatră și pereți	15	15
2.	Încărcare	50	50
3.	Topire	90	90
4.	Afinare	70	50
5.	Dezoxidare	100	90
6.	TOTAL	325	295

Observație. S-au elaborat câte 20 șarje în varianta I și varianta II, de masă de 3450 kg.

Tabelul 2.4. oferă o comparație între compozițiile chimice medii a băii metalice în cele două tehnologii de elaborare.

Tabelul 2.4. Compoziția chimică medie a băii metalice

Prelevarea probei	Tehnologia	Conținutul în elemente [%]					
		C	Mn	Si	Cr	S	P
La începutul fierberii cu minereu	I	0,65	0,27	-	-	-	0,063
	II	0,52	0,21	-	-	-	0,059
La sfârșitul perioadei cu minereu	I	0,10	0,12	-	-	-	0,032
	II	0,27	0,16	-	-	-	0,036
La punctul de oprire	I	0,07	0,10	-	-	-	0,030
	II	0,20	0,42	-	-	-	0,034
La începutul alierii cu FeMn	I	0,15	0,17	-	-	-	0,033
	II	0,25	0,49	-	-	-	0,036
Proba finală	I	1,26	12,8	0,90	-	0,024	0,095
	II	1,30	13,6	0,52	-	0,022	0,075

Observații: I – actuala tehnologie; II – noua tehnologie

Tabelul 2.5. prezintă o comparație între compozițiilor chimice medii a zgurelor în cele două variante de elaborare.

Tabelul 2.5. Compoziția medie a zgurii

Prelevarea probei	Tehnologia	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	CaO / SiO ₂
La sfârșitul perioadei de topire	I	47	23	8,7	8,2	2,01
	II	45	21	9,1	8,4	2,21
La sfârșitul perioadei de fierbere cu minereu	I	48	20,5	10,6	8,9	2,4
	II	47	19	10,2	8,7	2,5
La punctul de oprire	I	48	18,9	10,9	7,1	2,5
	II	51	18	10,4	6,8	2,75
La formarea zgurii albe (dezoxidante)	I	49	20,1	1,79	1,3	2,4
	II	56	21,9	2,2	1,5	2,55
Din oala de turnare	I	59	23	9,6	1,52	2,53
	II	62	18,6	1,3	2,9	3,3

Observații: Varianta I – tehnologia actuală, Varianta II - noua tehnologie

Caracteristicile mecanice. Variația medie a caracteristicilor mecanice este pe șarje elaborate după cele două tehnologii este redată în tabelul 2.6.

În tabelul 2.6. se redau comparativ principalele proprietăți mecanice ale oțelului manganos elaborat după actuala și noua tehnologie.

Tabelul 2.6. Caracteristicile mecanice medii ale oțelului manganos elaborat în cele două tehnologii.

Caracteristica mecanică	Simbol	UM	STAS 3718-88	I	II
Limita de curgere	R _{p0,2}	N/mm ²	245-390	280-300	320-360
Rezistența la rupere	R _m	N/mm ²	790-980	820-950	850-900
Duritatea Brinell	HB	HB	180-220	185-190	187-210
Reziliența	KV	J/cm ²	20-30	18-25	27-28

Analizând datele din tabelul 2.6. rezultă că probele prelevate din șarjele elaborate după noua tehnologie au caracteristici mecanice superioare.

Creșterea sensibilă a valorilor pentru $R_{p0,2}$, HB și KV se explică prin îmbunătățirea structurii oțelului manganos, datorită dezoxidării mai bune și a structurii aferente după turnare, structură care prezintă carburi fine distribuite la limita grăunților de austenită.



Fig. 2.4. Structura oțelului austenitic manganos după turnare, elaborat în varianta II. mărime 200:1

2.4. Eficiența economică a îmbunătățirilor propuse și aplicate

Măsurile pentru îmbunătățirea calității oțelurilor manganoase austenitice, descrise în prezenta lucrare, au fost experimentate pe un număr 20 de șarje. Pe baza rezultatelor obținute, noua tehnologie este în prezent aplicată în mod curent.

Eficacitatea economică a măsurilor aplicate rezultă din următoarele date:

2.4.1. Reducerea sensibilă a procentului de rebuturi. Așa cum s-a arătat în prima parte a lucrării prin aplicarea noii tehnologii procentul de rebuturi s-a redus.

La economiile realizate trebuie adăugate și costurile reprezentând consumurile de feroaliaje, materiale de adaos, energie electrică, electrozi, manoperă, regie etc. necesare pentru valorificarea metalului rebutat.

2.4.2. Îmbunătățirea calității oțelului. Prin utilizarea amestecului dezoxidant complex așa cum s-a arătat, se îmbunătățesc structura și caracteristicile mecanice, ca o consecință a conducerii judicioase a procesului de elaborare.

2.4.3. Mărirea productivității cuptorului. Ca urmare a reducerii duratei de elaborare de la 5 h 25 min la 4 h 55 min, rezultă o creștere a productivității de 9%.

Ca urmare a reducerii duratei de elaborare, se realizează economii importante și la consumul de energie electrică, electrozi și manoperă.

2.5. Concluzii

Lucrarea de față este o sinteză a rezultatelor obținute în cadrul oțelăriei electrice, în vederea îmbunătățirii tehnologiei de elaborare a oțelurilor manganoase austenitice.

După vechea tehnologie de elaborare rezulta un procent ridicat de rebuturi la turnarea pieselor de oțel manganos (mai mare de 14%).

Cantitatea mare de piese rebutate se datora apariției crăpăturilor la cald după dezbaterea pieselor turnate la 700 - 800°C. În urma cercetărilor efectuate s-a tras concluzia că apariția crăpăturilor era rezultatul unei conduceri defectuoase a procesului de elaborare, care ducea la obținerea unui conținut ridicat de [FeO] și MnO în oțel. Adaosul de FeMn de aliere se făcea după vechea tehnologie în proporții mari (300 - 350kg) la sfârșitul perioadei de oxidare a băii metalice, fapt care determină o răcire puternică a băii și oxidarea manganului.

Pe baza unui mare număr de șarje experimentale (circa 20) s-a aplicat noua tehnologie de elaborare a oțelului manganos. Dintre măsurile luate care au contribuit la îmbunătățirea tehnologiei de elaborare menționăm următoarele:

1. Utilizarea unei încărcături curate, pe cât posibil lipsită de nisip, amestecuri de formare, tablă ruginită și de conținuturi ridicate de fosfor și sulf. În cazul elaborării prin metoda retopirii se recomandă să se folosească în încărcătură maselote și piese rebutate din oțel manganos, curățite însă foarte bine, prin sablare, de aderențele de amestec de formare sau încălzite în cuptoare pentru deșunderire;

2. Conținutul de [C] la topire trebuie să varieze între 0,3...0,5 %, atunci când are loc fibrea cu 0,6% C timp de 50 minute.

3. Asigurarea condițiilor favorabile pentru procesul de defosforare în decursul elaborării. În perioada de oxidare, defosforarea trebuie activată prin obținerea unor zguri cu putere mare de oxidare (conținut ridicat de FeO liber) , precum și prin îndepărtarea cât mai completă a zgurii de oxidare din cuptor apoi prin formarea unei zguri albe (bazice).

Defosforarea în perioada de fierbere trebuie realizată până la un conținut de 0,02...0,03% [P], ținându-se cont și de aportul de fosfor în baia metalică prin adaosul de FeMn de aliere.

4. Oxidarea carbonului trebuie condusă cu viteze de decarburare de 0,4...0,5% C/h, respectându-se cu strictețe perioada de fierbere. Se recomandă utilizarea oxigenului la fierbere pentru intensificarea procesului de decarburare.

5. Realizarea unei dezoxidări foarte avansate a băii metalice pentru reducerea la maxim a incluziunilor de FeO și MnO (care produc crăpături), după tragerea cât mai completă a zgurii oxidante din cuptor.

6. Pentru o predezoxidare foarte eficace a băii se recomandă conținuturi de 0,4...0,5% [Mn] și 0,2 - 0,3 % Si. S-a experimentat și aplicat pentru prima dată un amestec dezoxidant complex alcătuit din: var, fluorină, șpan de aluminiu, electrozi măcinați și FeSi (45 sau 75%) în proporția 6:1:1:1:1.

Acest amestec dezoxidant a dat rezultate foarte bune, conținutul de oxigen al oțelului fiind în limitele 0,003 ... 0,005 %.

6. Pentru dezoxidarea finală se introduce aluminiu în proporție de 0,5 kg/t, în două reprize și adaos de FeSi 75%.

7. Alierea cu mangan trebuie efectuată după o dezoxidare intensă a băii, în 4...5 porții a 80...120 kg FeMn. În timpul alierii, trebuie să se mențină un regim intensiv de regenerare a manganului, prin realizarea unui grad avansat de dezoxidare a băii metalice, unui mers fierbinte și de zguri cu bazicitate ridicată. După fiecare porție de FeMn se recomandă amestecarea băii și corectarea compoziției zgurii, pentru a menține caracterul ei dezoxidant.

8. Calcinarea FeMn înainte de introducerea în cuptor la temperatura de 800...900° C.

9. În tot timpul elaborării se impune efectuarea unui control riguros al temperaturii băii. Temperatura de evacuare trebuie să fie de 1480...1490°C, iar temperatura de turnare de 1360...1380°C.

10. Pentru reducerea la maximum a crăpăturilor la piesele turnate după dezbatere, se recomandă ca dezbaterea să se facă la temperatura de 1150...1200°C.

Prin aplicarea complexului de măsuri sus-amintit, procentul global de rebut a fost redus la 8%, concomitent cu îmbunătățirea sensibilă a caracteristicilor mecanice ale oțelului, mărirea productivității cu circa 9% și obținerea de importante economii la consumurile de energie electrică, electrozi și manoperă.

2.6. Elaborarea oțelului austenitic manganos în cuptorul electric prin inducție cu capacitate de 250 Kg

Pentru o detaliere a tehnologiilor de elaborare a oțelului austenitic manganos s-a trecut la elaborarea acestui tip de oțel și în cuptor electric prin inducție cu cătușeală acidă.

Cuptorul electric prin inducție este foarte potrivit pentru elaborarea mărcilor de oțel aliat, care conțin elemente cu temperatură de vaporizare joasă sau tendință pronunțată la segregare în baia metalică [14] întrucât scurtarea perioadelor de elaborare, creșterea temperaturii de elaborare și turnare, reducerea cantităților de gaze (se poate elabora și în vid), grad de aliere nelimitat, arderi reduse ale elementelor etc.

Având în vedere faptul că la elaborarea oțelului austenitic manganos sulfurul poate fi obținut sub 0,02% constituie un motiv în plus de a încerca elaborarea acestui oțel în cuptorul electric prin inducție cu cătușeală acidă, chiar dacă încărcătura are peste 0,02% S.

În vederea protejării cătușelii acide a cuptorului prin inducție am utilizat și recomandăm presărarea periodică pe suprafața băii metalice a SiO₂ de granulație fină. Concomitent cu aceasta SiO₂ adăugat formează cu oxizii ce se degajă din baia metalică (FeOMnO) formații complexe de tipul silicaților (ușor fuzibili) care purifică și protejează baia metalică împotriva atmosferei. Pentru aceleași motive se poate folosi periodic adaosuri de zgure provenite de la elaborarea aliajele de aluminiu.

Inocularea aluminiului și titanului este benefică pentru obținerea de structuri fine de oțeluri austenitice manganoase și a dezoxidării, întrucât capacitatea aluminiului este foarte mare.

În ordine descrescândă, după capacitatea de dezoxidare la 1530°C:

Zr > Al > Ti > B > Si > V > Mn > Cr

Prezența aluminiului pe suprafața băii metalice (microadaosuri) va conduce firesc la formarea silico – aluminaților de Fe și Mn care au puncte de fuziune mai scăzute decât silicații de mangan și în acest mod se obține o purificare superioară a băii metalice prin ieșirea acestor silico – aluminați la suprafața băii metalice de unde pot fi colectați și îndepărtați mai ușor [49], [50], [73].

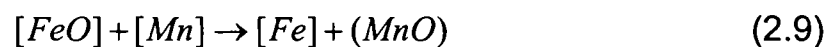
Posibilitatea folosirii adaosurilor enumerate sunt susținute și de [62], care arată că pentru o bună dezoxidare se pot folosi zgure sintetice cu mare capacitate de absorbție a oxigenului, incluziunilor și sulfurilor. Autorii tratatului arată că este bine a se utiliza zgure ca în tabelul 2.7.

Tabelul 2.7. Zgurele folosite la dezoxidarea oțelurilor.

Nr. crt.	Oțel	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mno	CaC ₂ /CaF ₂	Zgură
1	acid	47,0	5,0	17,0	6,0	15,0	8,0	-	acidă

Observație. Zgurele trebuie să aibă FeO <1%.

Autorii [62] precizează că prin folosirea zgurei nr. 1 (acide) se poate reduce conținutul de [O] 0 0,05...0,08% până la [O] 0 0,01...0,02%. Se poate observa că compoziția chimică a zgurei acide nr. 1 se apropie de zgurele ce se formează în cuptorul electric prin inducție folosit de noi cu excepția TiO₂ și MgO neintroduse special, în schimb (MnO) apare datorită reacției care are loc în cazul acestui oțel:



La alegerea materialelor refractare destinate căptușelii cuptoarelor electrice prin inducție [13] se ia în considerare, în primul rând refractaritatea căptușelii trebuie să asigure funcționarea cuptorului la temperaturi mai înalte decât temperatura de topire a aliajelor cu care se lucrează.

Materialele trebuie să fie caracterizate prin stabilitate termică la variații bruște de temperatură, bună rezistență împotriva pătrunderii metalelor, oxizilor și fluxurilor. Alte proprietăți, trebuie să fie inert din punct de vedere chimic în raport cu metalul topit, cu oxizii acestuia precum și față de zgură, să aibă conductibilitate termică și electrică cât mai scăzute, o bună capacitate de sinterizare, preț de cost scăzut.

La sfârșit cuptorul electric prin inducție poate fi utilizat și pentru faptul că oțelul austenitic manganos nu are nevoie decât de temperatura de 1360⁰C la elaborare, iar temperatura zgurelor formate rămâne oricum sub valoarea temperaturii oțelului elaborat. Aceste aspecte sunt favorabile frânării reacțiilor dintre căptușeala acidă a cuptorului și produșii zgurelor ce se formează, folosind adaosurile susmenționate.

Căptușeala acidă a unui cuptor electric prin inducție, realizată din cuarțită are în general următoarea compoziție chimică: 98% SiO₂ maxim; 0,6 % Fe₂O₃; 1 % Al₂O₃;

Căptușeala acidă este de preferat celei bazice deoarece conduce mai bine căldura, se găsește pe piața românească și este mult mai ieftină.

Reacțiile chimice cu căptușeala pot fi de reducere între silicea căptușelii și elementele conținute de oțelul lichid, (ai căror oxizi au tensiunea de disociere mai scăzută decât a SiO₂ din căptușeala temperatura oțelului lichid), sau de neutralizare, între silicea acidă a căptușelii și suspensiile bazice de zgură existente în oțelul lichid care posedă o tensiune de disociere apropiată de cea a SiO₂.

Aceste reacții au loc la temperaturi care depășesc de obicei 1470⁰C și sunt legate de carbon, mangan și fier iar elaborarea oțelurilor în cauză au nevoie numai de 1360⁰C datorită fluidității ridicate.

Oțelul ales pentru a fi elaborat în cuptorul electric prin inducție este un oțel austenitic manganos marca T120CrMn130 față de marca elaborată în cuptorul electric cu arc cu căptușeală bazică și anume T130Mn135. S-a luat în considerare prezența în compoziția chimică a oțelului a unor elemente carburigene care să ajute formării unor carburi complexe creează condiții favorabile obținerii de piese turnate sănătoase datorită gradului de finețe mai ridicat al structurii după turnare.

Prin alierea oțelului austenitic manganos cu un procent de 1,5-2,5% Cr se reduce sensibil cantitatea de piese rebutate, prin formarea în structura oțelului a carburilor complexe, rezistente la crăpături la cald [9], [62].

Această marcă de oțel numită oțel manganos tip Hadfield cu crom după [70], [73], [74] prezintă avantajul unei limite de elasticitate mai ridicată, această caracteristică lipsind oțelurilor austenitice clasice; pe lângă caracteristicile de elasticitate, adaosurile de crom măresc rezistența la abraziune.

2.7. Determinarea temperaturilor de elaborare – turnare a oțelului austenitic manganos.

Având în vedere că oțelul austenitic manganos are o fluiditate bună și faptul că se toarnă bile de diametru de 100 mm, adică piese cu pereți groși putem folosi o temperatură de turnare apropiată de linia lichidus pentru oțelul cu raportul

$\frac{Mn}{C} \cong 10$, în care C este peste 1%, adică o temperatură inferioară, care, să nu

favorizeze reacția la răcire după turnare $\gamma \rightarrow \alpha + carburi$ și să nu apară reacții chimice între căptușeala cuptorului și baia metalică.

Compoziția chimică a oțelului ales pentru elaborarea în cuptorul electric prin inducție este următoarea.

Tabelul 2.8. Compoziția chimică a oțelului austenitic manganos aliat cu crom

Marca	Compoziția chimică [%]							
	C	Mn	Si max.	P max.	S max.	Ni max	Cr	Mo
T 120CrMn130 STAS 3718-88	1,05 -1,35	11,50 -14,00	1,00	0,11	0,05	0,80	1,50-2,50	-

De aceea este necesar a se calcula temperatura lichidus pentru oțelul în discuție.

Pentru calculul temperaturii lichidus a compoziției chimice propusă se utilizează următoarea relație [18], [70]:

$$T_l(^{\circ}F) = T_{lFe} - \Sigma \Delta T_{el} \quad (2.10)$$

unde:

$$\Sigma \Delta T_{el} = \Sigma K_{el} a_{el} \quad (2.11)$$

a_{el} = procentaj mediu al elementului chimic;

K_{el} = coeficient de influență a elementului asupra temperaturii lichidus.

$$T_l(^{\circ}C) = \frac{5[T_l(^{\circ}F) - 32]}{9} \quad (2.12)$$

$$T_{lFe} = 2795^{\circ}F$$

Tabelul 2.9. Valoarea coeficientului K_{el}

Element chimic	C	Si	Mn	Cr	Al
K_{el}	141	22	7,2	4,2	9

$$T_l^{\circ}F = 2795 - [(1,50)141 + (0,70)22 + (14,00) + (0,03)9 + (1,6)4,2] \text{ } [^{\circ}F]$$

$$T_l^{\circ}F = 2460,1^{\circ}F \quad (2.13)$$

$$T_l^{\circ}C = \frac{5(2460,1 - 32)}{9}$$

$$T_l^{\circ}C = 1348,94^{\circ}C$$

Teoretic rezultă o valoare a temperaturii lichidus a oțelului austenitic manganos de 1349⁰C. Adăugând o supraîncălzire de circa 80⁰C, temperatura de elaborare poate fi considerată de 1430⁰C cu 10⁰C sub valoarea temperaturii de începere a reacțiilor între componentele băii metalice și căptușeala cuptorului..

2.8. Tehnologia elaborării în cuptorul electric prin inducție de 250 kg

Elaborarea acestei mărci de oțel s-a realizat într-un cuptor electric prin inducție cu căptușeală acidă cu o capacitate de 250 Kg. Toată cantitatea de FeMn necesară a fost introdusă la început în încărcătura.

Pe perioada elaborării care avut o durată totală de 65 minute, topirea s-a realizat în 37 minute. În intervalul rămas până la deșarjare, 28 minute, s-au făcut 2 măsurători cu termocuplu prin imersie, valorile măsurate fiind de 1395⁰C, respectiv 1432⁰C. Ultima măsurătoare a temperaturii s-a făcut înaintea deșarjării după corecția compoziției chimice și a avut valoarea de 1450⁰C. Timpul de contact relativ scurt cu căptușeala cuptorului, 4-5 minute, nu pune probleme în ceea ce privește începerea unor reacții chimice între metalul lichid și căptușeala cuptorului electric. Temperatura oțelului în oala de turnare măsurată cu termocuplu prin imersie a fost de 1400⁰C.

Pentru a evidenția avantajele alierii oțelului austenitic manganos cu crom în tabelul 2.9 se prezintă rezultatele încercărilor mecanice în stare tratată termic. În oțelul austenitic manganos cromul are rolul de stabilizator al carburilor prin formarea unor carburi complexe. Prin alierea cu crom în limitele indicate de STAS

3718 – 88, s-a constatat și o creștere a durității și rezilienței oțelului austenitic manganos (tabelul 2.9).

Tabelul 2.9. Variația medie a caracteristicilor mecanice.

Caracteristici mecanice și chimice	Simbol	UM	STAS 3718-88	Probe pregătite după noile tehnologii	
				Cuptor electric, bazic cu arc	Cuptor electric prin inducție
Limita de curgere	R _{p0,2}	[N/mm ²]	245-390	320-360	410-480
Rezistența de rupere	R _m	[N/mm ²]	790-980	850-950	840-860
Duritatea Brinell	HB	HB	180-220	185-190	215-235
Reziliența	KCU	[J/cm ²]	20-30	22-24	29-33

2.9. Concluzii la elaborarea oțelului aliat Mn – Cr, în cuptorul electric cu căptușeală acidă, prin inducție

1. Elaborarea oțelului austenitic manganos T120CrMn130, s-a realizat într-un cuptor electric prin inducție cu căptușeală acidă .

S-a ales acest procedeu de elaborare, deoarece s-a considerat că temperatura băii metalice, în timpul elaborării nu necesită depășirea temperaturii de 1440⁰C, temperatură de la care componentele băii metalice încep să intre în reacție chimică cu căptușeala cuptorului acid. Cuptorul electric bazic cu arc poate fi înlocuit cu cuptorul electric prin inducție în cazul în care se asigură o încărcătură cu compoziția chimică cât mai apropiată de cea a oțelului elaborat și turnătoriu nu dispune de capacități mari de producție.

2. Deoarece temperatura lichidus a soluției de 1450 ⁰C este sub valoarea temperaturii de echilibru are loc reacția:



și se cunoaște că temperatura de topire a MnS este de 1610 ⁰C și nu influențează negativ proprietățile de fragilitate la cald ale oțelului;

3. Atât timp cât temperatura băii metalice nu depășește temperatura de echilibru (1450⁰C), reacția de legare chimică a S de către Mn este eficientă.

4. Acest procedeu permite elaborarea oțelurilor austenitice manganoase la temperaturi joase și turnarea acestuia în forma de turnare la temperaturi sub 1400⁰C pentru că are o fluiditate ridicată [33], [73];

5. Turnarea oțelului austenitic manganos la aceste temperaturi chiar este indicată deoarece aceste oțeluri au un coeficient de contracție mare, ceea ce are o influență nefavorabilă prin apariția crăpăturilor la cald datorită separărilor de carburi după turnare, ce crește cu temperatura;

6. Turnarea bilelor cu diametru de 100 mm, la această temperatură este posibilă deoarece turnată nu prezintă grosimi de pereți mici care să necesite supraîncălzirea oțelului, la turnare;

7. Forma geometrică a bilei de turnate dă posibilitatea unui coeficient de umplere mare;

8. Temperatura de turnare mult mai redusă în cazul de față favorizează reducerea și plasarea retasurii de contracție în centrul geometric al sferei ceea ce prelungește durata de folosință în morile de măcinat substanțe dure;

9. Cu toate că acest cuptor are capacitatea mică și anume [250 kg] dă posibilitatea obținerii unei productivități ridicate întrucât se folosesc numai materiale preîncălzite la temperaturi mai mari de 900°C;

10. Ținând cont de faptul că se recomandă dezbaterea formelor la temperaturi ale 900 – 1000°C, rețele de turnare pot fi utilizate la o temperatură de aproximativ 500 – 600°C, ceea ce aduce importante economii de energie electrică și ajută procesul de elaborare;

11. Adaosul de SiO₂ și de aluminiu dezvoltă reacții de dezoxidare prin difuzie cu efecte benefice asupra purității și proprietăților oțelurilor austenitice manganoase fără a distruge căptușeala cuptorului.

Cap. 3. STUDII TEORETICE ASUPRA TURNĂRII BILELOR DIN OȚEL AUSTENITIC MANGANOS MARCA T120CrMn130

În vederea eficientizării proceselor de turnare pe scară industrială se folosesc din ce în ce mai mult sisteme de achiziții de date și tehnici de simulare.

3.1. Introducere în simulare

Simularea este o disciplină a cărei scop este de a construi modelul unui sistem existent sau teoretic. Odată modelul de simulare creat, este posibilă execuția acestuia și analiza rezultatelor.

Simularea permite realizarea de încercări asupra unui proces virtual fără riscul de a distruge sau perturba procesele fizice. De fapt, dacă modelul de simulare este corect realizat, acesta trebuie să reprezinte fidel procesul fizic. Simularea permite anticiparea tuturor proceselor existente sau în curs de a fi create. Aceste procese pot fi de natură fizică, chimică, mecanică.

Înainte de a simula un proces prima dată trebuie creat modelul de simulare. Crearea unui model de simulare impune următoarele etape[5]:

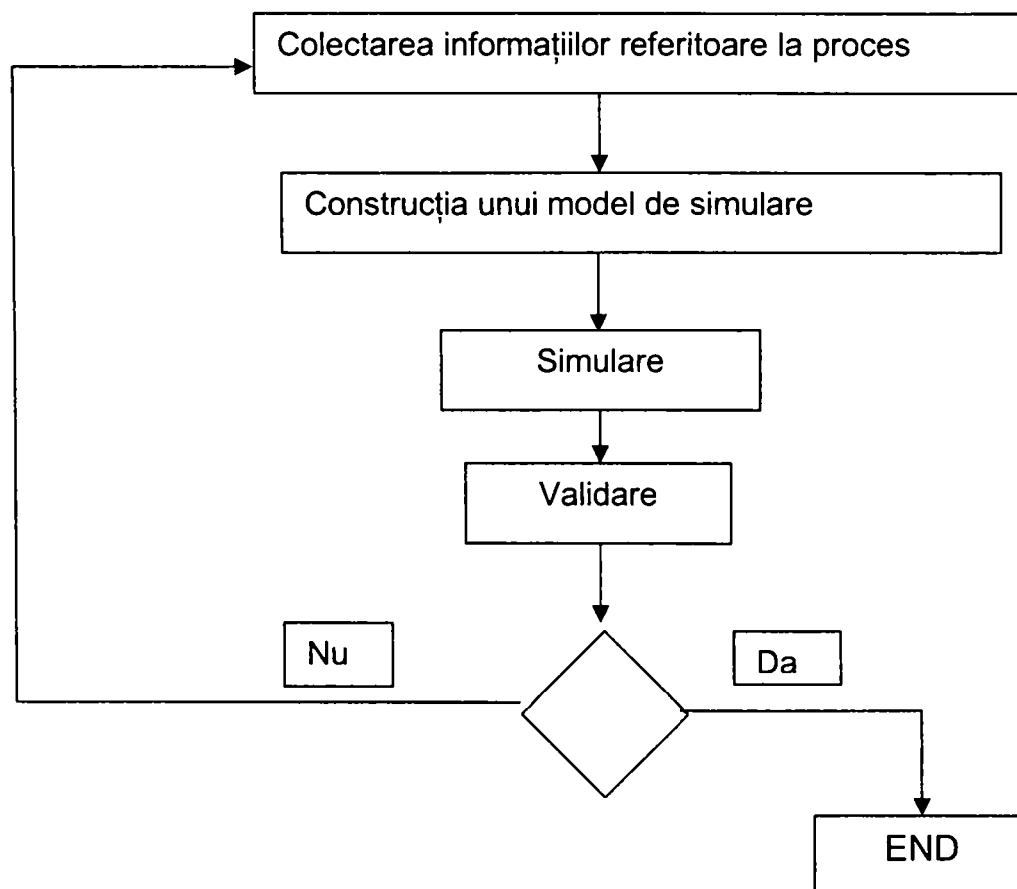


Figura 3.1. Etapele realizării unui model de simulare.

Colectarea de informații este faza cea mai lungă și mai dificilă. Experiența arată că datele industriale sunt adesea false. De fapt industria suferă de lipsa unei puneri la zi a datelor.

Este dificil de a găsi informațiile cele mai bune. În cazul în care anumite date lipsesc este posibil de a le determina statistic. Aceasta fază are o importanță deosebită deoarece, dacă, datele colectate sunt false, rezultatele obținute prin simulare vor fi în mod egal false.

Studiile teoretice efectuate asupra turnării bilelor din otel austenitic manganos s-au realizat utilizând MAGMASOFT, program de simulare aflat în proprietatea U.C.M. Reșița.

3.2. Introducere în MAGMASOFT

Turnarea s-a dezvoltat pornind de la o formă de artă și ajungând până la un proces de producție de înaltă tehnicitate. În ultimele decenii, eforturile extinse au dus la o și mai mare înțelegere a procesului. Astăzi este disponibilă o cantitate mare de cunoștințe ce acoperă influența parametrilor de turnare și solidificare asupra procesului de turnare. Acest lucru a dus la dezvoltarea programelor moderne de simulare care împreună cu cunoștințele practice ale turnătorilor face ca procesul să fie mai inteligibil și mai controlabil decât înainte.

MAGMASOFT [69] este un program de **simulare** ce îi asigură proiectantului și turnătorului un instrument cu ajutorul căruia poate să testeze rapid și eficient o gamă largă de opțiuni și să selecționeze combinația optimă pentru îmbunătățirea și optimizarea procesului de turnare. Încercările tradiționale de turnare, scumpe, mari consumatoare de timp și cauzează întârzieri în producție, sunt mult diminuate. Se evită piesele turnate rebut și este asigurată calitatea produsului finit de la începutul producției. MAGMASOFT permite în cadrul elaborării unui proiect de turnare crearea mai multor versiuni ce conțin diferite variante a sistemului de turnare, astfel încât îmbunătățirea sistemului de turnare se realizează doar prin modificarea geometriei și parametrilor procesului de turnare, analizarea rezultatelor, compararea lor și alegerea soluției optime. Acest principiu se bazează pe ideea că îmbunătățirea sistemului de turnare se poate realiza nu doar printr-un calcul singular ci prin câteva calcule. O versiune nouă a proiectului poate

fi creată prin conversia unei variante anterioare a proiectului păstrând datele comune celor două versiuni ale proiectului, evitând astfel dublarea lucrului și economisind timp și bani.

3.2.1. Ecuațiile de bază folosite la modelarea și simularea turnării.

1. Simularea umplerii și solidificării.

Pentru modelarea turnării MAGMASOFT folosește două grupe de ecuații: pentru transferul de căldură și pentru simularea umplerii formei.

Pentru simularea umplerii și solidificării se folosesc:

a. corelații fizice:

- ecuațiile pentru transfer de căldură;
- pentru simularea umplerii formei: ecuații din mecanica fluidelor.

b. metode de soluționare numerică;

c. ca date de intrare pentru simulare sunt necesare:

- datele termofizice ale materialelor
- coeficienți de transfer de căldură
- informații despre proces.

2. Modelarea proceselor de transfer de căldură.

Transferul de căldură se desfășoară întotdeauna în direcția naturală de transfer a energiei termice de la temperatura mai ridicată spre cea mai scăzută. Un transfer de căldură este cauzat de o diferență de temperatură.

Pe specificul proceselor modelate, produsul utilizează trei tipuri de transfer de căldură [69] :

a. **conducție termică** se referă la transferul de căldură în timpul turnării în metalul turnat și transferul de căldură în formă (în toate fazele simulării) ;

$$\frac{q}{A} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \text{sau} \quad \frac{q}{A} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.1)$$

unde :

q – cantitatea de căldură transferată;

A – aria secțiunii transversale;

λ – conductivitate termică;

ΔT – diferența de temperatură;

Δx - intervalul în care ΔT este activ.

b. **convecție (flux de căldură)** se referă la schimbul de căldură între metalul lichid și forma de turnare; depinde de tipul de curgere (liberă sau forțată) ;

$$\frac{q}{A} = h(T_2 - T_1) \quad (3.2)$$

unde :

q – fluxul de căldură;

A – suprafața ;

T - temperatura;

h - coeficient de transfer de căldură.

c. **radiație termică** se referă la energia termică transmisă de la un corp la altul prin emisie și absorbție de unde electromagnetice;

$$\frac{q}{A} = \epsilon \sigma (T_{\text{sup rafaja}}^4 - T_{\text{ambient}}^4) \quad (3.3)$$

unde:

q – flux de căldură;

σ – constanta lui Boltzmann;

ϵ – grad de emisie;

T – temperatura;

A – suprafața.

3. Modelarea umplerii formei

Fenomenele de curgere a fluidelor sunt modelate de ecuații care respectă principiile generale ale conservării masei, momentului și energiei. Ecuațiile folosite sunt pentru regim de curgere nestaționară a unui lichid incompresibil. Pentru simularea umplerii formei se folosesc ecuațiile Navier – Stokes (viteză), ecuațiile de continuitate pentru presiune și ecuațiile energiei pentru temperaturi.

a. Ecuațiile Navier – Stoks:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_1) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j U_1) = -\frac{\partial p}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial U_1}{\partial x_j} \right) + (\rho g_1 + X_1 + S_\mu) \quad (3.4)$$

unde:

- ρ – densitatea
- u – viteza de curgere
- p – presiune
- μ – coeficient de vâscozitate
- g - accelerația gravitațională
- X_1 și $S\mu$ - termeni de aproximare pentru curgerea metalului lichid

b. Ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0 \quad (3.5)$$

unde:

- ρ – densitatea
- u – viteza de curgere

c. Ecuațiile energiei:

$$(\rho c_p) \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j \rho c_p T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \mu \Phi_T + L \frac{\partial f_s}{\partial t} + S_T \quad (3.6)$$

unde:

- ρ – densitatea
- Φ_T - funcția de disipare ;
- L - căldura latentă ;
- f_s – fracție solidă
- T - temperatura

4. Metode de soluționare numerică (rezolvarea aproximativă a ecuațiilor).

Ecuațiile diferențiale folosite fac parte din categoria ecuațiilor care nu au o soluție exactă, determinabilă prin calcul. Ele se rezolvă aproximativ, cu un grad de precizie corespunzător naturii fenomenelor studiate. Soluțiile obținute sunt particulare, fiind foarte specifice fenomenelor studiate concret; ele se bazează pe o soluție calculată în condiții teoretice simplificatoare, careia, prin măsurători concrete ale procesului, și se aduc corecții particulare (specifice).

Metodele de aproximare numerică sunt de mai multe tipuri, și se aleg în funcție de mai mulți parametri (tipul ecuației, precizia dorită, disponibilul de timp pentru obținerea soluției, etc).

Lucrând cu ecuații diferențiale care nu au soluție analitică și făcând modele 3D, Magmasoft folosește metode de element finit. Acestea se bazează pe discretizarea timpului și a elementelor de volum (volum mari de forme sofisticate sunt approximate prin sume de elemente de dimensiuni mici, de o formă standard, mai ușor de modelat).

3.3. Utilizarea programului MAGMASOFT la simularea turnării bilelor din oțel austenitic manganos

Utilizarea programului MAGMASOFT impune următoarele etape principale obligatorii :

- preprocesarea datelor inițiale de start ale simulării ;
- calculul simulării cu alegerea solver-ului (simulatorului) adecvat,
- postprocesare cu prezentarea rezultatelor simulării.

3.3.1. Preprocesarea datelor inițiale de start ale simulării.

3.3.1.1. Preprocesarea geometriei piesei.

Prima etapă a simulării constă în modelarea geometriei piesei și a rețelei de turnare. Pentru aceasta se selectează opțiunea **“PREPROCESOR”** din meniul de lucru. Metodele computerizate de simulare a procesului de umplere și solidificare necesită ca sistemul de turnare să fie compus din volume valabile în 3D. Realizarea „sistemului de turnare” (volumul piesei, al rețelei de turnare, jetului și alimentatorului) se efectuează după principiul suprapunerii volumelor. MAGMASOFT permite realizarea geometriei piesei pe mai multe căi:

- se importă geometria cu extensia de tip STL (prototipaj rapid), realizată cu ajutorul altor programe de desenare ca fișiere de date CAD;
- se construiesc geometrii folosind modelarea de geometrie MAGMASOFT integrat;

În PREPROCESOR sunt afișate trei vederi de construcție bidimensionale și o vedere tridimensională. Un avantaj MAGMASOFT este că geometriile standard pot fi stocate într-o bază de date și importate la nevoie.

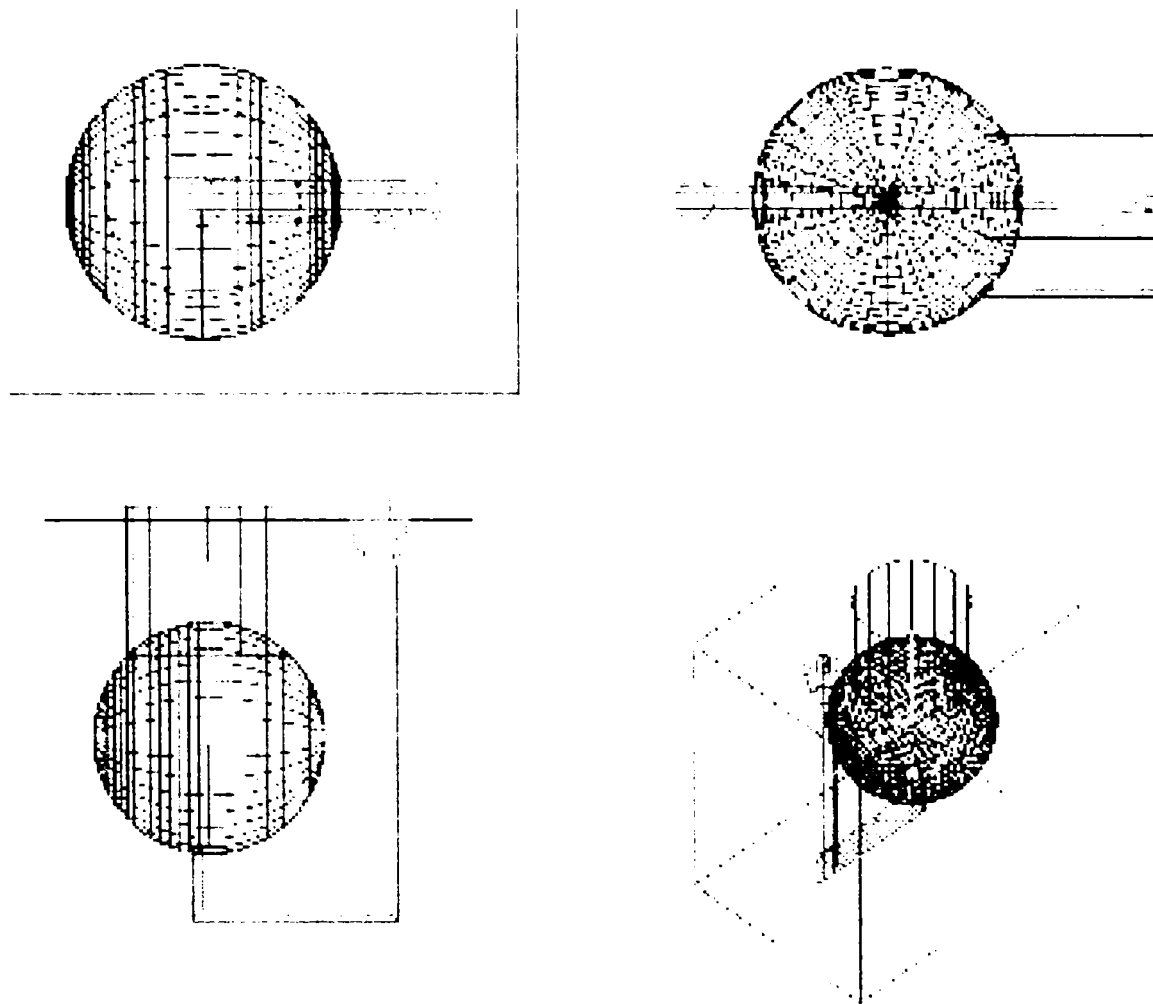


Fig. 3.2. Geometria piesei desenată în CAD și importată în MAGMASOFT

Parametrii importanți pentru afișarea rezultatelor din POSTPROCESOR trebuie să fie definiți în PREPROCESOR.

3.3.1.2. Definirea componentelor sistemului de turnare.

În continuare se definesc componentele sistemului de turnare după clase de materiale și anume[2]:

- Cast Alloy – aliajul care se toarnă;
- Sand Mold - formă din nisip;
- Feeder – maselotă;

- Gating – rețea de turnare;
- Inlet – jetul de metal lichid până la intrarea în rețea

Această denumire permite componentelor să fie identificate în procesul de turnare, nu se denumește materialul ci doar funcția fiecărei componente în procesul de turnare. Definirea componentelor se face ținând cont de geometria piesei supusă simulării și anume sfera cu diametrul de 100 mm, (vezi figura 3.2) turnată din aliajul ce va fi definit ca și clasă de materiale și anume oțelul marca T120CrMn130, într-o formă de nisip definită tot ca și clasă de materiale.

3.3.1.3. Definirea punctelor de control al procesului de umplere și solidificare.

Tot în PREPROCESOR se definesc puncte de control plasate în locuri diferite în piesă, puncte de control necesare urmării procesului de umplere și solidificare.

3.3.1.3.1. Definirea punctelor de control al umplerii formei (funcția fill tracer).

Această funcție permite să se observe mișcarea particulelor simulate, fără masă, în interiorul topiturii. Punctele de plecare, (TRC) (sursa), se definesc în preprocesor înainte de simulare, la intrarea în rețeaua de turnare. Particulele nu au masă și se deplasează după cum curge metalul lichid. Poziția particulelor este salvată de fiecare dată la fiecare etapă în timpul umplerii formei. Pentru a arăta mișcarea particulelor se definește traseul de umplere (fill tracer), în următoarea ordine: alimentator, rețeaua de turnare, forma. Poziția punctelor de plecare sunt fixate în rețeaua de turnare conform figurii 3.3.

3.3.1.3.2. Poziția punctelor de control și măsurare a temperaturii în timpul umplerii și solidificării piesei.

Sunt puncte (TC) plasate în interiorul formei de turnare, pentru controlul temperaturii în timpul simulării (termocuple simulate), în timpul umplerii și solidificării piesei, care au ca rol determinarea variației temperaturii metalului în timpul umplerii și solidificării piesei, informații necesare pentru trasarea curbelor de răcire. Au fost alese 6 puncte numerotate de la C1 până la C6.

Poziția punctelor pentru controlul temperaturii este prezentată în figura 3.4.

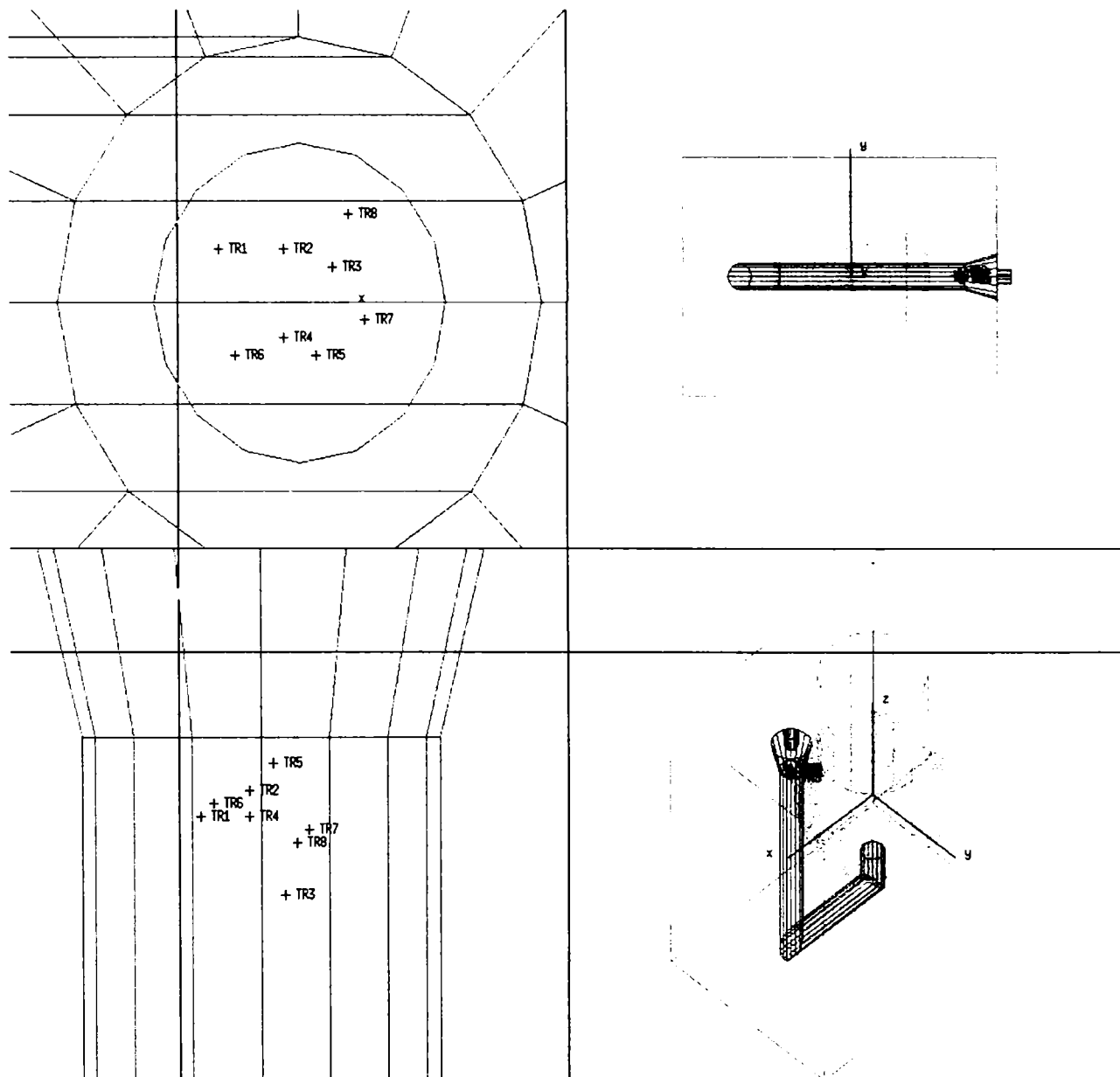


Fig. 3.3. Poziția particulelor indicatoare (TRC) în partea superioară a rețelei de turnare (au fost alese 8 puncte indicatoare numerotate TRC1 până la TRC8)

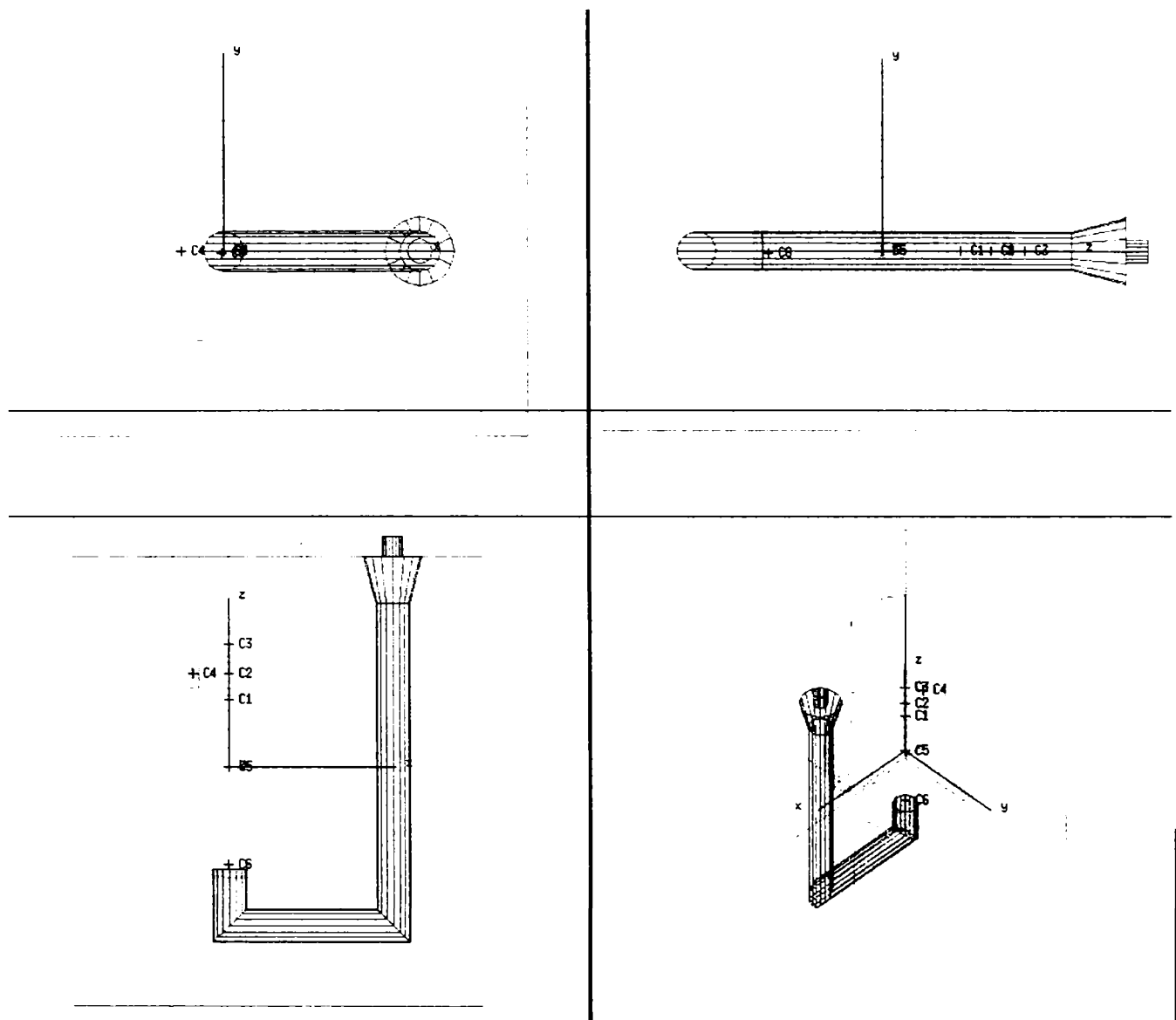


Fig. 3.4. Poziția termocuplelor (TC) în forma de turnare pentru determinarea temperaturii în timpul umplerii și solidificării piesei

3.3.1.4. Generarea rețelei discretizate a geometriei forme de turnare.

Pentru generarea rețelei discretizate a geometriei forme de turnare s-a utilizat metoda elementelor finite, metodă care impune divizarea modelului într-o multitudine de mici subcomponente cu forme geometrice simple, denumite elemente finite, conectate în puncte comune denumite noduri, astfel încât întregul

model este privit din punct de vedere al analizei ca o rețea de elemente interconectate. (figura 3.5).

Din punct de vedere al analizei, metoda elementelor finite contabilizează numeric comportarea diferită a fiecărui element funcție de condițiile impuse, comportarea globală a modelului fiind calculată din totalitatea informațiilor calculate pentru toate elementele finite ale modelului. Termenul consacrat pentru discretizare este "mesh". Calitatea discretizării este deosebit de importantă, influențând rezultatele finale ale analizei.

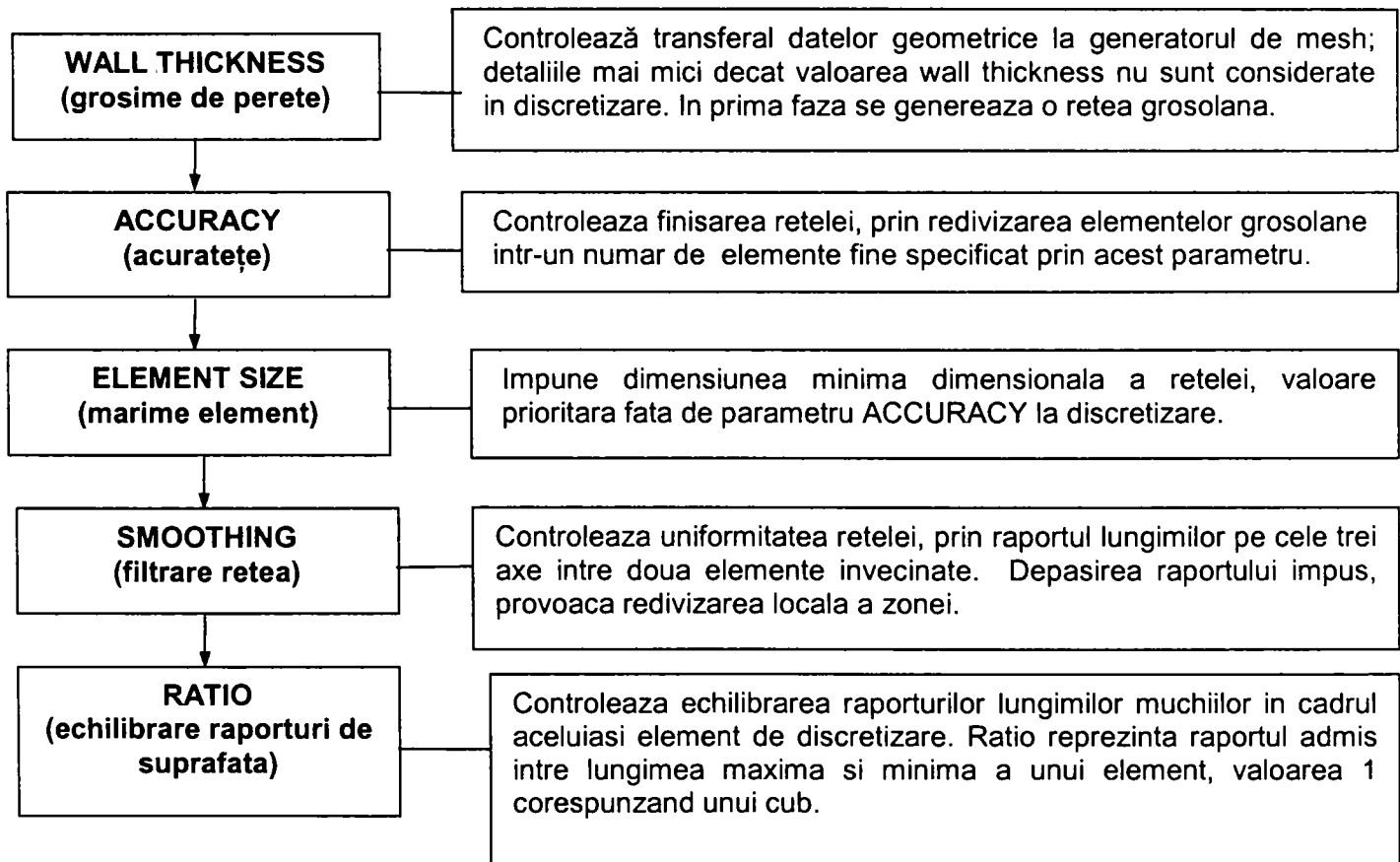


Fig. 3.5. Etapele generării rețelei discretizate a geometriei formei de turnare

Există mai multe metode de generare a mesh-ului și anume:

- automatic (se stabilesc numărul aproximativ, de elemente dorite);
- standard (se stabilesc parametri pentru a obține un mesh optimizat ca număr de elemente și calitatea lui);
- advanced (se stabilesc aceiași parametri dar pe grupe de material).

Generarea rețelei discretizate a geometriei de turnare în MAGMASOFT se realizează plecând de la cea mai mică grosime de perete a componentelor

sistemului de turnare definit anterior, acesta fiind jetul (inlet în terminologia MAGMASOFT).

Numărul mai mare de elemente de discretizare măresc acuratețea simulării (rețeaua este mai fină, cu o rezoluție mai bună a geometriei de turnare), calculul este mai precis putând fi prelucrate bine detaliile mai fine, dar măresc și durata de calculare a simulării. Rețeaua de discretizare este în special generată automat utilizând opțiunea "standard" și folosind parametri predefiniți:

Grosimea minimă a piesei în cazul de față se considera **inlet-ul** respectiv dimensiunile jetul de lichid de la ieșirea din oala de turnare până la intrarea în rețea. În cazul nostru jetul (inlet-ul) (figura 3.6), are diametrul 10 mm. Pentru a obține o mesh-are corespunzătoare în întreaga tehnologie (vezi inlet) s-a ales o grosime de perete mai mică decât diametrul inlet-ului (jetului), ($d_{jet} = 10 \text{ mm}$) și anume 7 mm pe fiecare direcție în așa fel încât inlet-ul să aibă valori egale pe cele trei axe.

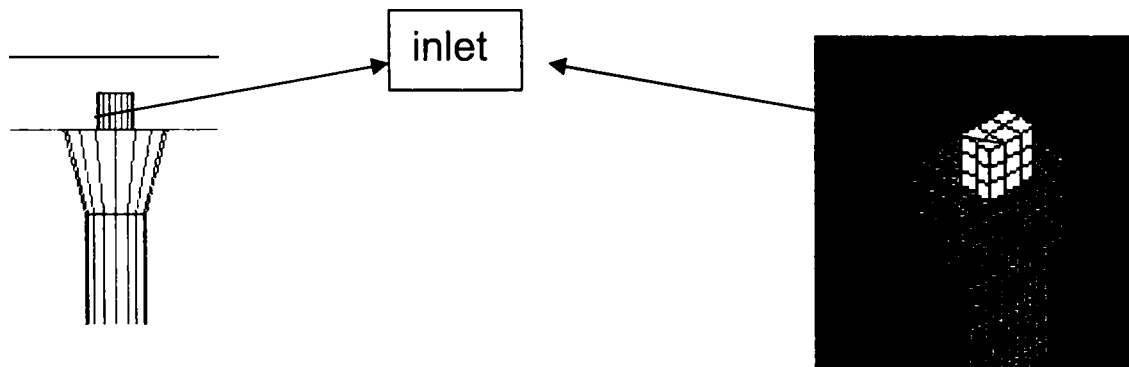


Fig. 3.6. Mesh-area (discretizarea) componentei sistemului de turnare, inlet - jet.

3.4. Calculul simulării

Pe lângă geometria turnării, pentru a realiza simularea, MAGMASOFT necesită informații mai multe despre proces și trebuie stabilite parametri procesului de turnare.

3.4.1. Observații generale

Se poate simula tot procesul sau una dintre fazele alese ale procesului de turnare. Simularea poate fi limitată la etapa de umplere, la cea de răcire și solidificare sau doar la faza de alimentare.

3.5. Definirea parametrilor simulării

Definirea parametrilor simulării se bazează pe experiența practică a turnătorilor și este specifică fiecărei mărci de oțel și formei turnate.

3.5.1. Materiale. Definirea materialelor

În timpul modelării geometriei s-au definit componentele sistemului de turnare: aliaj, formă, rețea de turnare, alimentator, jet. . Această denumire stabilește funcția de bază a componentei în sistemul de turnare și nu caracteristicile fizice ale acesteia.

Acum trebuie să se atribuie fiecărei componente o clasă și un grup de materiale selectate dintr-o bază de date existentă sau materiale nou create.

Numărul materialelor care trebuie atribuite corespunde numărului de grupuri de material. care a fost definit in preprocessor. Clasa de materiale semnifică aliajul lichid, forma, jetul, rețeaua, alimentatorul. Grupul de materiale apare de exemplu dacă se utilizează două tipuri de răcitoare sau mai multe miezuri.

3.5.2. Selectarea materialelor din baza de date

În baza de date sunt prezentate toate materialele incluse și care se pot selecta după necesități.

Componentele sistemului de turnare definite după clasa de materiale este în cazul nostru este următorul:

- cast alloy - aliaj turnat și anume oțelul marca T120CrMn130;
- forma de turnare, (sand mold) care este realizată din nisip cu 98% SiO₂,

Materialul definit este oțel cu conținut ridicat de mangan, cu următoarea compoziție chimică: C – 1,30%, Mn – 13,13%, P – 0,048%. S – 0,0020%, Cr – 1,60%.

3.5.3. Definirea transferului de căldură

În scopul de a calcula procesele de transfer termic, va trebui să se cunoască transferul termic între clasele și grupurile de material, separat. Acest coeficient de transfer termic este măsura în care la un moment căldura este transferată dintr-un domeniu în altul. Transferul de căldură se alege tot din baza de date și stabilește tipul de transfer de căldură ce există între grupurile particulare de material.

În cazul formei de nisip, conductivitatea termică este foarte mică. În timpul solidificării HTC (coeficientul de transfer termic) se micșorează datorită spațiului de aer care se formează între piesă și peretele formei. Baza de date MAGMA utilizează un coeficient de transfer termic între piesă și forma de nisip a cărui valoare este între 400 și 1000 W/m²K. În cazul de față valoarea coeficientului de transfer termic s-a stabilit la o valoare de 500 W/m²K, valoare recomandată de baza de date din magmasoft.

3.5.4. Introducerea parametrilor umplerii

Pentru simularea umplerii este necesar introducerea parametrilor de umplere a formei de turnare. Procesul de umplere poate influența puternic procesul următor de solidificare. Ordinea de introducere a parametrilor umplerii este următoarea (figura 3.7):

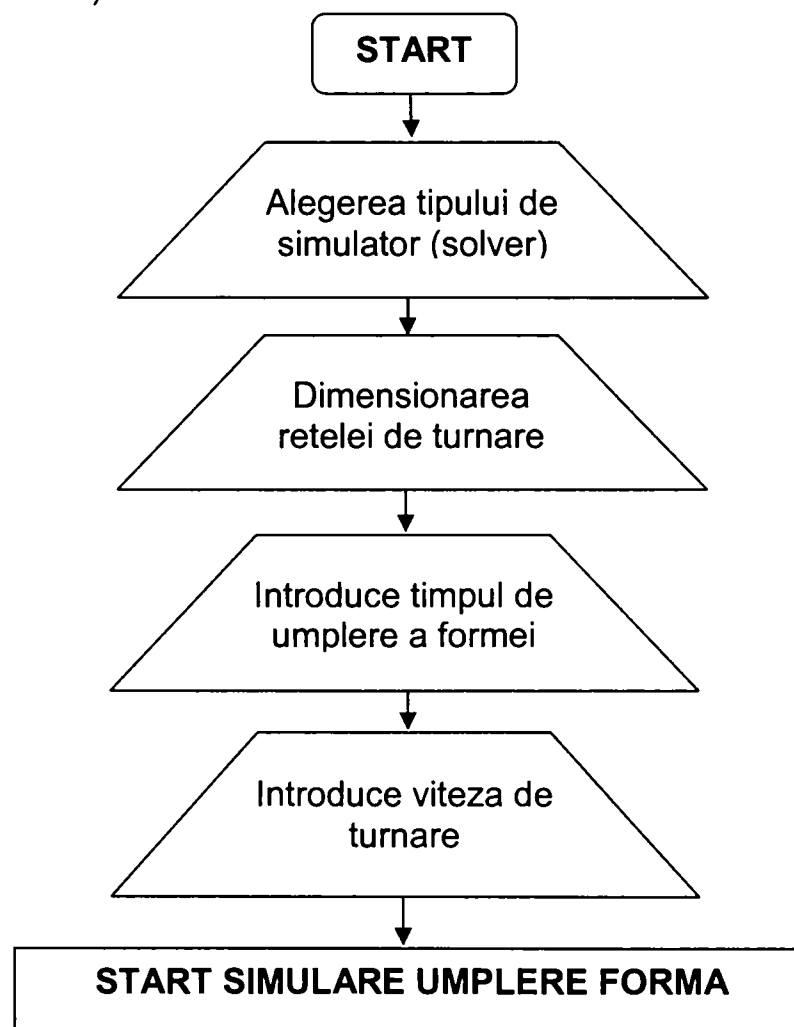


Figura 3.7. Schema logică a introducerii parametrilor umplerii.

3.5.5. Introducerea parametrilor solidificării

Introducerea parametrilor solidificării se face după următoarea schemă logică (figura 3.8) :

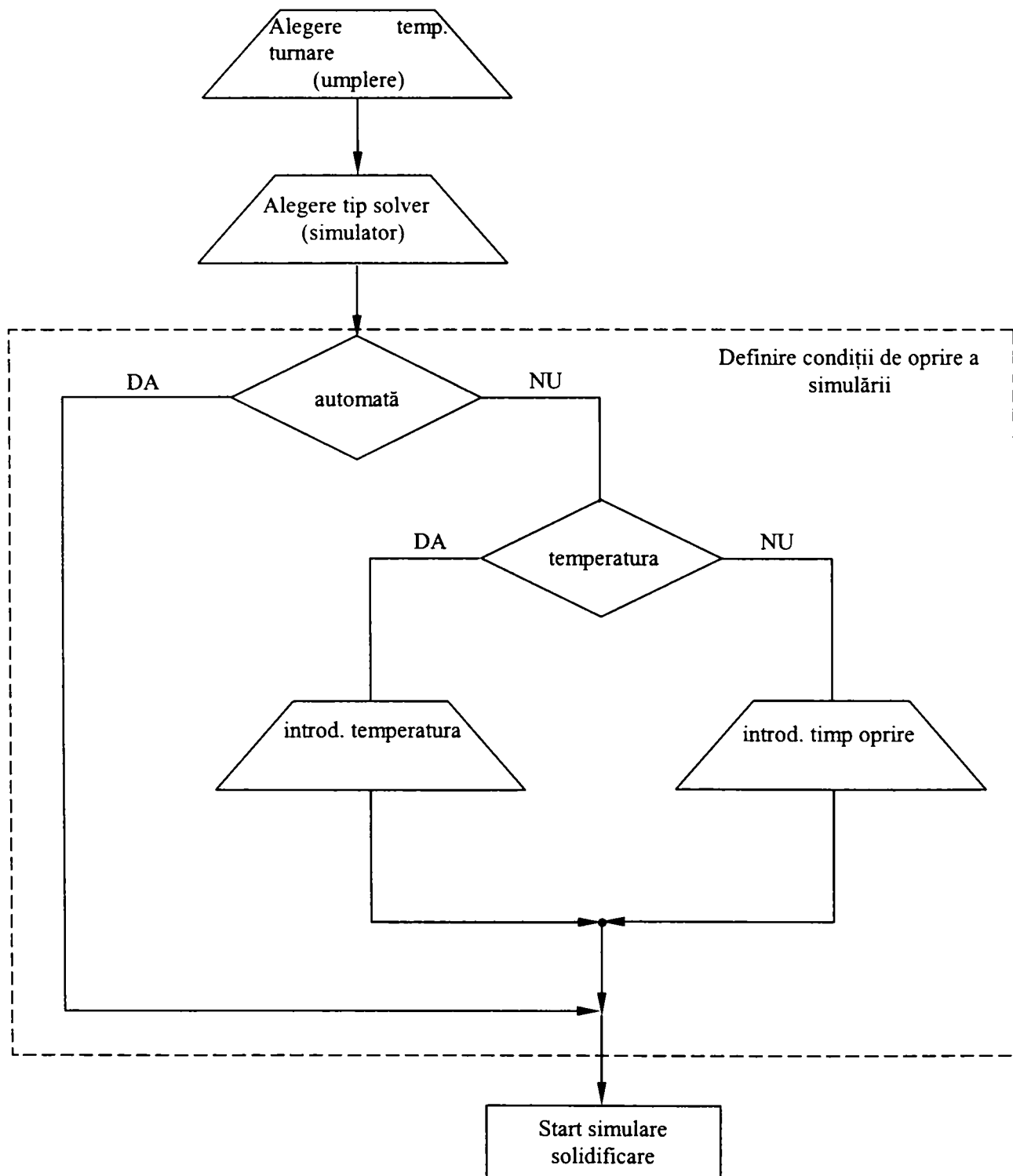


Figura 3.8. Schema logică a introducerii parametrilor solidificării.

3.5.6. Simularea umplerii și solidificării

După introducerea parametrilor umplerii și solidificării se dă comanda START, având posibilitatea de a vizualiza rezultatele parțiale, opri procesul la momentul dorit, modificarea anumitor parametri și continuarea simulării umplerii și solidificării (figura 3.9) din acel moment.

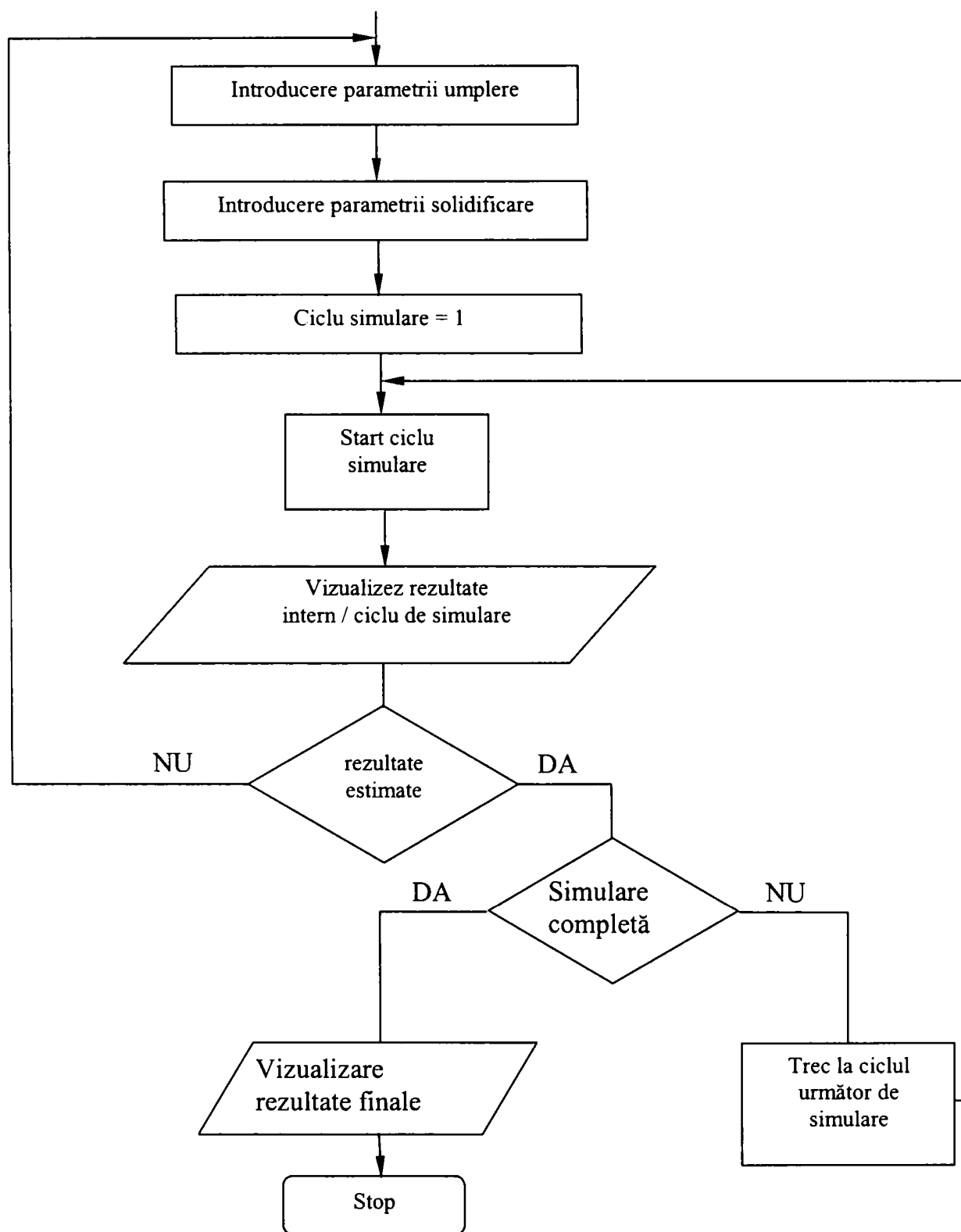


Figura 3.9. Schema logică a simulării umplerii și solidificării.

3.6. Postprocesarea. Prezentarea rezultatelor. Funcțiile pentru solidificare după criterii (solid criterion)

După terminarea simulării, programul calculează automat criteriile alese în momentele definite. Rezultatele permit identificarea defectelor în interiorul piesei turnate și analiza comportamentul la solidificare.

Tabelul 3.1. Criteriile de analiză a solidificării și a rezultatelor simulării

Criteriul	Unitatea de măsură
GRADIENT - GRADIENT TERMIC	$^{\circ}\text{C}/\text{mm}$
COOLRATE – RATA DE RĂCIRE	$^{\circ}\text{C}/\text{s}$
LIQTOSOL – TRECEREA DE LA LICHID LA SOLID	S
SOLTIME – TIMPUL DE SOLIDIFICARE	cm
FEEDMOD – MODULUL TERMIC	s
FSTIME – VALOAREA CRITICĂ DE SOLIDIFICARE	s
HOTSPOT – PUNCTE CALDE	s
FEEDING – CALITATEA UMLERII FORMEI	%
POROSITY – POZIȚIA DEFECTELOR DE TURNARE	%

Criteriile după care se analizează solidificarea sunt următoarele:

Gradientul de temperatură

Magma soft utilizează două temperaturi de calcul al criteriului gradient.

Utilizând criteriul GRADIENT se poate arăta gradientul de temperatură de la temperatura definită prin criteriul de temperatură #2 (2°C peste temperatura lichidus, stabilită la 1380°C).

Observație: criteriul de temperatură #2 - La aceasta temperatura se calculează rata de răcire și gradientul. Criteriile calculate ca și timpul de solidificare local sunt folosite în post procesor ca bază de calcul a altor criterii.

Rata de răcire (COOLRATE)

Cu acest criteriu se determină rata de răcire a piesei. Acest criteriu este calculat începând de la temperatura definită prin criteriul #2, de regulă în interiorul semifabricatului, rata de răcire este mai mică la exteriorul piesei.

Timpul de solidificare (SOLTIME)

Acest criteriu arată timpul de început al simulării solidificării până când temperatura scade sub temperatura solidus.

Modulul termic (FEEDMODE)

Acest criteriu poate ajuta la înțelegerea condițiilor termice în cadrul turnării și să se aleagă alimentatorul/alimentatoarele adecvate. Acest criteriu a fost special conceput pentru procesele de turnare în nisip. Pentru a vedea dacă se poate obține solidificare direcționată înspre alimentator, trebuie observate modificările din feedmod (modulul termic al piesei).

Cele mai mari valori ar trebui să apară în alimentatoare și să descrească treptat în timpul turnării. Se recomandă o comparare a modulului alimentatoarelor folosite în mod obișnuit (datele tehnice oferite de furnizor) cu valoarea maximă a modulului termic (feemod) în piesa turnată. Acest lucru permite luarea unei decizii și anume ce alimentator trebuie folosit pentru a obține rezultate optime. Bineînțeles că există o diferență între modulul termic și unul geometric. În comparație cu modulul geometric (V/A), modulul termic ia în considerare limita formei (efect de colț și muchie) și răcirea, ceea ce duce la o scădere sau creștere a suprafeței efective de turnare disponibilă pentru răcire și la timpi de solidificare diferiți. De aceea modulul termic permite o evaluare mai precisă decât volumul geometric.

Valoarea critică de solidificare (FSTIME)

Permite afișarea timpului necesar de turnare pentru a atinge porțiunea critică a topiturii solidificare (fracție solidă) până la care alimentarea macroscopică mai este posibilă.

Puncte calde (HOTSPOT)

Utilizând criteriul hotspot se pot determina regiunile izolate cu lichid rezidual în toate momentele în timpul solidificării.

Calitatea alimentării (FEEDING)

Reprezintă calitatea alimentării piesei (gradul de umplere a golului formei) și este de fapt inversul porozității adică partea de metal la sfârșitul solidificării piesei.

Unitatea de măsură % (după scala de culori) 100% feeding corespunde la 0% porozitate.și invers.

Porozitatea sau poziția defectelor de turnare (POROSITY)

Utilizând criteriul porosity se pot vizualiza porozitățile în piesă, fiind arătată partea de porozități de la sfârșitul solidificării. Unitatea de măsură este în % (scala de culori). Golurile și regiunile poroase sunt arătate de asemenea în alb. Pentru a obține acest criteriu trebuie să activați în simulare calculul de alimentare în instalația de simulare.

3.7. Variante tehnologice simulate

Retasurile în piesele turnate din oțelul austenitic cu conținut ridicat de mangan sunt cu mult mai mari decât la piesele din oțel carbon obișnuit. Cu toată influența contracției liniare retasurile pot fi cu mult mai mari când se toarnă un metal, puternic supraîncălzit, fără a ține seama de fluiditatea practică mare a acestui oțel. La supraîncălziri mici se pot obține retasuri mai mici chiar decât la piesele turnate din oțel carbon obișnuit.

În condiții egale, ne putem aștepta la o dezvoltare mare a retasurilor deoarece conductibilitatea termică a oțelului este mică, iar turnarea în forme se face repede.

Plecând de la cele mai sus prezentate simularea s-a efectuat în ideea deplasării retasurii către centrul geometric al piesei turnate.

3.7.1. Simularea turnării unei bile într-o formă de turnare fără maselotă.

Această simulare s-a efectuat pentru a observa cum se dezvoltă retasura în condițiile de turnare ale unei piese sferice fără maselotă.

Condițiile de turnare sunt cele prestabilite și anume oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan cu următoarea compoziție chimică:

C – 1,30%; Mn – 13,13%; Si – 0,63%; S – 0,002%; P – 0,10%; Cr – 1,60%

Turnarea se realizează în forma de nisip la o temperatura de turnare de 1400°C. Timpul de turnare stabilit a fost 2 secunde. Dimensiunile formei au fost

definite în PREPROCESOR și sunt următoarele: $a = 190 \text{ mm}$; $b = 181 \text{ mm}$; $c = 148 \text{ mm}$. Diametrul canalului de alimentare $d = 15 \text{ mm}$. Diametrul bilei este de 100 mm . (vezi figura 3.2). Evoluția procesului de simularea la turnarea unei bile fără maselota este redată în figurile de mai jos (figura 3.10 – 3.12):.

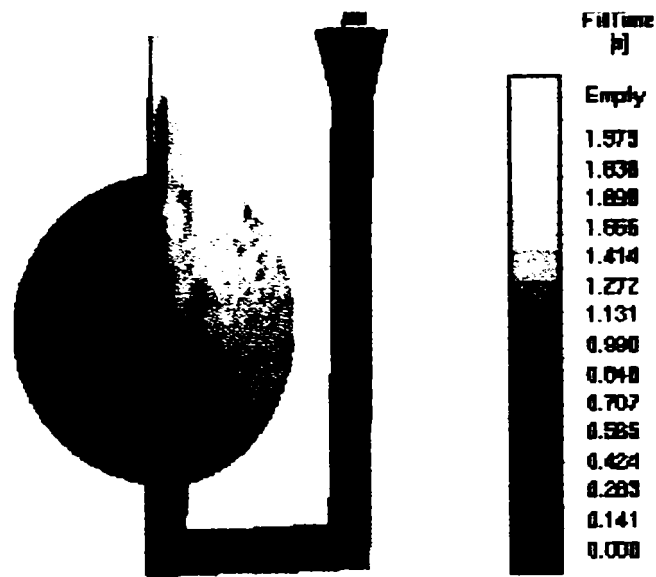


Fig. 3.10. Presentarea criteriului filltime (timpul de umplere), [s].

Timpul de umplere prestabilit a fost de 2 secunde. După codul culorilor afișat în partea dreaptă a imaginii se observă evoluția umplerii formei de turnare.

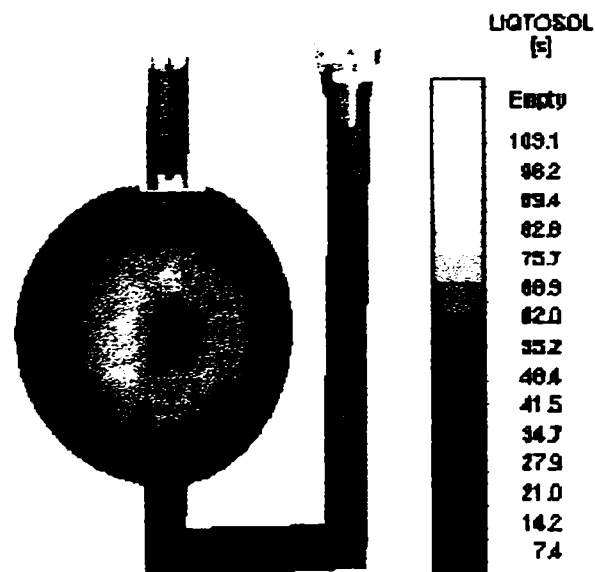


Fig. 3.11. Presentarea criteriului liqtosol (trecerea de la lichid la solid) [s].

Umplerea se realizează cel mai rapid pe partea centrală a piesei, unde jetul ajunge în aproximativ 0,424 secunde. Între partea dreaptă și partea stângă a

piesei se observă diferențe de culoare, ceea ce demonstrează că cel mai repede se umple partea stângă a piesei datorită devierii jetului de oțel către stânga

Acest criteriu reprezintă timpul necesar pentru a se răci anumite zone de la temperatura lichidus la temperatura solidus și se măsoară în secunde. Cel mai repede se răcește rețeaua de turnare și suprafața de contact a piesei cu forma de turnare. Zona cea mai caldă rămâne cea din jurul centrului geometric al sferei, zonă care va influența poziția hotspot-ului.

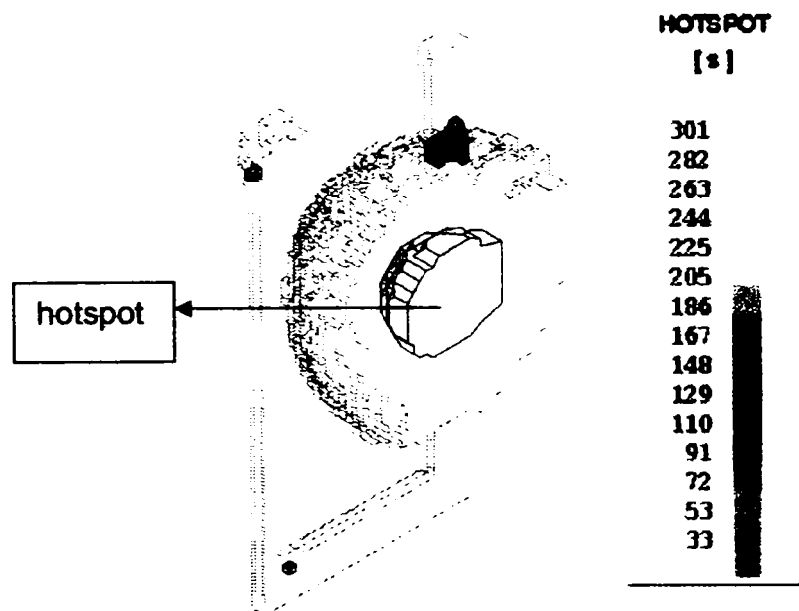


Fig. 3.12. Prezentarea criteriului hotspot (puncte calde) [s]

Cu ajutorul acestui criteriu care se măsoară în secunde se poate determina timpul maxim după care mai există zone cu resturi de topituri, cu alte cuvinte zona cea mai caldă a piesei unde mai există încă lichid. Ultima zonă de solidificare apare în centrul piesei și este reprezentată prin culoarea albă care solidifică după 301 secunde. Se observă că centrul termic al piesei se suprapune cu centrul geometric al sferei. Poziția hotspot-ului influențează poziția retasurii redată prin criteriul porosity, criteriu care include toate defectele de turnare.

Cu ajutorul acestui criteriu se pot vizualiza defectele de tunare, poziția acestora în piesă precum și mărimea acestora.

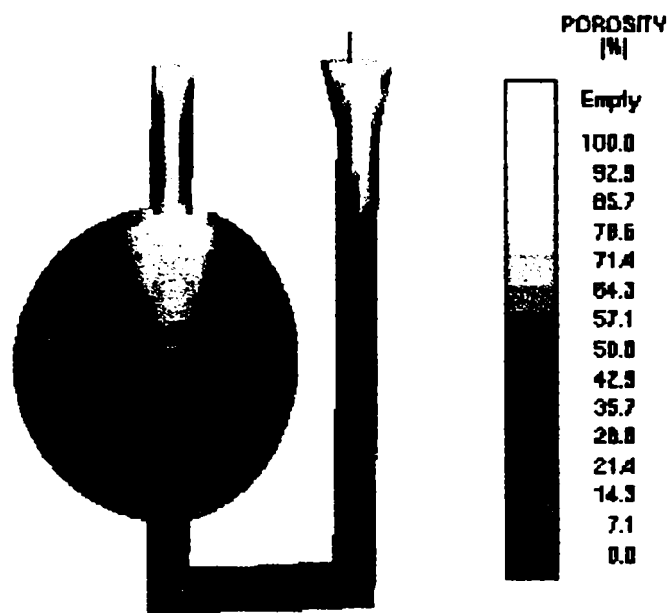


Figura 3.13. Prezentarea criteriului porosity (porozitate, poziția defectelor de turnare) [%]

După cum era de așteptat porozitatea (figura 3.13), care include și retasura este plasată în partea superioară a piesei precum și în partea superioară a rețelei de turnare sub forma unui con. Se observă propagarea retasurii din centrul termic al piesei (hotspot) înspre partea superioară datorită condițiilor concrete de solidificare. Realimentarea cu lichid se face din partea superioară iar depunerile de solid se fac în partea inferioară datorită gravitației și răcirii. Din acest motiv se regăsește retasura deplasată față de hotspot și anume înspre partea superioară a piesei. După cum se observă, apare o retasură imediat sub canalul de aerisire iar porozitatea se propagă spre centrul sferei scăzând în volum. Deoarece nu se obține o suprafață compactă a bilei turnate se propun alte variante tehnologice.

3.7.2. Turnarea bilelor într-o formă temporară cu răcitori

Faza cea mai importantă a procesului de obținere a unei piese turnate este procesul de solidificare a metalului în forma de turnare. Pentru a obține o piesă turnată de calitate superioară, adică compactă, omogenă și cu granulație fină, este necesar ca procesul de solidificare a metalului în formă să fie dirijat în mod corespunzător.

Una din metodele de dirijare a solidificării pieselor turnate în forme, care se aplică pe scară largă în practică, este utilizarea răcitoarelor exterioare și interioare. Principiul de acțiune a răcitoarelor exterioare și celor interioare este diferit. [14]

3.7.2.1. Turnarea pieselor utilizând răcitori interni

La utilizarea răcitoarelor interioare accelerarea solidificării unei porțiuni oarecare a piesei turnate se obține prin introducerea în formă a unei cantități oarecare de metal solid. Pentru încălzirea și pentru topirea totală a acestui metal, se consumă o cantitate oarecare de căldură, iar solidificarea piesei turnate în locul prevăzut cu răcitor interior este accelerată, fără pericolul apariției de retasuri. Răcitorul interior el însuși trebuie să se topească în acest timp, complet pentru ca să poată forma o singură masă cu metalul piesei turnate. Totuși, cu toate că acțiunea răcitoarelor interioare este mai eficace decât a celor exterioare, utilizarea lor în practică este mai limitată. Din literatura de specialitate, [14], [60], rezultă că nu există în prezent date suficiente pentru alegerea justă a dimensiunilor răcitoarelor interioare. De obicei se recomandă ca greutatea răcitoarelor interioare să fie de 2 - 5% din greutatea porțiunii din piesa turnată care trebuie răcită. Alegerea corectă a dimensiunilor și a greutății răcitoarelor interioare are o importanță mare, deoarece dacă greutatea lor va fi insuficientă, retasura locală nu va putea fi lichidată; dacă însă, greutatea lor va fi prea mare, va avea loc topirea incompletă a răcitorului și chiar sudarea incompletă dintre suprafețele răcitorului și suprafața metalului de bază.

3.7.2.1.1. Simularea turnării bilelor utilizând răcitori interni

S-au simulat două variante de turnare cu răcitori interni, (figura 3.14) Prima variantă de turnare s-a realizat utilizând un răcitor interior de formă sferică plasat la partea superioară a piesei (varianta a). Răcitorul interior este realizat din același material ca și piesa turnată. După codul culorilor afișat în partea dreaptă, cod care prezintă parametrul porosity se observă că defectele de turnare sunt plasate în jurul răcitorului ajungând până la suprafața exterioară. După aspectul prezentării, ținând cont de temperatura de turnare, care a fost de 1420°C oțelul nu

reușit să topească răcitorul ci doar să concentreze defectul de turnare în jurul acestuia; în jurul răcitorului s-a solidificat un strat de oțel.

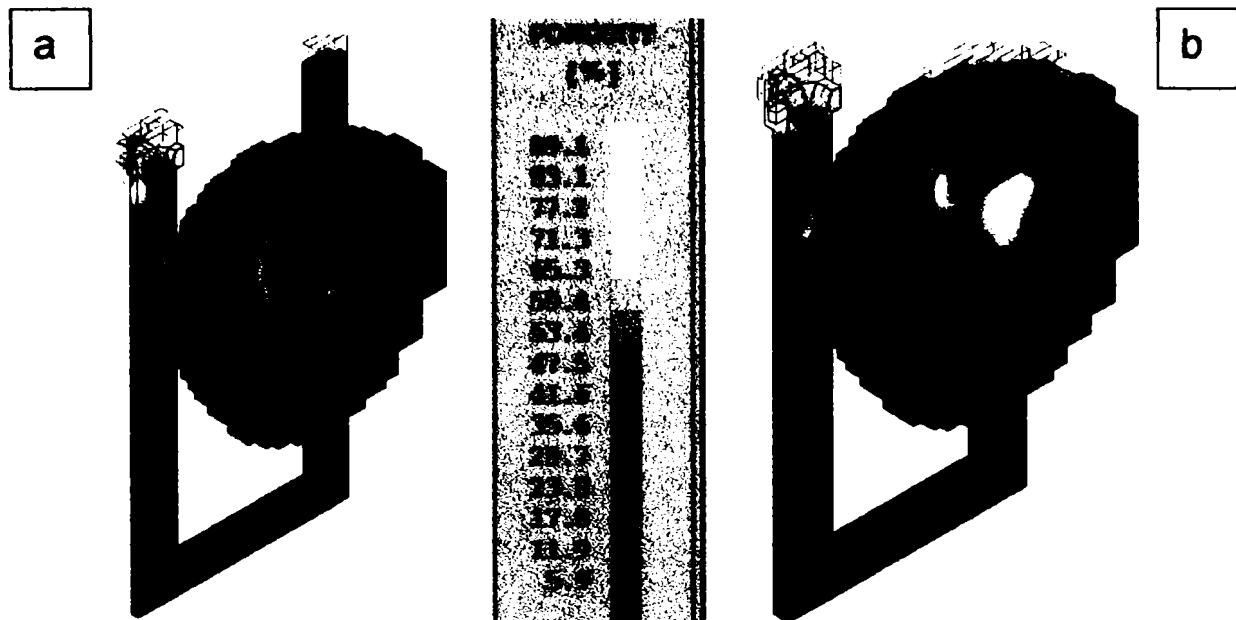


Fig. 3.14. Simularea turnării bilelor cu răcitor (a. răcitor sferic; b. răcitor conic)

În varianta b s-a folosit un răcitor conic, introdus cu vârful în jos în forma de turnare. De data aceasta o parte din răcitor a fost topită, defectul maxim de turnare fiind plasat către centrul piesei dar și spre calota superioară a piesei.

3.7.2.1.2. Concluzii privind turnarea bilelor utilizând răcitori interni

Utilizarea răcitorilor interni nu dat rezultatele așteptate. În cazurile a, b, răcitoarele au avut ca efect solidificarea unui strat de metal în jurul acestora și formarea retasurii în jurul metalului solidificat. Rezultă ca utilizarea răcitoarelor interne la piese de dimensiuni mici nu dă rezultatele așteptate. Volumul piesei a fost de 519 cm^3 , iar masa de 4,28 kg. iar temperatura de turnare a fost de 1420°C . Oțelul turnat nu are capacitatea termică să topească răcitorul fapt demonstrat de solidificarea unui strat de oțel în jurul răcitorului, excepției este cazul b în care o mică parte din răcitor a fost topit, fără formarea unui strat de metal solid în jurul acestuia, defectul principal de turnare s-a plasat în interiorul piesei dar și către suprafață.

3.7.2.1.3. Simularea turnării bilei din oțel austenitic manganos în varianta cu răcitor extern

Pentru simularea turnării s-a folosit un răcitor de cupru exterior poziționat la partea superioară a formei, după cum este prezentat în figura 3.15.

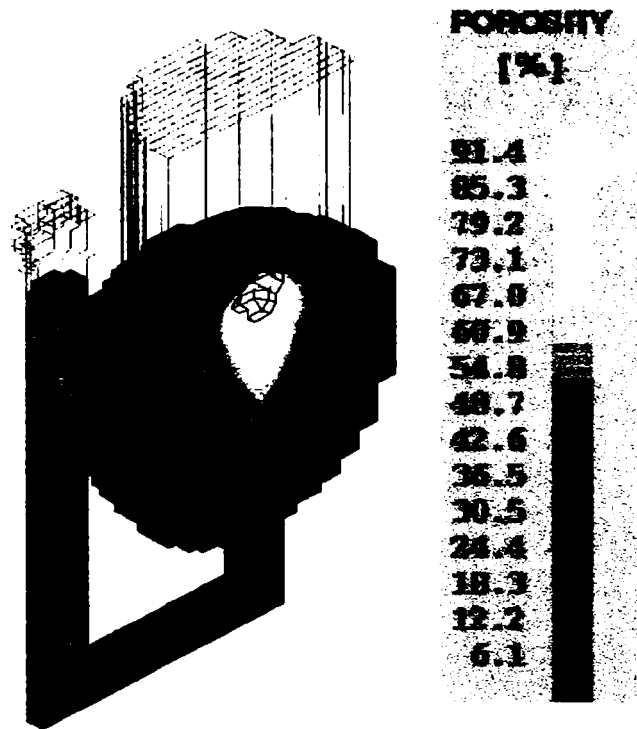


Fig. 3.15. Simularea turnării cu răcitor extern de cupru

S-a simulat turnarea piesei utilizând un răcitor exterior din cupru cu diametrul al calotei superioare a piesei de 62 mm. Dimensiunile răcitorului au fost alese din literatura de specialitate [14].

Defectele de turnare în acest caz se găsesc în interiorul piesei, grosimea stratului de metal solidificat în jurul defectului fiind în medie 14 mm. Defectul de turnare definit prin criteriul porosity are o variație de 36% până la 88,6%.

Din punct de vedere tehnologic această variantă prezintă interes deoarece defectul de turnare se găsește în interiorul piesei, motiv pentru care se va face o detaliere a condițiilor de simulare.

3.7.2.1.4. Condițiile de simulare a umplerii și solidificării formei de turnare în varianta cu răcitor extern din cupru

Protocoalele definite de Magmasoft pentru această variantă sunt prezentate mai jos. Conform celor prezentate anterior în tabelul 3.2. au fost definite grupurile de materiale care participă la procesul de simulare.

Tabelul 3.2. Definirea grupului de materiale

Protocol: sfera// version 18 // page 1			
Process: steel module			
Calculează: umplere, solidificare			
Definirea grupului de materiale			
	Marca	Volumul [m ³]	Start [T ⁰ C]
Oțel turnat	T120CrMn130	519,96	1400
Jet	T120CrMn130	0,47	1400
Rețea	T120CrMn130	54,10	1400
Formă	Nisip	4459,80	20,0
Răcitor	Cupru	221,40	20,0

După cum rezultă din tabelul 3.2., s-a ales:

- metal turnat, marca T120CrMn130. volumul de metal care s-a turnat este de 519,96 cm³, la o temperatură de 1400⁰C;
- jetul din același metal și la aceeași temperatura, cu un volum de 0,47 cm³;
- rețeaua de alimentare cu un volum de 54,0 cm³, umplută cu aceeași marcă de oțel;
- forma de turnare cu un volum de 4459,80 cm³, temperatura formei fiind de 20⁰C,
- răcitor din cupru, cu un volum de 221,40 cm³, temperatura răcitorului fiind aceeași cu a formei și anume 20⁰C.

Timpul de umplere al formei a fost ales 4 secunde.

3.7.2.1.5. Simularea umplerii formei

Umplerea formei s-a simulat pentru o forma din nisip alimentata prin sifon.

Tabelul 3.3. Definirea parametrilor umplerii

Definirea umplerii	
Activă	: da
Solver-ul utilizat	: 3
Direcția de umplere	: - z
Umplerea depinde de	: rata de umplere
Timpul (s)	Rata de umplere (cm ³ /s)
1,00	141,2400
8,00	112,5200

Observație: direcția de umplere (-z) semnifică faptul că umplerea se face printr-o rețea de alimentare.

Simularea turnării piesei din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan s-a efectuat în baza grupului de materiale definite anterior. Reprezentarea umplerii este prezentată în figurile 3.16 – 3.18. În cazul de față s-a calculat simularea umplerii pentru 10%, 50% și 90% din volumul formei.

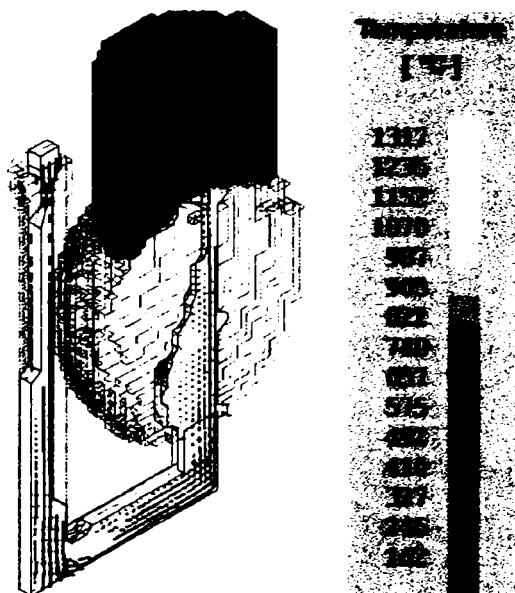


Fig. 3.16. Simularea umplerii formei la 10% din volum, (0,49 secunde)

Observație. Ultima valoare indicată de codul culorilor este 1317°C , dar la limita între culoarea galben și alb. Tot din codul culorilor se observă că intervalul de măsurare a temperaturii este de 83°C . Deci valoare maximă pe scală este 1400°C .

În partea dreaptă apare codul culorilor după care se poate identifica variația temperaturii în timpul umplerii. Volumul total ($574,17\text{ cm}^3$) care trebuie umplut este suma volumelor componentelor sistemului: volumul piesei $519,6\text{ cm}^3$, volum inlet $0,47\text{ cm}^3$, volum gating $54,10\text{ cm}^3$.

Conform codului de culori din partea dreaptă se observă ca zonele cu alb sunt cele mai calde, temperatura fiind de 1400°C , jetul de oțel, datorită presiunii, lovește răcitorul în partea centrală, unde deja și începe schimbul de căldură între răcitor și metalul lichid. Temperatura răcitorului tot în zona de contact cu metalul lichid ajunge la aproximativ 400°C .

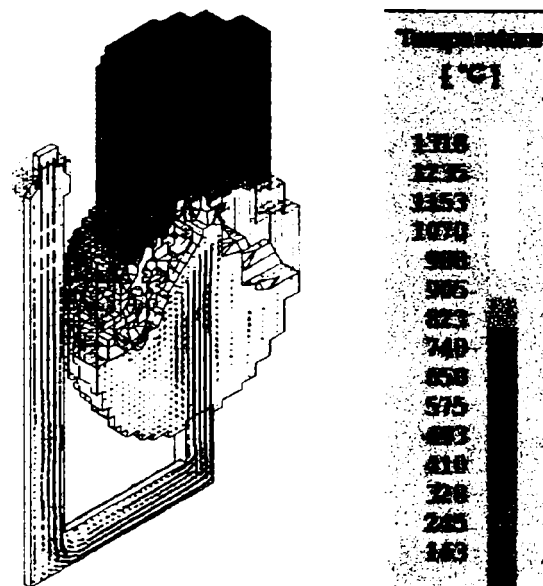


Fig. 3.17. Simularea umplerii la 50% din volum, (2,052 secunde)

După umplerea a 50% din volumul piesei, temperatura metalului în formă este aproximativ aceeași între 1318 și 1400°C . Aceiași temperatură se observă și în rețeaua de turnare. În zona de contact răcitor metal lichid se intensifică schimbul de căldură, pe deoparte datorită contactului direct între metal și răcitor, și pe de altă parte datorită radiației termice. Temperatura suprafeței interioare a răcitorului este de 1070°C . Datorită timpului de turnare relativ mare (4 secunde) în

ambele variante curgerea metalului lichid a fost o curgere laminară, fără stropi și turbioane. Aceasta se poate observa și după analiza interiorului formei la 50%, simularea umplerii din figura 3.17.

Observație: în cazul simulării a umplerii 100% din volum măsurarea temperaturii se face începând de la valoarea minimă care este sub 1200°C. Intervalul de măsurare a temperaturii este mult mai mic în acest caz și anume de 13°C. Se apreciază că după 4 minute temperatura răcitorului este undeva la 1200°C și transferul termic între răcitor și mediul înconjurător se desfășoară la valoarea maximă.

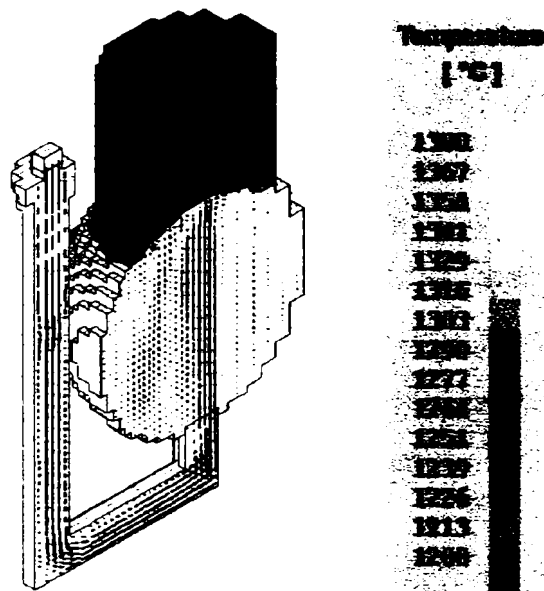


Fig. 3.18. Simularea umplerii la 100% din volum (4,218 secunde)

După umplerea a 100% din volumul formei condițiile termice din formă se modifică. Temperatura metalului lichid din formă este tot între 1400°C și 1341°C la zona de contact cu răcitorul. Cea mai mică temperatură este în răcitor, aproximativ 1200°C.

3.7.2.1.6. Simularea solidificării piesei

Geometria piesei a fost stabilită anterior. În continuare s-a procedat la prezentarea poziției în spațiu a punctelor de control al temperaturii. S-au ales 6 puncte de control a variației temperaturii în timpul umplerii și solidificării.

Tabelul 3.4. Poziția punctelor de control al temperaturii

Punctele de control					
Curbe de răcire:					
Nr.	Grupa de materiale	Descriptor	x	y	Z
1	1	C1	0,00	0,00	30,03
2	1	C2	0,14	-0,12	41,84
3	5	C3	-0,14	-0,12	54,65
4	1	C4	-16,08	0,00	41,84
5	1	C5	0,00	0,00	0,00
6	1	C6	-0,70	-0,70	-43,85

În tabelul de mai sus este prezentată poziția termocuplelor (TC) în sistemul de turnare pentru urmărirea variației continue a temperaturii în locul geometric al punctelor de control. Au fost stabilite 6 puncte în care s-au montat termocuplele conform figurii 3.4. Pentru fiecare punct postprocesorul atribuie o culoare, lucru ce ajută foarte mult la identificarea rapidă a variației temperaturii, vitezei de umplere, în punctele stabilite anterior. În continuare s-a procedat la stabilirea condițiilor de transfer termic între componentele sistemului de turnare. Datele au fost alese din baza de date utilizate de Magmasoft și la recomandările din help.

Tabelul 3.5. Definierea condițiilor de transfer termic

Coeficienții de transfer termic				
Nr.	Interfața		Val.coef.transfer termic [w/m ² K]	Variația
1	Aliaj	Forma	500	constant
2	Aliaj	Răcitor	10000	constant
3	Forma	Rețea	500	constant
4	Forma	Răcitor	700	constant

În tabelul de mai sus este redată valoarea coeficienților de transfer termic, precum și componentele sistemului de turnare între care are loc transferul termic. Valorile au fost alese din baza de date și recomandate de realizatorii programului Magmasoft.

3.7.2.1.7 Prezentarea secvențială a rezultatelor solidificării

Simularea solidificării piesei începe din momentul terminării umplerii formei. Timpul de umplere a formei a fost de 4,218 secunde, temperatura de turnare a fost de 1400°C.

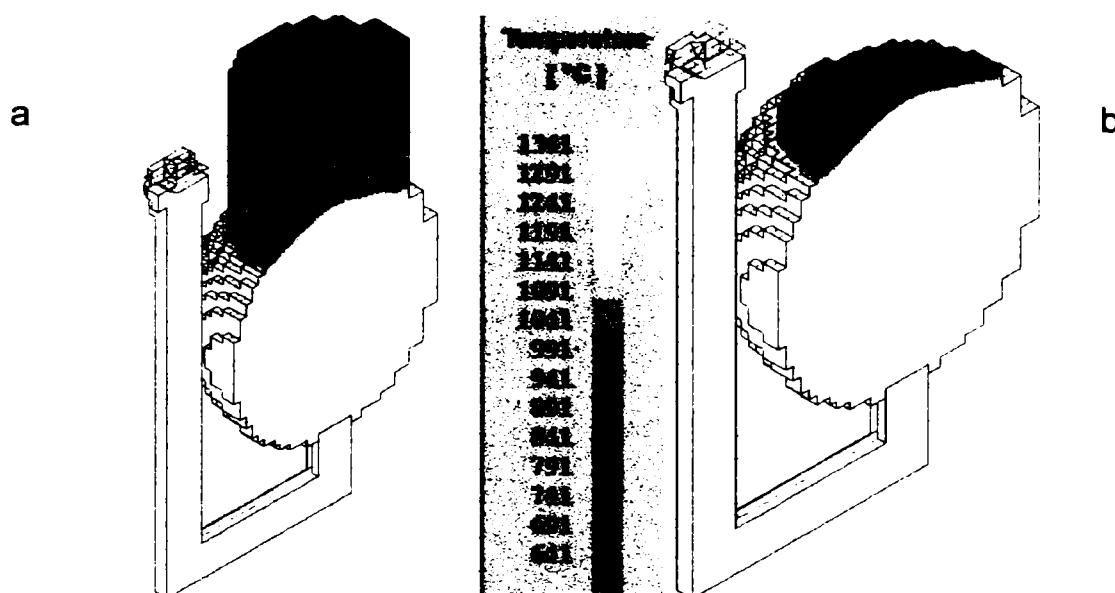


Fig. 3.19. Simularea solidificării după 10,420 secunde, procentul de metal solidificat fiind de 10,17%.

Observație. În figurile de la nr.3.19 la nr.3.21, cele două imagini sunt identice cu precizarea că cea din partea stângă reprezintă piesa cu răcitor iar imaginea din partea dreaptă este tot cea din partea stângă dar răcitorul este transparent pentru a se putea observa variația temperaturii la zona de contact piesă răcitor (aceeași simulare, dar cu reprezentare grafică diferită).

După codul culorilor temperatura metalului este de 1341 și 1400 °C. În zona de contact piesă răcitor se observă o zonă cu temperaturi cuprinse între 712°C - 1190°C și apariția primului strat de material solidificat cu o temperatură de 1190°C.

Temperaturile cele mai mici sunt în zona de contact răcitor formă, valorile fiind între 641 – 841°C. În tabelul 3.6. sunt prezentate temperaturile maxime și minime care pot exista în piesa turnată la o fracție solidă de 10%.

Tabelul 3.6. Variația temperaturii în componentele sistemului de materiale

TEMPERATURA [°C] (Frația solidă. 10,17%)			
Materialul	Minim	Maxim	Mediu
Aliaj turnat	590,842	1391,46	1362,76
Forma	76,627	945,940	97,290
Răcitor	182,504	587,832	277,176
Jet	1207,15	1256,72	1228,84
Rețea de turnare	1281,90	1382,73	1377,41

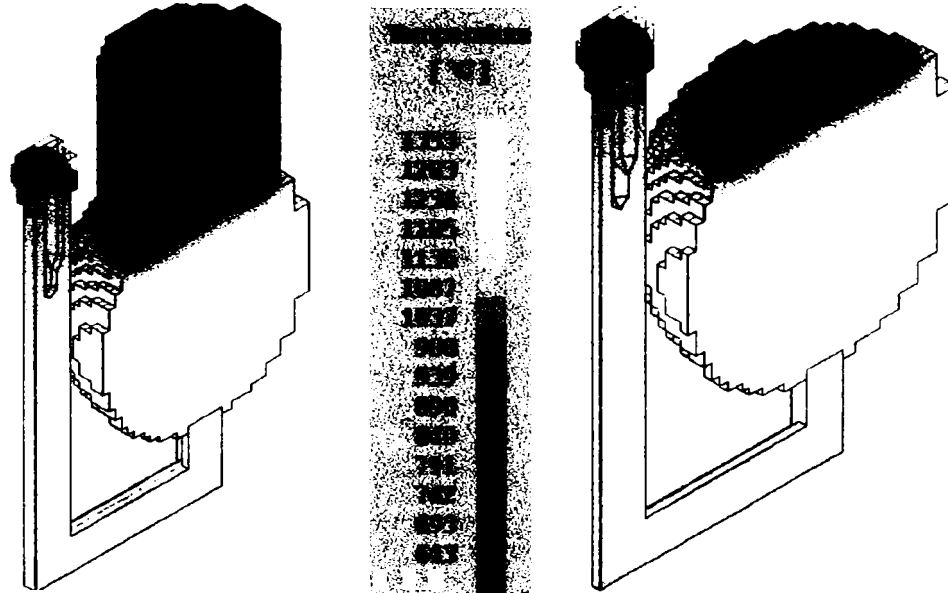


Fig. 3.20. Solidificarea piesei la 50% din volum după un timp de 1,14 minute.

Tabelul 3.7. Variația temperaturii componentelor sistemului de turnare după 50%

TEMPERATURA [°C]			
Material	Minim	Maxim	Mediu
Aliaj turnat	673,379	1381,97	1303,61
Forma	65,677	1270,82	151,834
Răcitor	593,553	708,550	617,651
Jet	859,459	887,260	872,146
Rețea	910,479	1375,66	1239,92

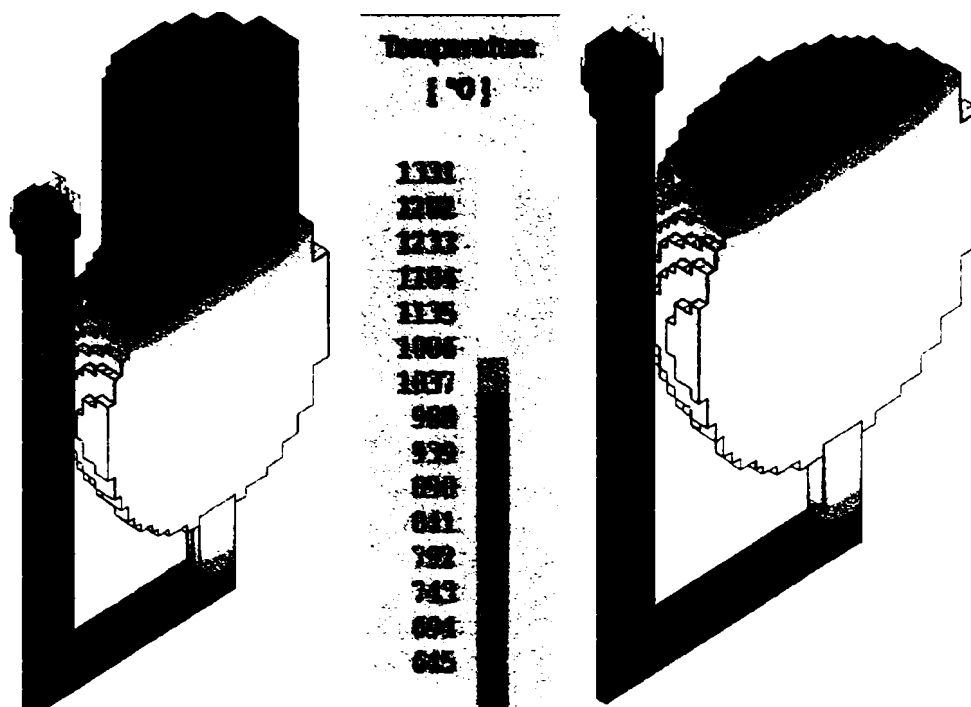


Fig. 3.21. Simularea solidificării a 90% din volumul piesei, după 4,16 minute

Tabelul 3.8. Variația temperaturii componentelor de turnare după 95,25%

TEMPERATURA [°C]			
Material	Minim	Maxim	Media
Aliaj turnat	871,422	1379,63	1216,91
Formă	52,407	1252,86	235,858
Răcitor	830,243	884,393	846,252
Jet	531,640	541,291	536,078
Rețea	549,395	1297,72	793,392

După aproximativ 4 secunde, solidificare 90% piesa încă mai prezintă zone temperaturi foarte apropiate de temperatura solidus (1330°C). Aceste zone sunt plasate în partea inferioară a piesei, fapt explicat de prezența răcitorului la partea superioară a piesei. Temperatura minimă a piesei este în zona de contact cu răcitorul valoarea fiind de aproximativ 871°C . Temperatura în răcitor este aproximativ constantă la o valoare medie de $846,252^{\circ}\text{C}$

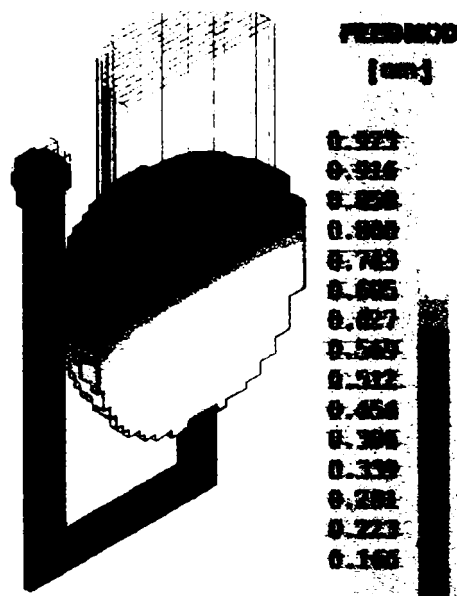


Fig. 3.22. Definirea criteriului feedmode (modulul termic) [cm]

Criteriul feedmode ajută la definirea condițiilor de transfer de căldură în piesă. Este un parametru specific turnării în nisip pentru a verifica dacă există o solidificare dirijată. Acest criteriu este cotate în centimetri.

În figura 3.22, suma valorilor din scala de culori este de 10 cm, valoare ce corespunde diametrului bilei supuse simulării (100 mm). În partea inferioară a piesei zona cea mai caldă are o înălțime de 0,973 cm, zona cea rece are o valoare de 0,166 cm.

În mod normal în cazul unei solidificări clasice, cu maseletă, feedmod-ul care reprezintă modulul termic al piesei, crește pe verticală spre maseletă.

În cazul de față datorită utilizării răcitorului superior se realizează o răcire dirijată, inversată, rezultând un modul termic mai mare la partea inferioară.

Modulul termic reprezintă raportul dintre variația gradientului termic și suprafață.

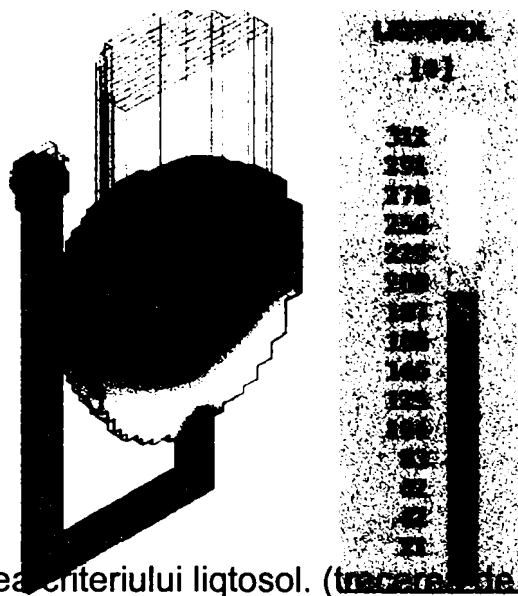


Fig. 3.23. Definirea criteriului liqtosol. (trăcare de la lichid la solid) [s]

Criteriul liqtosol definește timpul de transformare a lichidului în solid (figura 3.23). Cel mai repede solidifică zona de contact cu răcitorul și datorită solidificării dirijate ultimul front de solidificare este în partea inferioară a piesei. (pentru o mai bună vizualizare vezi figura 3.25, criteriul hotspot).

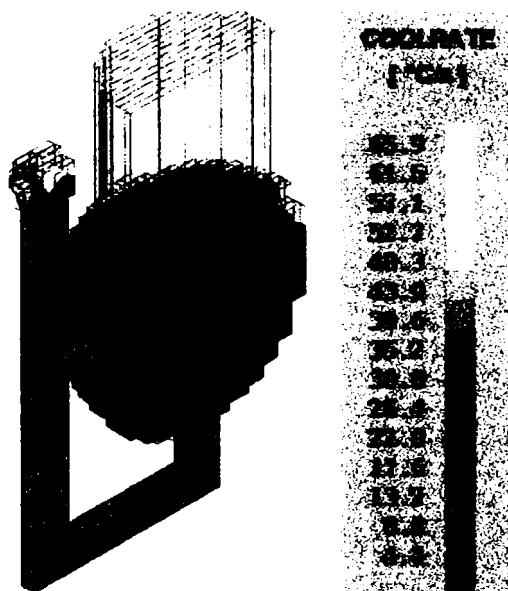


Fig. 3.24. Definirea criteriului coolrate (rata de răcire) [°C/s].

În zona de acțiune a răcitorului valoarea transferului de căldură are valori cuprinse între 17,6 – 30⁰C/s. Valoarea ratei medii de răcire între piesă și formă este de 13⁰C/s. (figura 3.24). **Criteriul coolrate** se măsoară în secunde și cu ajutorul acestuia se poate determina timpul după care mai sunt prezente zone cu

metal lichid. Cel mai mare transfer de căldură se realizează între răcitor și mediul înconjurător, valoarea maximă fiind de $65,9^{\circ}\text{C}$ (rata de răcire este de $4,4^{\circ}\text{C/s}$).

În simularea de față ultima zonă cu metal lichid este în partea inferioară a piesei după 365 secunde (figura 3.25) și are o înălțime de $0,973\text{ cm}$ (figura 3.22).

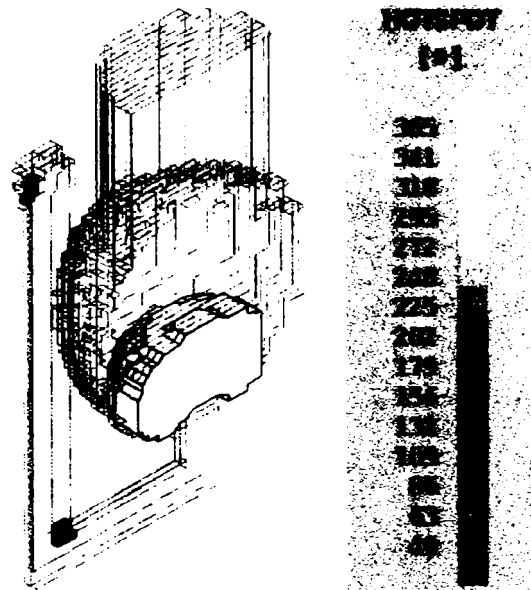


Fig. 3.25. Presentarea criteriului hotspot. (zone calde) [s]

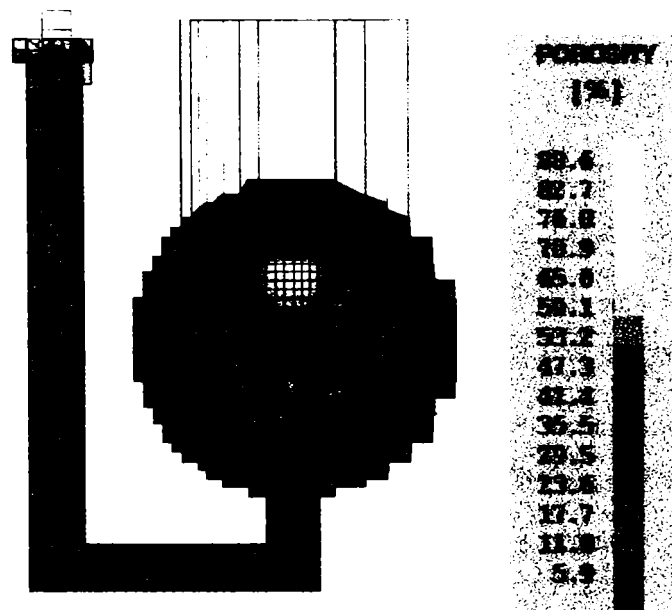


Fig. 3.26. Poziția defectelor de tunare reprezentată prin criteriu porosity, (porozitate) în piesa turnată. [%]

Criteriul porosity (porozitate) redă poziția defectelor de turnare retasură și sufluri, în piesă (figura 3.26). Defectele de turnare sunt plasate în interiorul piesei turnate, fapt dovedit și prin criteriul următor feeding (figura 3.27).

Criteriul feeding reprezintă modul de alimentare cu material al formei și reprezintă procentul de material solid la sfârșitul solidificării. Este o prezentare a modului de solidificare a materialului fără defecte de turnare și este inversul porozității: 100% feeding reprezintă 0% porozitate.

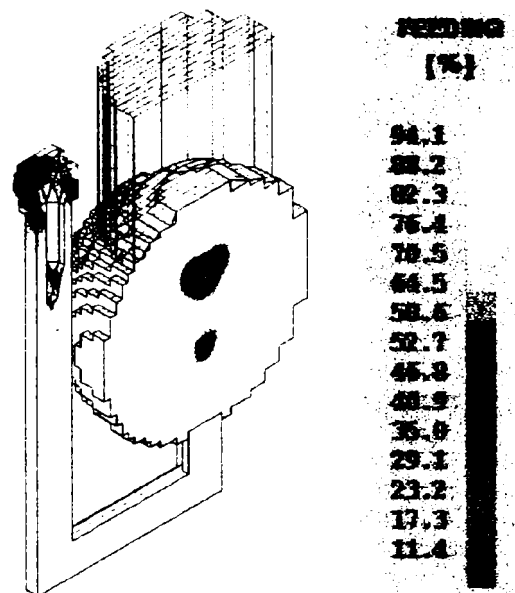


Fig. 3.27. Poziția defectelor de turnare definită prin parametrul feeding (calitatea alimentării formei) [%]

Din figurile 3.26, 3.27, rezultă că defectul de turnare în urma solidificării, definit prin cele două criterii și anume porosity și feeding este plasat în interiorul piesei.

3.7.2.1.8. Simularea variației principalilor parametri ai procesului de turnare

În simularea turnării și solidificării a fost urmărită variația principalii parametri ai procesului de umplere și solidificare:

- variația vitezei de umplere a formei;
- variația temperaturii în timpul umplerii;
- variația temperaturii în timpul solidificării.

Măsurătorile au fost efectuate în punctele stabilite în preprocesor, puncte care reprezintă termocuple simulate, conform figurii 3.28 și tabelului 3.4, tabel în care

sunt prezentate și cotele punctelor. În figura de mai jos (figura 3.28), este prezentată în detaliu poziția acestor puncte. Pentru o identificare mai ușoară punctele sunt numerotate de la 1 la 6, variația parametrilor în punctele respective este redată prin curbe de culori diferite.

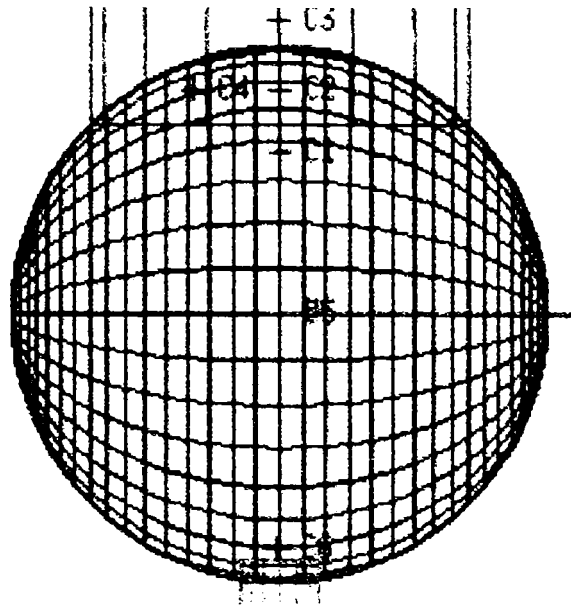


Fig. 3.28. Poziția termocuplelor simulate stabilite în preprocesor.

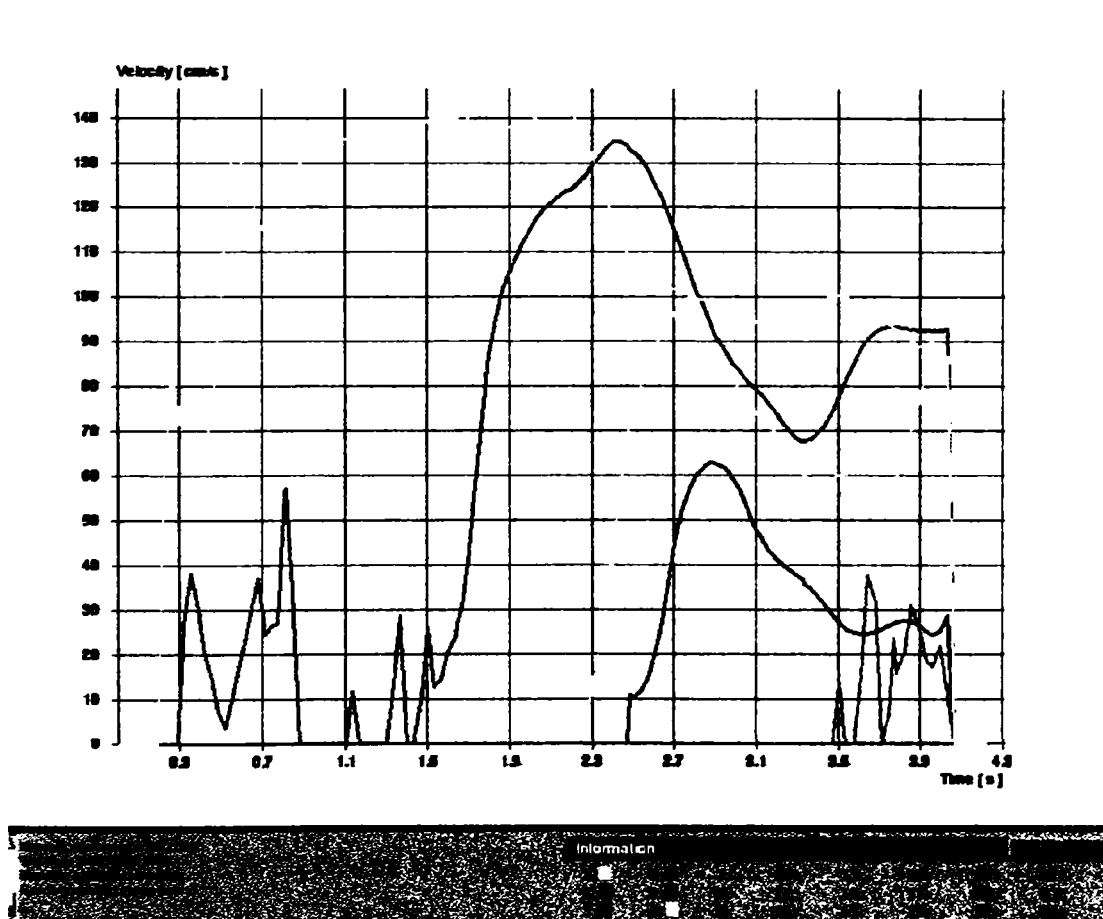


Fig. 3.29. Simularea variația vitezei de umplere a formei. [cm/s]

Din figura 3.29. se observă o întârziere a umplerii formai de aproximativ 0,2 secunde, întârziere determinată de timpul necesar ca metalului lichid să ajungă din alimentator prin rețeaua de turnare în formă. Lichidul ajunge prima dată în punctul C6, punct în care lichidul are viteza cea mai mare. Următorul punct în care ajunge lichidul este C5, după 0,3 secunde iar după 1 secundă viteza în acest punct scade la 0, din cauza căderii metalului în partea inferioară a formei. După 2,3 secunde lichidul ajunge în punctul C2, umplerea fiind gata după 4 secunde.

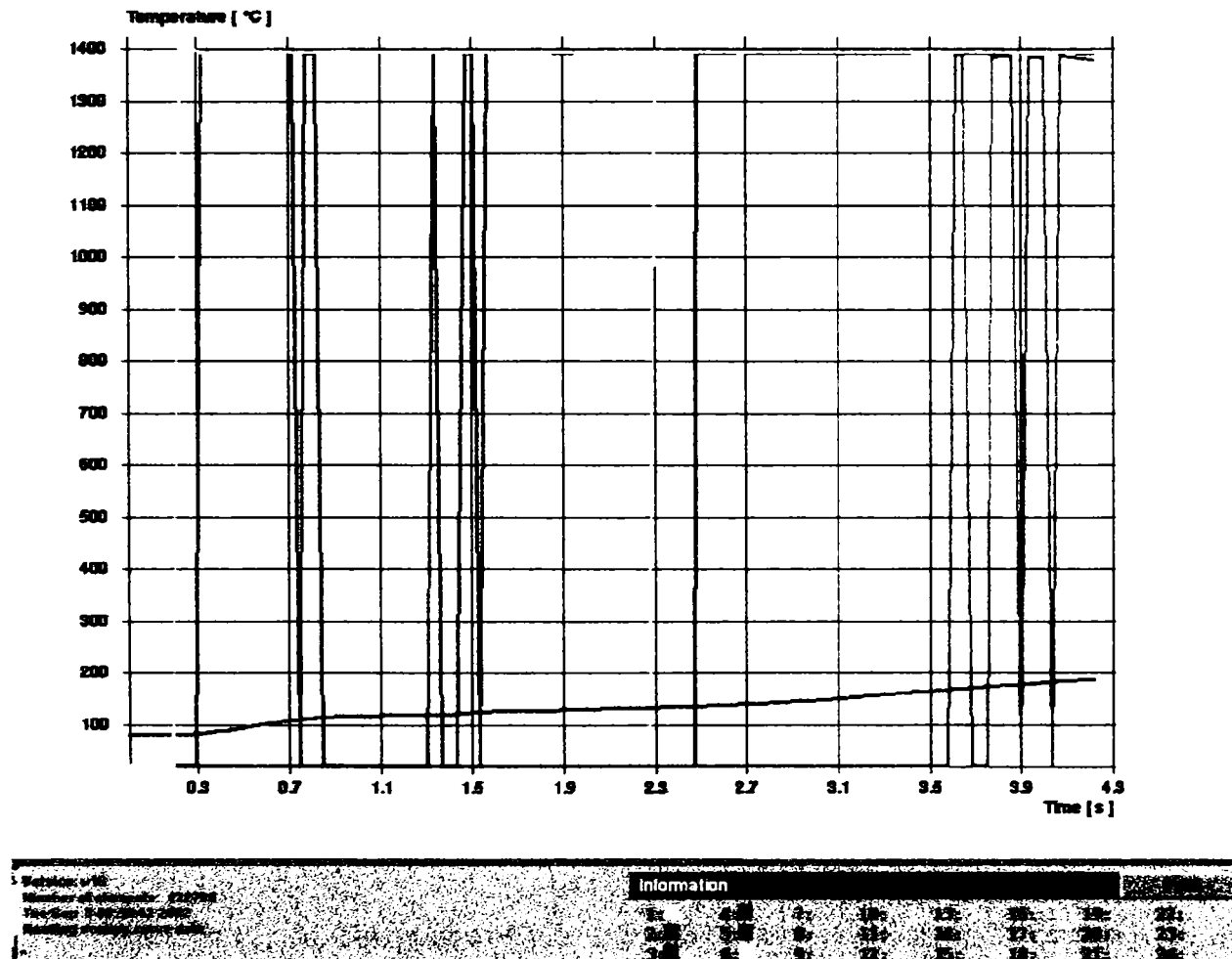
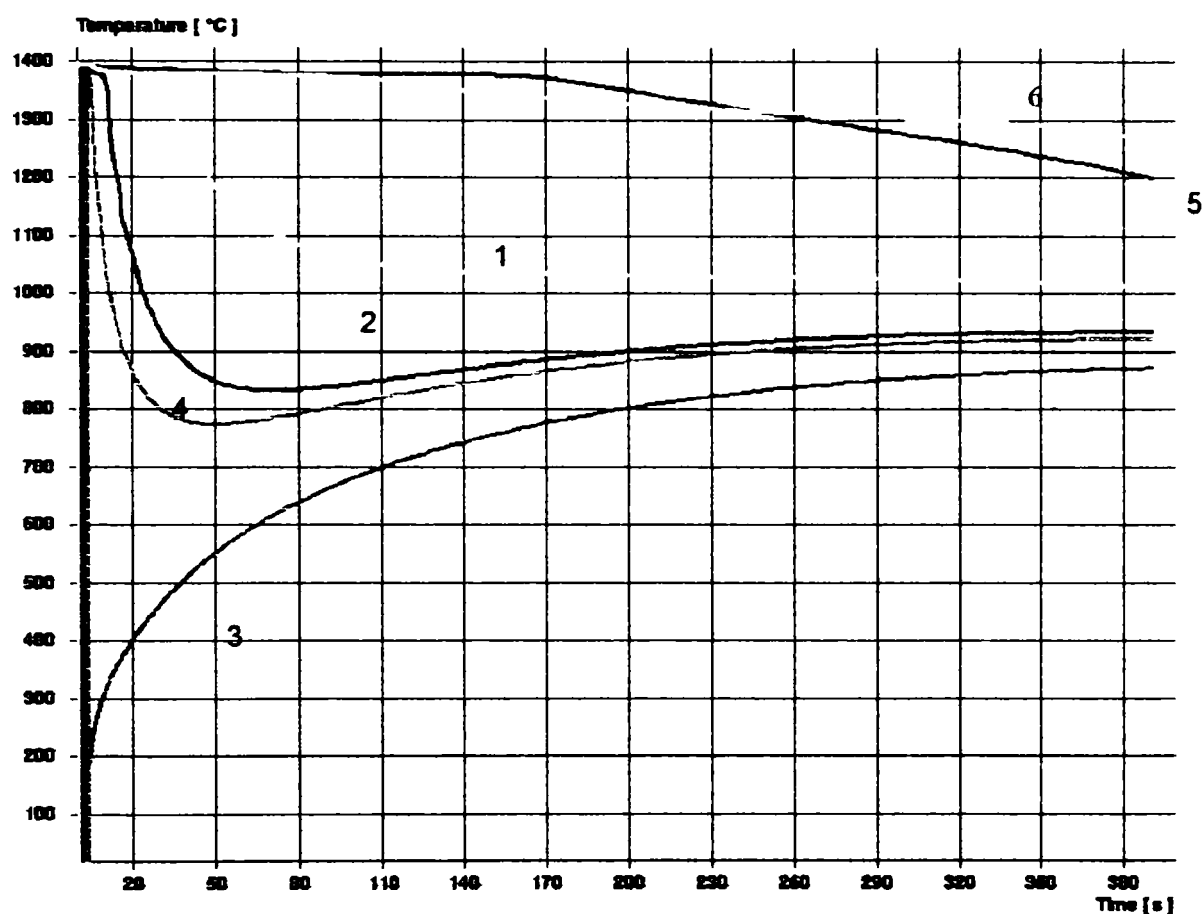


Fig. 3.30. Simularea variația temperaturii metalului lichid în timpul umplerii formei

Această diagramă (figura 3.30) reprezintă variația temperaturii în timpul umplerii. Din diagramă se observă saltul brusc al temperaturii în locurile în care lichidul a ajuns la termocuplă. Analizând temperatura funcție de timp se observă că apare o întârziere de 0,3 secunde da la începerea turnării (timpul până când metalul lichid ajunge la primul termocuplu (poziția C6). Temperatura acestui punct crește brusc la 1400°C. Temperatura celorlalte puncte crește la fel de repede dar

la timpi diferiți, cu o singură excepție, temperatura punctului 3, care reprezintă termocupla montată în răcitor a cărei temperatură ajunge după terminarea umplerii doar la 200°C.



Information							
1:	2:	3:	4:	5:	6:	7:	8:
9:	10:	11:	12:	13:	14:	15:	16:
17:	18:	19:	20:	21:	22:	23:	24:

Fig. 3.31. Simularea variația temperaturii în timpul solidificării

În figura 3.31, se prezintă curbele de solidificare și influența răcitorului asupra gradientului de temperatură din piesă. Pentru a studia variația gradientului termic s-au stabilit puncte de control pe înălțimea piesei și o termocuplă în răcitor. Răcirea cea mai accentuată are loc în punctele C2 și C4 acestea fiind cele mai aproape de răcitor. Punctele C1 și C5 au o variație de gradient de răcire mai mică, fiind mai depărtate de răcitor, punctul C6 are variația de gradient de răcire minimă deoarece este ultima parte de lichid alimentat. Singurele curbe care se apropie de curbele de echilibru sunt punctele C5 și C6. Celelalte curbe, datorită absorbției mari de căldură și a răcirii rapide datorită răcitorului de cupru, nu pot fi

considerate diagrame de echilibru termodinamic. Întrucât punctul C5 se află în centrul sferei se apropie de curba de echilibru ideală.

La temperatura de 1380⁰C și la timpul de 5 sec se observă o variație bruscă a gradientului de temperatură datorită căldurii latente de început de solidificare. Scăderea temperaturii continuă până la cotul de sfârșit de solidificare la temperatura de 1330 la un timp de 250 sec. Curba aferentă punctului 3 evidențiază influența răcitorului asupra solidificării, are o creștere continuă ajungând la aproximativ 800⁰C după 360 secunde.

3.7.2.1.9. Concluzii parțiale asupra turnării unei forme cu răcitor

În cazul simulării turnării unei bile din oțel cu conținut ridicat de mangan s-a urmărit plasarea retasurii în interiorul piesei, dar asigurându-se o grosime de material în jurul retasurii astfel ca bila obținută să poată fi utilizată în procesele tehnologice. Din figurile 3.26 și 3.27, rezultă că defectul de turnare definit prin criteriile porosity și feeding este plasat în interiorul piesei, grosimea materialului fiind apreciată la 15 – 18 mm pe rază la un diametru de 100 mm, diametrul zonei cu defecte fiind apreciat la 30 - 36 mm. Simularea tehnologiei de turnare a unei singure bile cu răcitor exterior din cupru a demonstrat că este posibilă plasarea defectului în interior, dar din punct de vedere economic turnarea după această tehnologie ar fi foarte costisitoare și productivitatea foarte mică. Aceasta obligă la încercarea altor tehnologii care să fie rentabile din punct de vedere financiar și al productivității

3.7.3. Propuneri de rentabilizare

Pentru ca producția de bile din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan să devină eficientă s-a încercat și simularea altei variante tehnologice și anume simularea turnării bilelor în forme cu 6 bile, în forme din nisip fără răcitor, dar în ideea obținerii aceluiași rezultat și anume plasarea defectului de turnare în interiorul bilei.

3.8. Simularea turnării bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan în forme din nisip, cu 6 bile, cu maselotă

3.8.1. Determinarea parametrilor maselotei și a rețelei de turnare

Relațiile dintre forma maselotei și dimensiunile ei trebuie să fie stabilite astfel încât la o grosime dată a maselotei aceasta să aibă suprafața de răcire minimă. Maselotele cilindrice sunt cele mai eficiente. [18] Calea cea mai corectă pentru determinarea timpului și a vitezei de răcire și solidificare a pieselor turnate, este calculul cantității de căldură cedată mediului înconjurător (formeii) de masa în răcire a metalului. Această cantitate de căldură (pentru un metal și o formă cu o compoziție și o temperatură dată) depinde de conținutul de căldură al piesei turnate (de masa sau volumul piesei V) și de suprafața de răcire (S).

Timpul de solidificare depinde de raportul:

$$M_0 = \frac{V}{S} [cm] \quad (3.7)$$

unde:

- M_0 este modulul piesei turnate [cm];
- V este volumul piesei turnate [cm^3];
- S este suprafața piesei turnate [cm^2].

$$V = 6 \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right) = 6 \left(\frac{4}{3} 3,14 * 5^3 \right) = 3138 cm^3$$

$$S = 6 (4 \pi R^2) = 6 (4 * 3,14 * 5^2) = 1884 cm^2$$

$$M_0 = \frac{V}{S} = \frac{3138}{1884} = 1,66 [cm]$$

Masa piesei turnate:

$$M_p = 3138 * 0,0077 = 24,162 kg ; 0,0077 \text{ este densitatea oțelului.}$$

Diametrul maselei în funcție de modulul piesei turnate M_0 și în funcție de masa piesei turnate, se alege din graficul 3.32. [42]

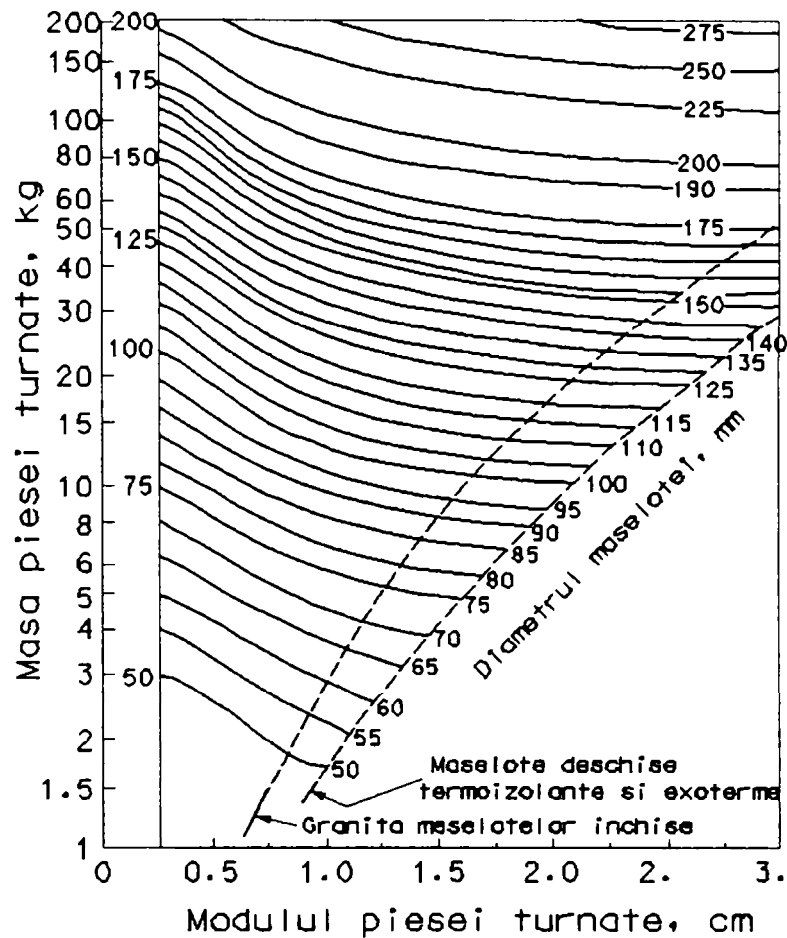


Figura. 3.32. Nomogramă pentru determinarea diametrului maselei

Valoarea diametrului maselei aleasă este din figura 3.32 este de $d_t = 88 \text{ mm}$

Din figura 3.33 ,se aleg ceilalți parametri ai maselei:

- h_a înălțimea activă a maselei; $h_a = d_t = 88 \text{ mm}$
- h_r înălțimea de rezervă a maselei; $h_r = d_t/4 = 22 \text{ mm}$.
- $h_t = h_a + h_r + h_l = 88 + 22 + 60 = 210 \text{ mm}$
- diametrul alimentatorului $d_m = 2M_0 = 2 \cdot 1,66 = 3,32 \text{ cm}$; se adoptă 33 mm;
- piciorul maselei $h_l = 4M_0 = 4 \cdot 1,66 = 6,64 \text{ cm}$; se adoptă $h_l = 60 \text{ mm}$;

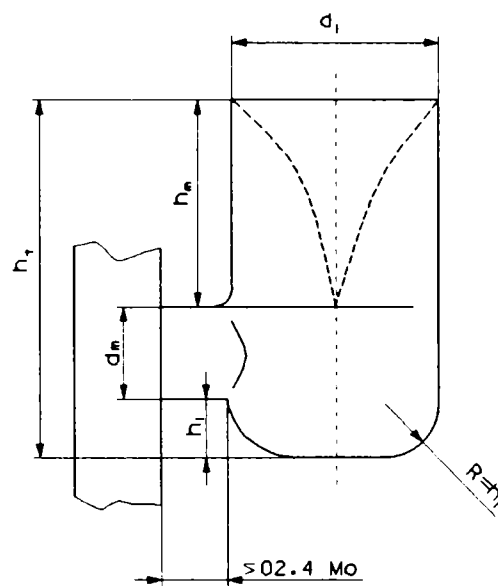


Fig. 3.33 Calculul elementelor maselei izolată cu protecție termoizolantă. [39]

În continuare, cunoscându-se datele determinate mai sus, se poate trece la simularea turnării bilelor prin metoda turnării în forme de 6 bile. Aceasta presupune parcurgerea următoarelor etape:

- preprocesarea;
- postprocesarea;
- simulările propriu - zise.

3.8.2. Simularea turnării în forme cu 6 bile

3.8.2.1. Preprocesarea geometriei piesei

În baza calculul de mai sus s-a proiectat forma de turnare cu 6 bile. Dimensiunile formei de turnare sunt prezentate în figura de mai 3.34. În jurul părții active a maselei s-a montat un inel termoizolant cu diametru de 135 mm și o înălțime aferentă părții active a maselei de 110 mm.

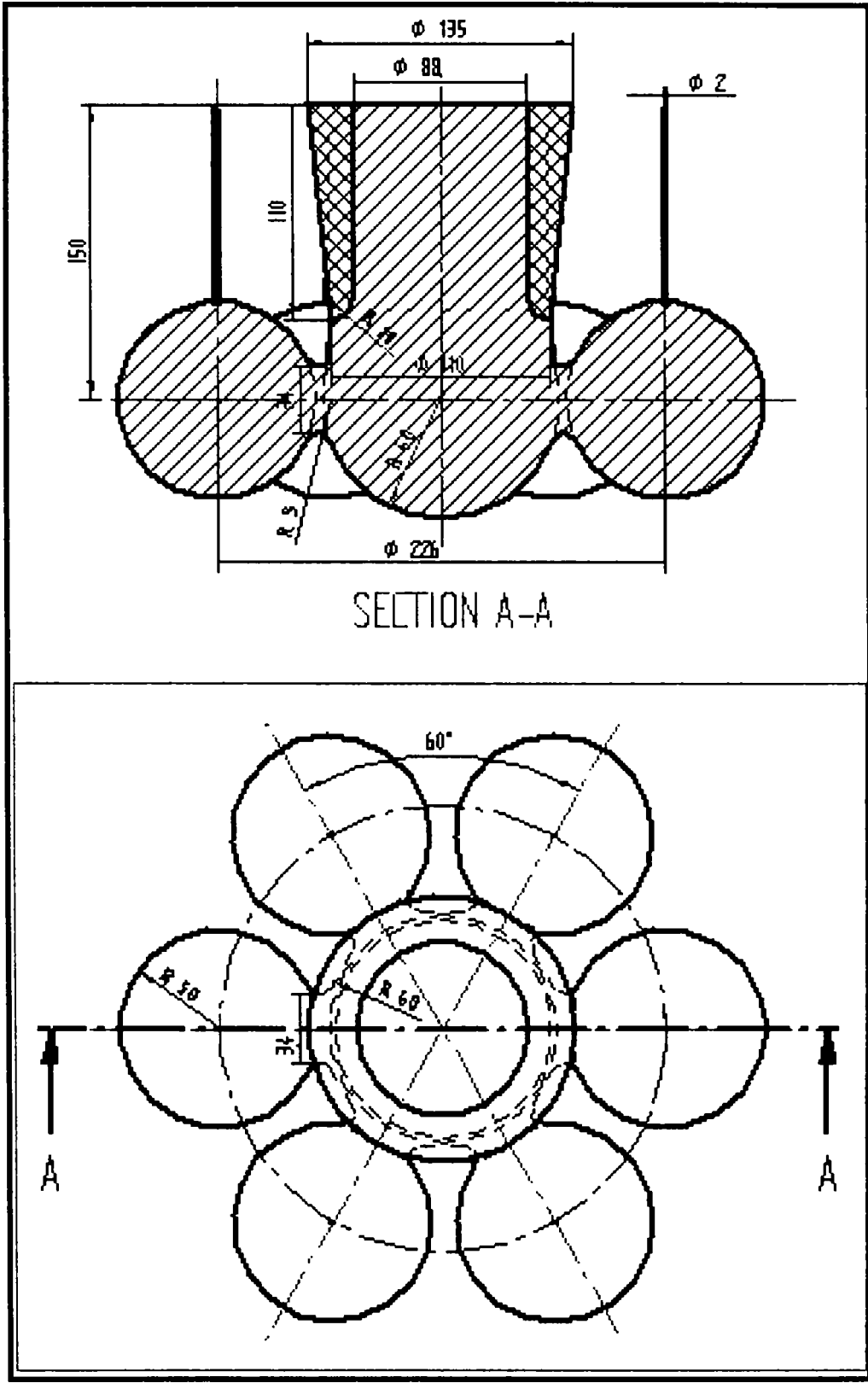


Fig. 3.34. Desenul formei de turnare.

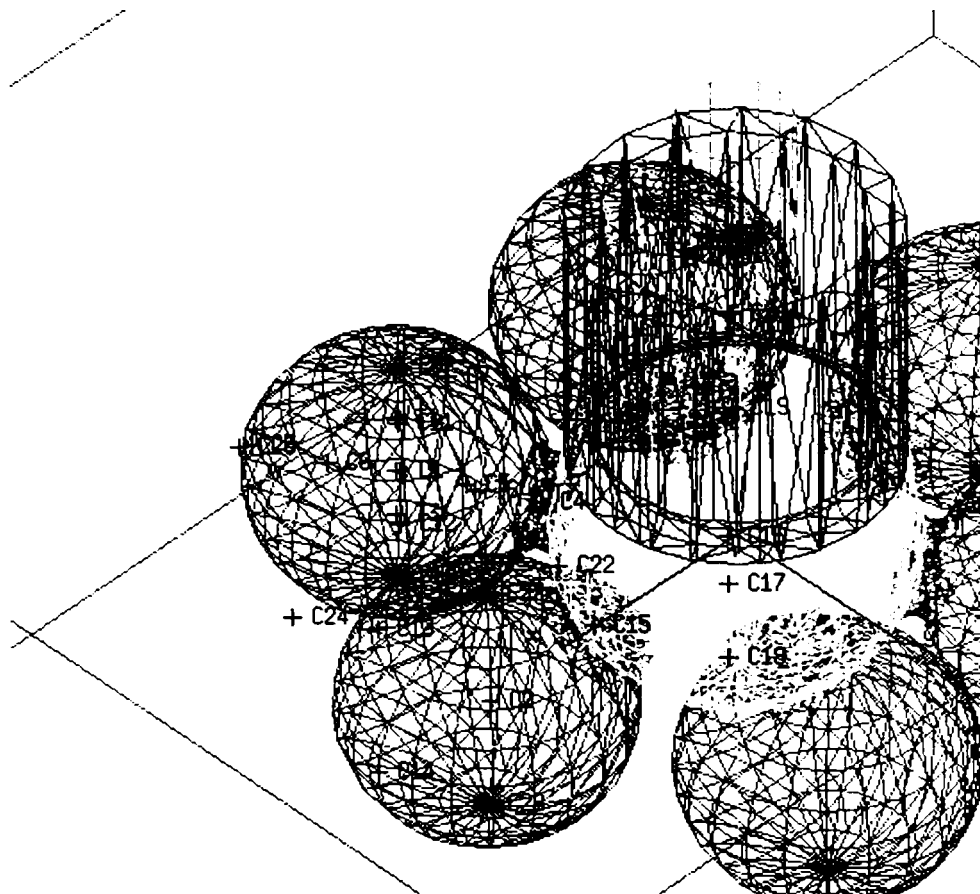


Fig. 3.35. Discretizarea geometriei forme de turnare, desenată în CAD

Observație: În magmasoft, comanda cutbox, în cazul sistemelor de turnare simetrice, permite efectuarea simulării numai pentru 1/4 din sistem pentru a câștiga timp. Ca urmare a utilizării acestei comenzi simularea turnării forme cu 6 bile este reprezentată doar pentru 1/4 din formă.

3.8.2.2. Postprocesarea. Prezentarea rezultatelor

Tabelul 3.9. Definirea grupului de materiale.

Definirea materialelor			
Grup de materiale	Materialul	Volumul [cm ³]	Start T [°C]
Aliaj turnat	T120CrMn130	3040,798	1460,00
Jet	T120CrMn130	47,316	1460,00
Maselotă	T120CrMn130	1543,551	1460,00
Rețea	T120CrMn130	39,038	1460,00
Formă	Nisip	63077,773	20,00
Izolator termic		348,275	20,00

3.8.2.3. Simularea umplerii

În tabelul 3.10. sunt definiți parametrii umplerii, iar în figurile 3.36, 3.37 și 3.38. sunt prezentate formele cu diferite rate de umplere.

Tabelul 3.10. *Definirea parametrilor umplerii*

Definirea umplerii	
Solverul utilizat: 4	
Direcția de umplere: -z	
Umplerea se face cu un jet, depinde de: rata de umplere	
Timpul [s]	Rata de umplere [cm ³]
0,10	2590,0200
3,00	1820,9399

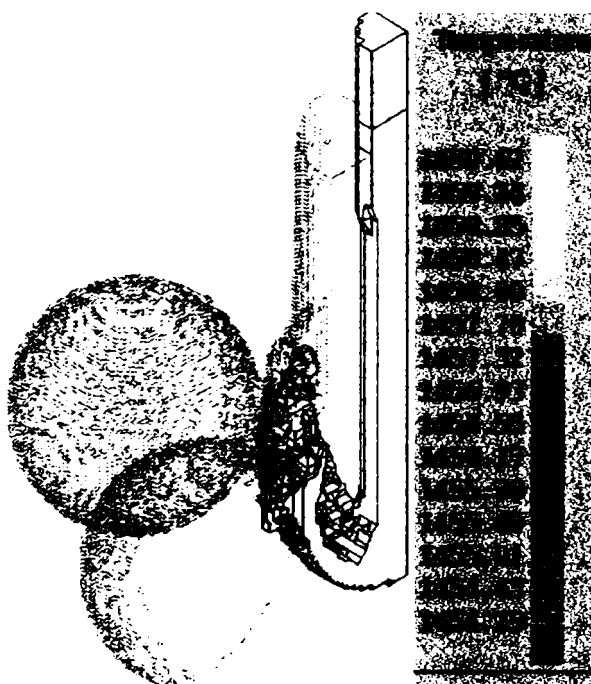


Fig. 3.36. Simularea umplerii la 10%.

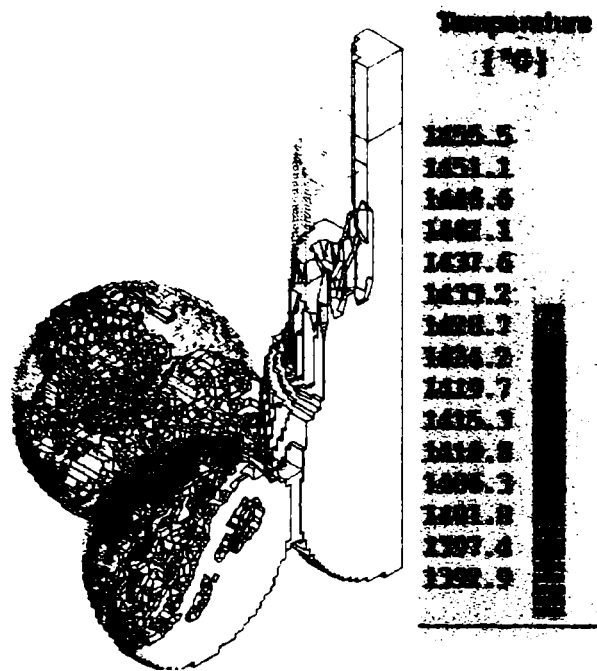


Fig. 3.37. Simularea umplerii a 50% din volumul formei.

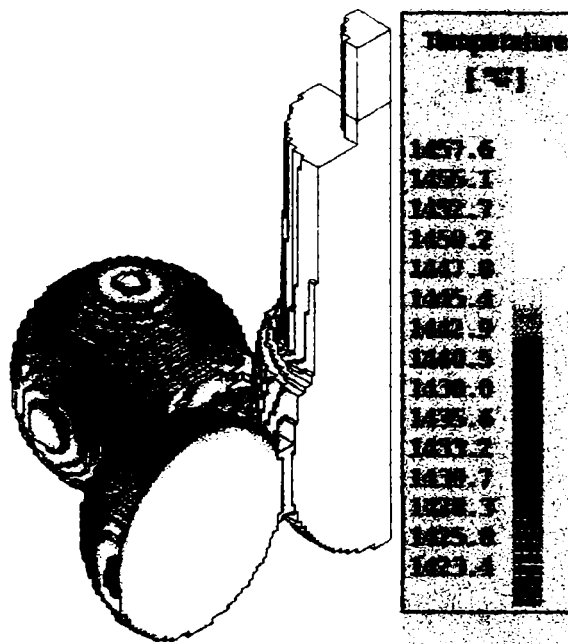


Fig. 3.38. Simularea umplerii a 100% a volumului formei de turnare.

3.8.2.4. Simularea solidificării

Pentru simularea solidificării s-au ales intervalele de solidificare a 10,35%, 50,48% respectiv 90,03% din volumul forme. Figurile și tabelele din acest subcapitol prezintă acest fenomen.

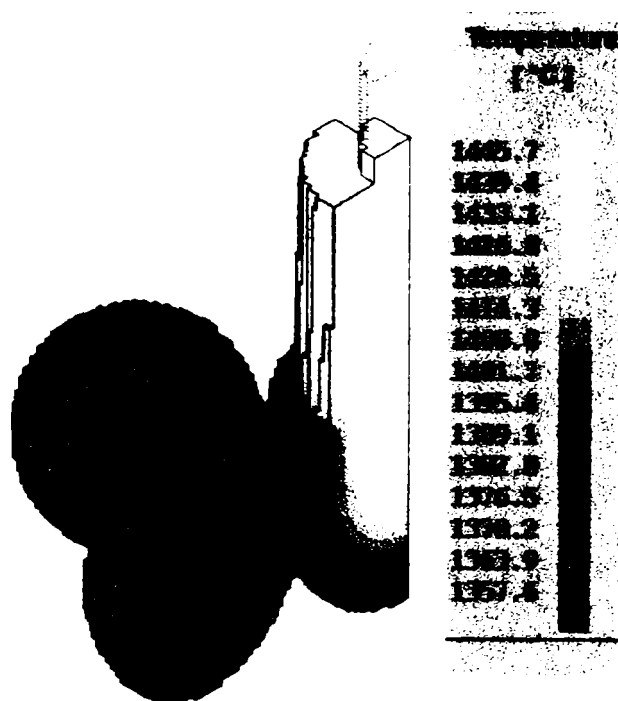


Fig. 3.39. Simularea solidificării a 10,35% din volumul forme.

Tabelul 3.11. Repartiția temperaturii în forma solidificată 10,35%

TEMPERATURA [°C]			
Materialul	Minim	Maxim	Media
Oțel turnat	1351,58	1407,39	1383,02
Forma	67,611	1388,27	105,459
Termoizolator	100,34	1358,88	626,779
Jet	1451,24	1453,42	1452,34
Maselotă	1358,28	1451,49	1417,27
Rețea	1364,91	1387,68	1381,52

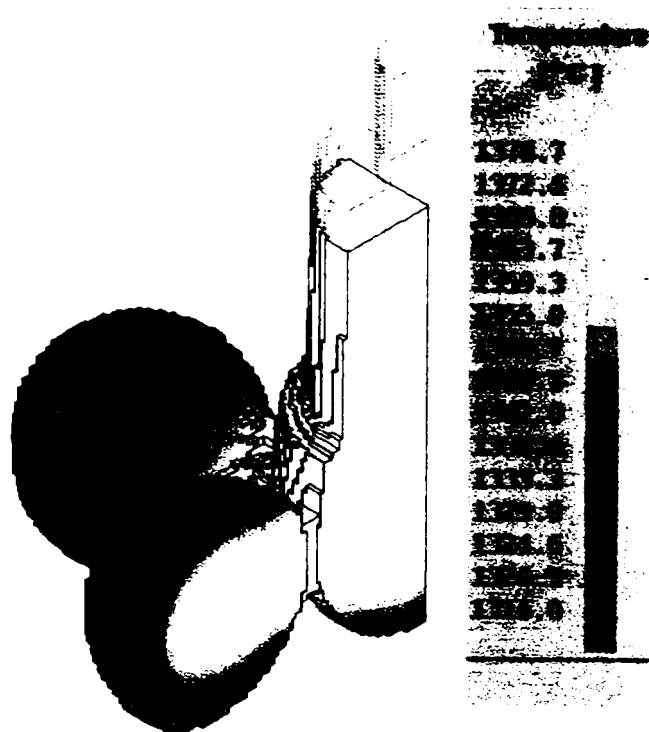


Fig. 3.40. Simularea solidificării a 50,48% din volumul piesei

Tabelul 3.12. Repartiția temperaturii în forma solidificată 50%

TEMPERATURA [°C]			
Materialul	Minim	Maxim	Media
Oțel turnat	1327,10	1380,41	1357,82
Forma	49,414	1378,76	147,258
Termoizolator	183,506	1357,93	831,366
Jet	1400,39	1404,77	1403,12
Maselotă	1340,68	1399,18	1379,84
Rețea	1397,90	1378,91	1376,84

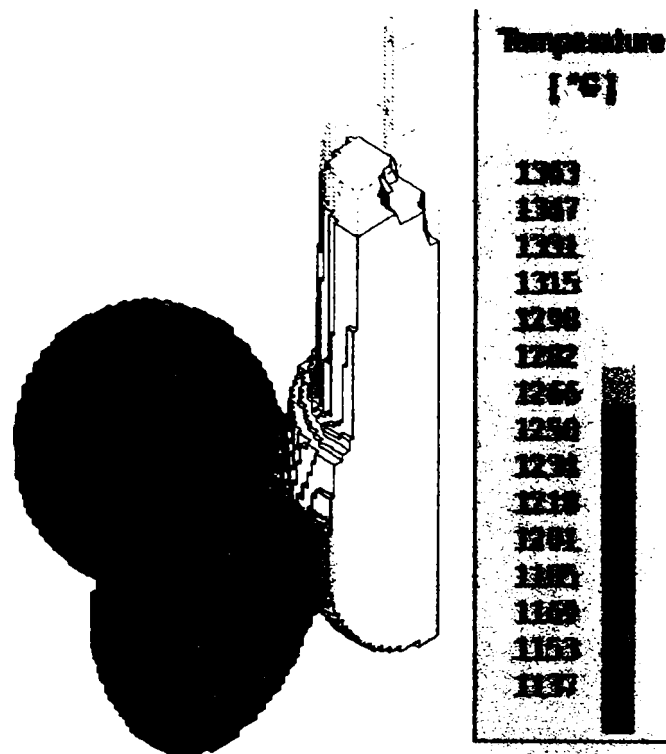


Fig. 3.41. Simularea solidificării a 90,03% din volumul piesei

Tabelul 3.13. Variația temperaturii în forma solidificată 90,03%

TEMPERATURA [°C]			
Material	Minim	Maxim	Media
Aliaj turnat	1119,15	1257,30	1155,90
Forma	34,686	1336,92	210,459
Izolator termic	243,169	1362,92	955,950
Jet	1333,15	1342,83	1337,56
Maselotă	1276,87	1379,34	1351,98
Rețea	1216,08	1362,82	1265,98

În tabelul de mai sus a fost prezentată variația temperaturii în componentele sistemului de turnare definit anterior, după o solidificare de 90,03% a metalului lichid turnat în formă.

Cele mai mari temperaturi sunt în maselotă cu o medie de 1351°C și cele mai mici sunt în forma de turnare care are o temperatură de 34,686°C la exterior și 1336°C la contactul cu metalul turnat. Izolatorul termic are la exterior o temperatură de 243,169°C iar în zona de contact cu metalul 1362°C.

Temperatura medie de 1351°C din maselotă arată faptul că ultima parte care

va solidifica este maselota, fapt ce apare prezentat prin criteriile hotspot și feedmode (figurile 3.46 și 3.47).

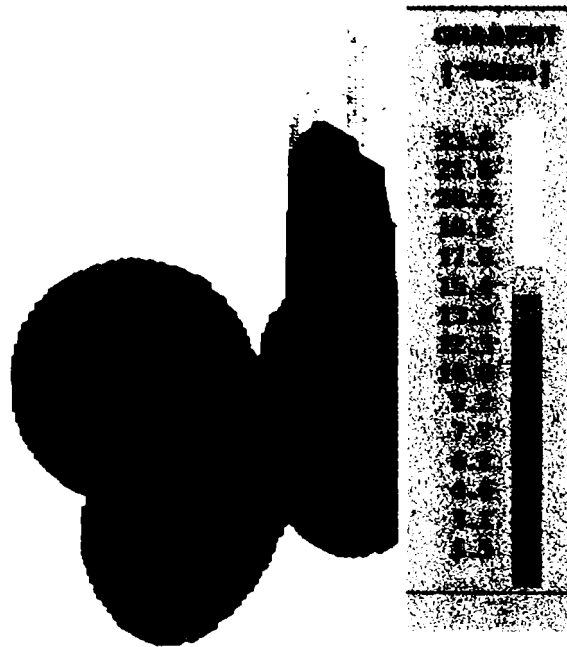


Fig. 3.42. Variația gradientul de temperatură

Cel mai mare gradient (figura 3.42) de temperatură se observă la partea superioară a maselotei între metalul lichid și mediul înconjurător precum și între inelul termoizolant și mediu. Schimbul de căldură are loc și între piesa turnată și forma de turnare dar la valori mult mai mici.

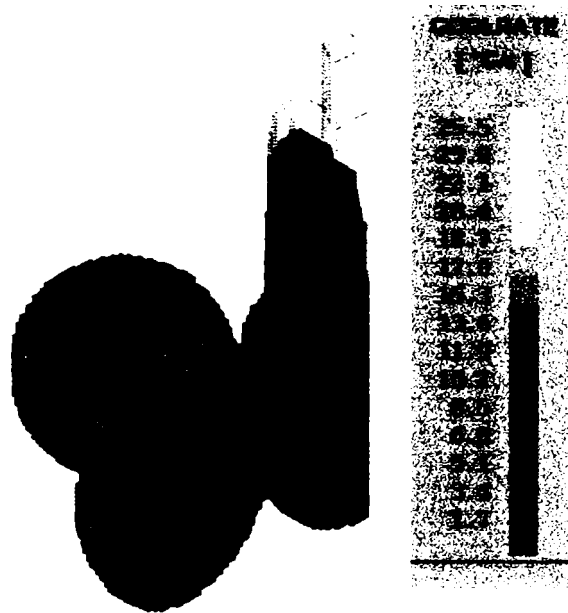


Fig. 3.43. Prezentarea criteriului coolrate (rata de răcire) [$^{\circ}\text{C/s}$]

Rata de răcire (figura 3.43) are valori minime în piesă și între piesă și formă, valorile maxime fiind între masele și mediu.

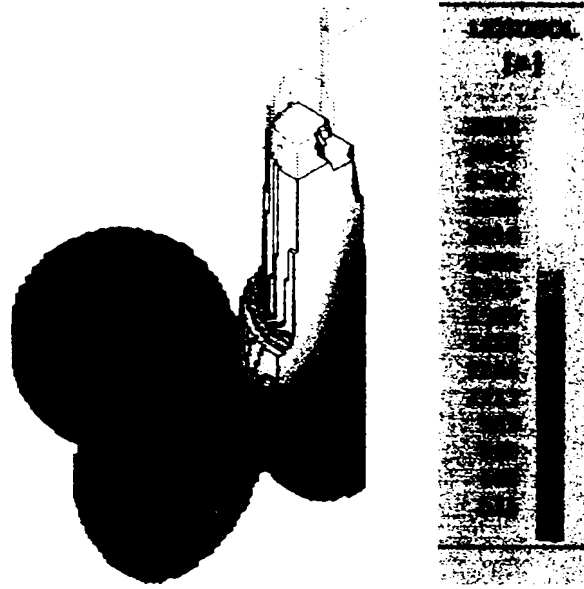


Fig. 3.44. Presentarea criteriului liqtosol (trecerea de la lichid la solid) [s].

Trecerea de la lichid la solid (figura 3.44) se produce cel mai rapid în piesa turnată, solidificarea cea mai lentă se produce în masele.

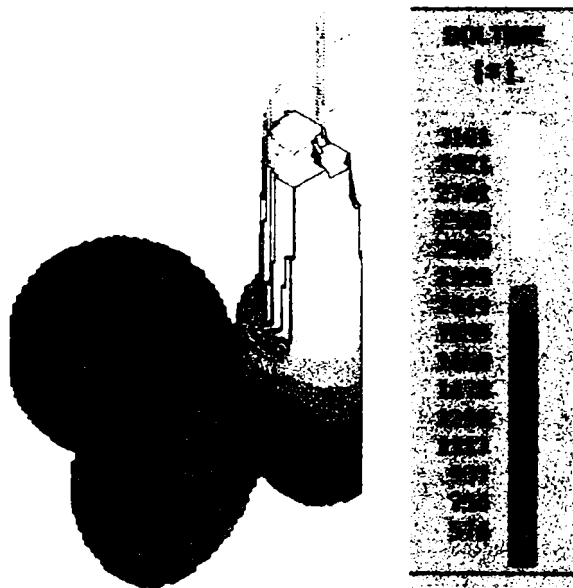


Fig. 3.45. Presentarea criteriului soltime (timpul de solidificare) [s].

Valoarea cea mai mică a timpului de solidificare (figura 3.45) este în piesa turnată și mai exact în zona de contact cu forma de turnare, crescând către piciorul maselotei și către partea superioară a maselotei.

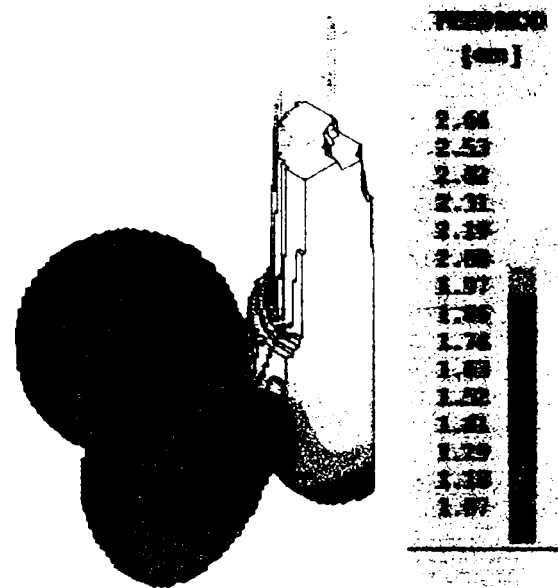


Fig. 3.46. Presentarea criteriului feedmode (modulul termic) [cm].

Față de simularea turnării unei bile cu răcitor criteriul feedmode prezintă o diferență. Criteriul modulului termic (feedmode) (figura 3.46) este exprimat în cm și a fost conceput pentru o mai bună înțelegere a condițiilor termice în cadrul turnării, lucru ce permite o alegere corespunzătoare a alimentatorului, pentru a vedea dacă se poate obține o solidificare direcționată către alimentator.

În mod normal cele mai mari valori trebuie să fie în alimentator, valori care să descrească apoi către partea inferioară. După cum se observă valoarea cea mai mare (2,64 cm) (figura 3.46) este în partea superioară a maselotei, care joacă și rol de alimentator, cea mai mică valoare (1,18 cm) fiind la partea inferioară.

Valorile afișate prin criteriul modulul termic influențează poziția criteriului hotspot, respectiv faptul că zona cea mai caldă unde alimentarea macroscopică mai este posibilă, să fie plasată la partea superioară a alimentatorului. După analiza criteriilor prezentate anterior, teoretic, dimensionarea maselotei și a rețelei de turnare a fost făcută corect.

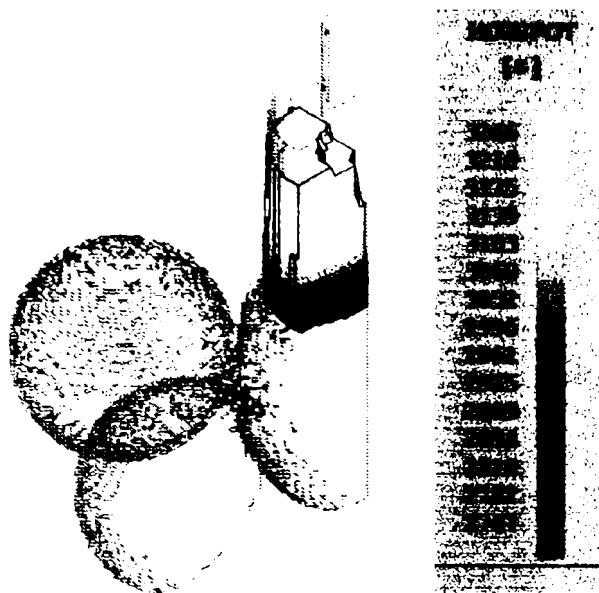


Fig. 3.47. Presentarea criteriului hotspot (zone calde) [s].

Prin criteriul hotspot (figura 3.47) zona cea mai caldă din piesă se găsește în maseletă și mai exact în zona de acțiune a inelului termoizolant.

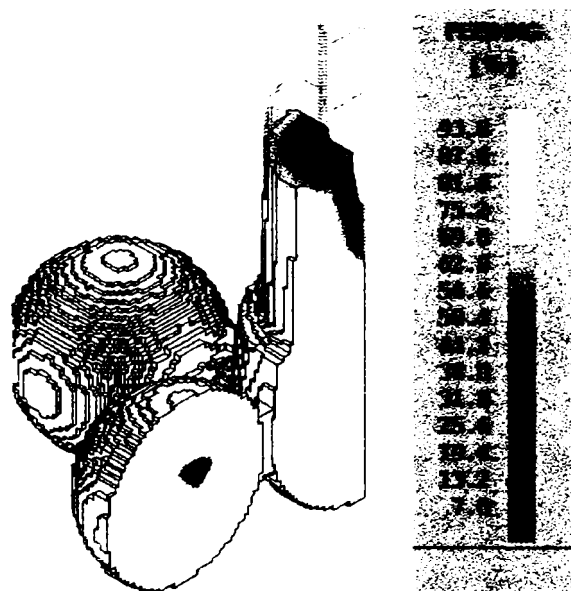


Fig. 3.48. Presentarea criteriului feeding (calitatea alimentării) [%].

În urma solidificării piesei rezultă plasarea a două defecte de turnare; unul în interiorul bilelor, criteriul feeding (figura 3.48) cu o formă aproximativ sferică în

piesa turnată (bila) și al doilea plasat în partea superioară a maselei, cu o formă conică.

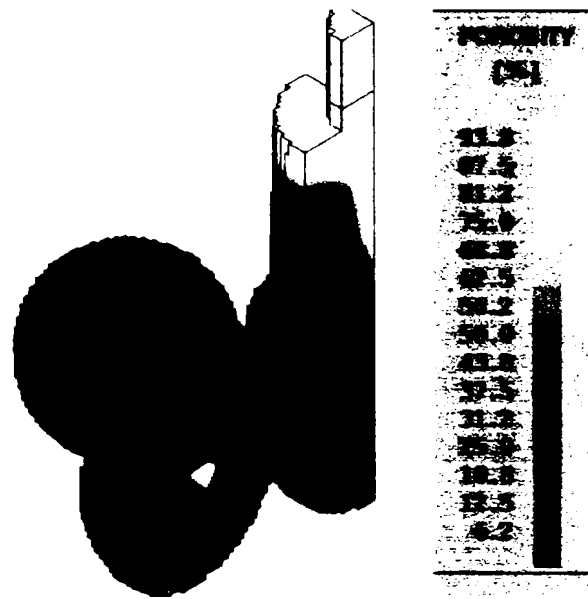


Fig. 3.49. Presentarea criteriului porozitate (porosity) [%]

Criteriul porosity (figura 3.49) este inversul criteriului feeding. Defectele de turnare definite prin acest criteriu sunt plasate în interiorul bilelor și la partea superioară a maselei.

Pentru studiul de față este important ca prin simulare defectul de turnare să se găsească în interiorul piesei.

3.8.2.5. Simularea variației principalilor parametri ai umplerii și solidificării

Ca și în cazul simulării turnării unei bile în preprocesor s-au stabilit puncte de control a parametrilor umplerii și solidificării. Dată fiind complexitatea formei numărul de puncte stabilite este mult mai mare și anume 28 pe desen, stabilite de fapt de către Magmasoft și 9 puncte au fost alese de noi pentru prezentarea rezultatelor, deoarece 29 de puncte sunt foarte greu de interpretat din cauza codului culorilor. Variația vitezei de umplere și a temperaturii în timpul umplerii și solidificării piesei sunt redate în figurile 3.50, 3.51 și 3.52.

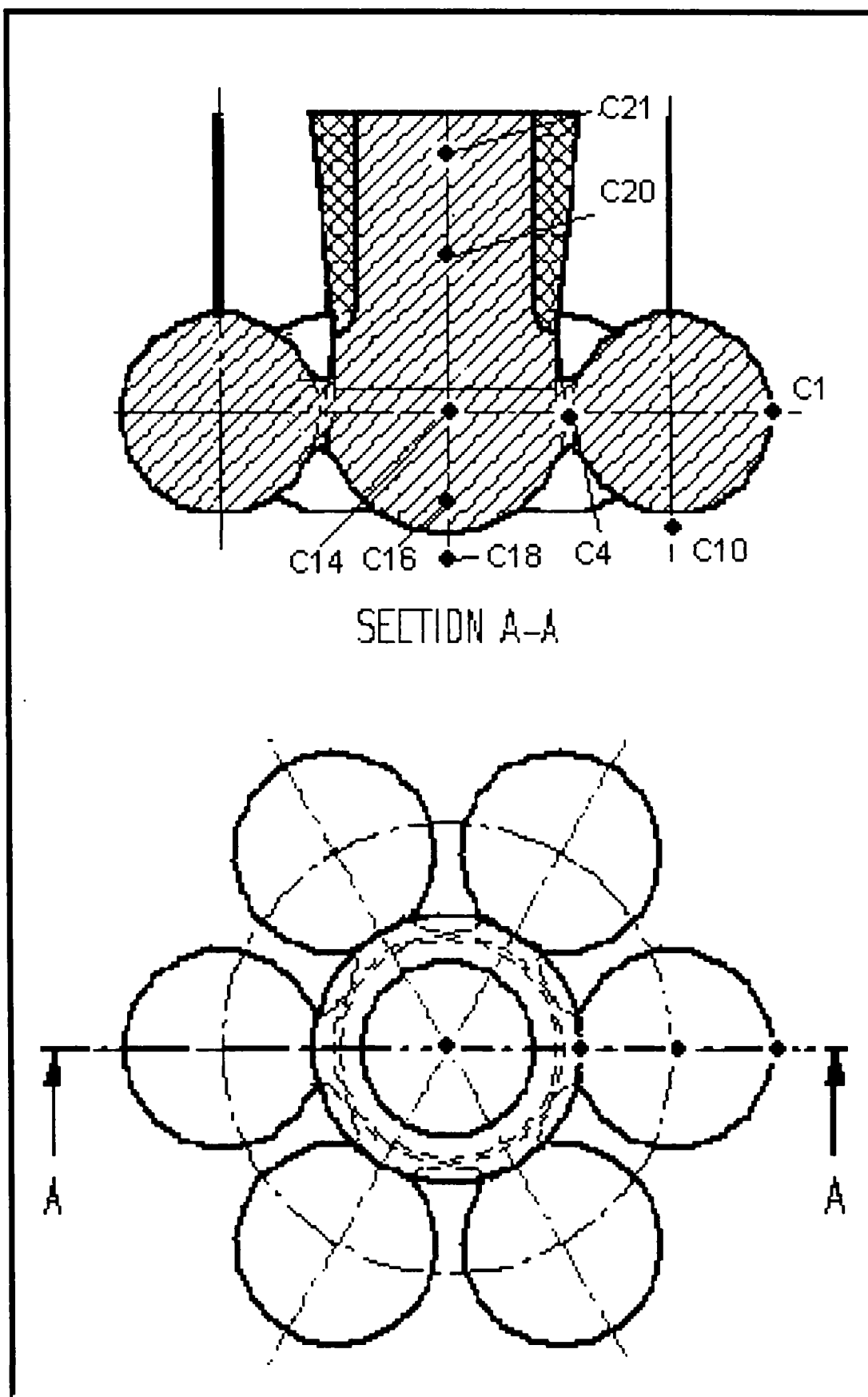
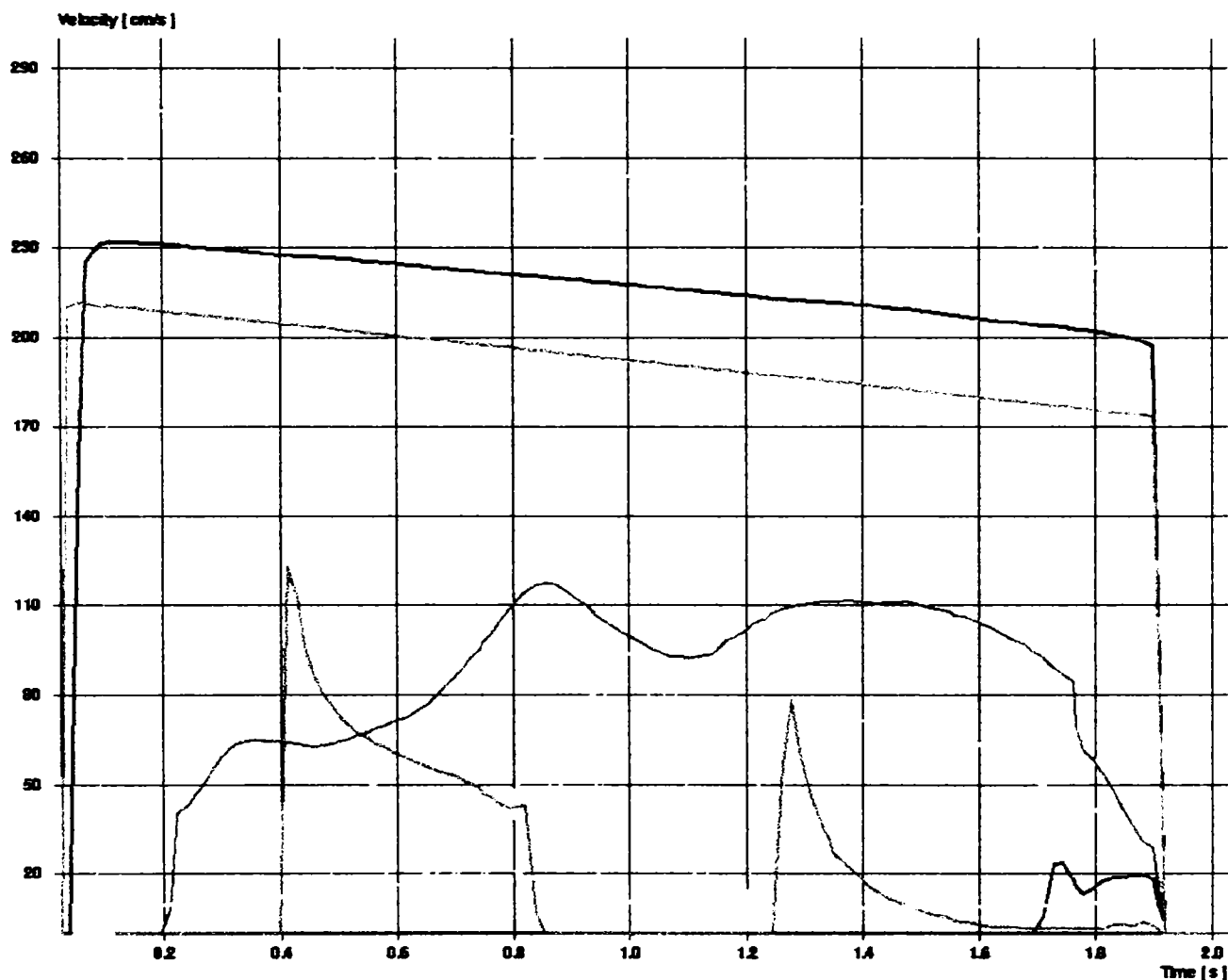


Fig. 3.50. Poziția punctelor de control a umplerii și a temperaturii.

Punctele alese sunt cele corespunzătoare pozițiilor C 1, C4, C10, C14, C16, C18, C20, C21, din figura 3.50. S-a ales această variantă de reprezentare a punctelor de control deoarece pe desenul prezentat prin mesh-are, pozițiile acestor puncte se disting foarte greu.

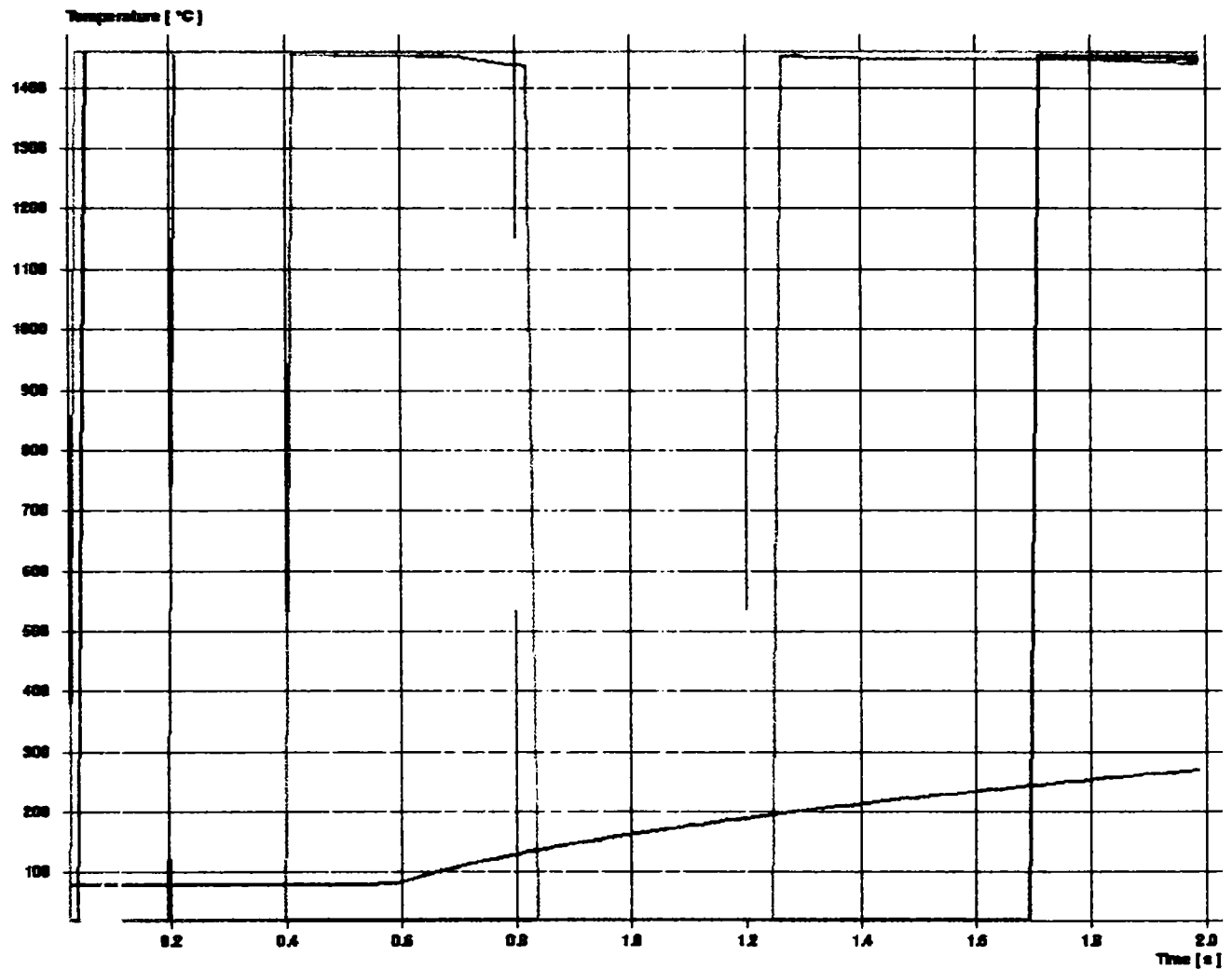


Information						
1:	4:	7:	10:	13:	16:	19:
2:	5:	8:	11:	14:	17:	20:
3:	6:	9:	12:	15:	18:	21:

Fig. 3.51. Simularea vitezei de umplere a formei.

Deoarece se toarnă prin maselotă, umplerea este turbulentă, lichidul ajunge prima dată în punctele C20, C21, mărindu-și energia, implicit viteza de curgere, având un maxim în punctul C16. După un maxim viteza de umplere scade ușor în punctele C21, C20, C14, C16, deoarece turnarea metalului se face din oala de turnare. Scăzând nivelul oțelului din oală scade și presiunea coloanei de metal lichid. Observând viteza metalului lichid din celelalte puncte apare un

comportament neliniar, descendent, datorită geometriei formeii. Este momentul în care metalul lichid începe să curgă lateral în piesă.



Information						
1:	4:	7:	10:	13:	16:	19:
2:	5:	8:	11:	14:	17:	20:
3:	6:	9:	12:	15:	18:	21:

Figura 3.52. Variația temperaturii în timpul umplerii formeii.

Referitor la variația temperaturii în timpul umplerii se observă o creștere bruscă a acesteia în toate punctele, cu excepția punctului C10, punct aflat în peretele formeii.

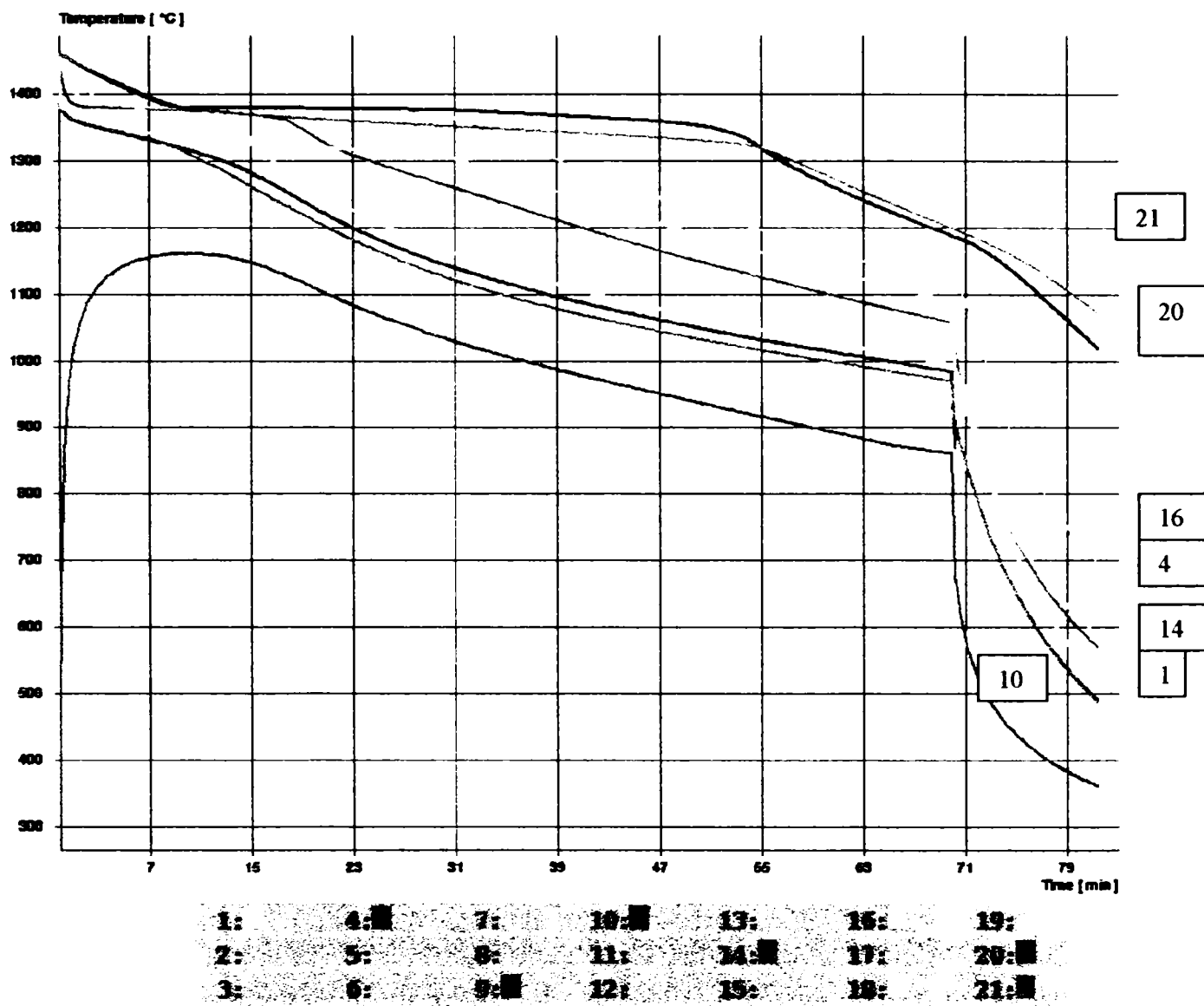


Figura 3.53. Variația temperaturii în timpul răcirii și solidificării piesei.

În acest caz temperatura de turnare a fost de 1460°C; se observă că după umplerea piesei în toate punctele în afară de C10, avem temperaturi apropiate de cea cu care s-a făcut turnarea. Deoarece C10 se află în peretele formei, transmiterea căldurii se face cu întârziere ajungând la un maxim după 8 minute, la temperatura de 1160°C.

În punctul C21, respectiv C20 se observă influența izolatorului termic care menține zona respectivă la temperaturi de peste 1300°C, aproximativ 55 minute, asigurând o răcire dirijată cu ultimul front de metal lichid în maselotă. Tot în aceste puncte dar și în celelalte se observă clar trecerea de la lichid la solid prin schimbarea vitezei de răcire, obținându-se pragurile respective. Acest prag este diferit pentru punctele studiate în funcție de gradientul termic al acestei regiuni. Cu

cât viteza de răcire este mai mică tinzând spre starea de echilibru cu atât mai bine se observă schimbările de fază. Cel mai rapid solidifică metalul corespunzător punctului C1 după aproximativ 7 minute, cel mai târziu punctul 20 după aproximativ 49 minute.

3.9. Concluzii parțiale asupra simulării turnării bilelor din oțel austenitic cu crom.

S-au simulat mai multe variante de tehnologice de turnare a bilelor din oțel austenitic cu crom.

Primele variante tehnologice de simulare s-au efectuat asupra unei forme cu o singură bilă, fără răcitor și fără maselotă, pentru a observa evoluția normală a retasurii.

A doua simulare s-a efectuat asupra unei forme de turnare cu o singură bilă, utilizând răcitori interni. Din punct de vedere a rezultatelor, a fost considerată neinteresantă.

În continuare s-a simulat varianta tehnologică de turnare a unei forme cu răcitor extern din cupru. Rezultatele au fost cele scontate retasura fiind plasată în interiorul piesei, dar din punct de vedere al productivității și rentabilității este inefficientă.

S-a trecut la varianta tehnologică de simulare cu 6 bile. Această metodă a prezentat rezultate mai bune decât în varianta cu răcitor extern de cupru, motiv pentru care s-a detaliat în prezenta lucrare. În continuare se vor prezenta rezultatele practice asupra turnării bilelor din oțel austenitic manganos.

Cap. 4. STUDII ȘI ÎNCERCĂRI PRACTICE ASUPRA TURNĂRII BILELOR DIN OȚEL AUSTENITIC MANGANOS.

Una dintre consecințele principale ale procesului de contracție la piesele din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, turnat, este dezvoltarea retasurii de contracție. Retasurile se formează în fiecare piesă turnată, însă dimensiunea, forma și plasarea lor depind de o serie întreagă de factori. [2], [33].

Retasurile de contracție pot fi de dimensiuni relativ mari „macroretasuri” concentrate într-una sau mai multe retasuri în acea parte a piesei turnate care solidifică cea din urmă. Macroretasurile pot fi și răspândite în tot volumul piesei turnate. Retasurile de contracție de dimensiuni mici sunt invizibile cu ochiul liber și se numesc „microretasuri” .

Ele se formează în intervalele dintre axele dendritelor sau pe marginea granulelor cristalizării primare. Acești pori intercristalini, formați în timpul procesului cristalizării primare, sunt plasați, de preferință, în centrul termic al piesei turnate. Ei sunt deseori legați de așa numita „afânare de contracție” reprezentată de un grup de macroretasuri mărunte care sunt o continuare directă a retasurii de contracție concentrată.

Macroretasurile și microretasurile de contracție slăbesc secțiunea piesei turnate și sunt o cauză a lipsei de compactitate a piesei turnate, ceea ce este cât se poate de important pentru condițiile de lucru sub presiune ale piesei. Aceste retasuri sunt și centre de dezvoltare a crăpăturilor la cald și a concentrării tensiunilor care micșorează proprietățile chimice, fizice și mecanice ale pieselor turnate. Retasura de contracție reprezintă unul dintre defectele principale ale produselor turnate, iar combaterea lor trebuie să se facă până la limitele posibilităților tehnice.

În lucrarea de față au fost abordate mai multe variante tehnologice pentru prevenirea defectelor de turnare (retasuri și crăpături la cald), începând cu faza de elaborare a oțelului, continuând cu simularea turnării și realizarea unei tehnologii de turnare specifică mărcii de oțel T120CrMn130 și a piesei turnate, bile cu diametru 100 mm. Bineînțeles că tehnologia poate fi aplicată și la alte bile cu diametre mai mari sau mai mici.

După cum se amintea în capitolul 1, este preferabil să se obțină o structură austenitică la concentrațiile de 12-13% Mn și 0,8-1,4% C, care asigură rezistențe mari la uzare abrazivă. Conținutul mai ridicat în carbon favorizează formarea de cementită aliată cu mangan, situație care duce la sărăcirea austenitei în mangan și la modificarea stabilității acesteia [55]. Spre a se evita aceasta situație se aliază oțelul cu crom, care are afinitate mare față de carbon și se evita dizolvarea manganului în cementita. Se recomandă o participare a cromului în proporție de 0,6-2,5%, adică se va corela conținutul în crom cu cel al carbonului, utilizându-se raportul $Cr/C = 0,8 - 1,92$, atunci când conținutul în mangan este de 12 – 14% și cel de carbon de 0,7 – 1,4%. [71], [73] [75], .

De asemenea în capitolul 2, tabelul 2.36 este redată variația caracteristicilor mecanice ale oțelului aliat cu Cr comparativ cu oțelul nealiat cu crom.

Din aceste considerente marca propusă este oțelul T120CrMn130, oțel aliat cu Cr. Prin alierea oțelului austenitic manganos cu un procent de 1,5 – 2,5% Cr se reduce cantitatea de piese rebutate prin formarea în structura oțelului a carburilor complexe rezistente la crăpături la cald.

În capitolul 3 s-au realizat mai multe variante de simulare a turnării bilelor de diametru 100mm, din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan marca T120CrMn130, elaborat în cuptorul electric prin inducție cu o capacitate de 250 kg.

Toate variantele, cu excepția primei simulări, au avut ca scop micșorarea retasurii de contracție și poziționarea acesteia în interiorul bilei. Prima simulare s-a efectuat asupra unei bile fără maselotă, pentru a vedea evoluția fenomenului de contracție într-o bilă fără a avea o solidificare dirijată.

4.1. Experiența 1. Analiza solidificării unei bile cu diametrul de 100 mm, turnată din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, în formă din amestec de formare, fără maselotă.

S-au turnat 2 forme din nisip fără maselotă sau răcitor pentru a vedea cum se formează retasura de contracție în piesele din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan marca T120CrMn130 și s-a determinat teoretic și practic timpul de solidificare a piesei.

Pentru măsurarea variației temperaturii metalului în timpul umplerii și solidificării formei în forma de turnare a fost introdusă o termocuplă platin, platin – rodiu, într-un tub de cuarț. Din cauza dimensiunilor mari ale termocuplei (diametru 25 mm), pentru a nu influența condițiile de răcire, în golul formei s-a introdus doar partea

activă a acesteia care are o lungime de 8 mm. Poziția termocuplei este redată în figura 4.1.

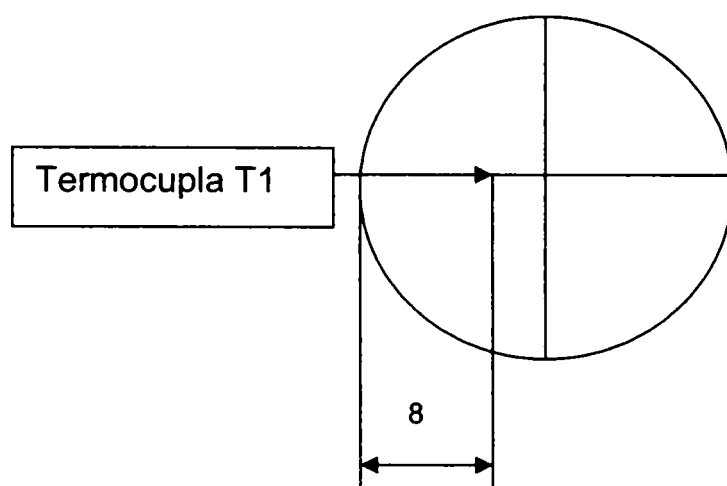


Figura 4.1. Poziția termocuplei în golul formei de turnare.

Pentru măsurarea gradientului termic, în peretele formei de turnare din nisip au fost introduse trei termorezistențe, notate în figura 4.2, cu TR1, TR2 și TR3, la distanțe de 5mm, 10mm, respectiv 20 mm față de suprafața interioară a formei.

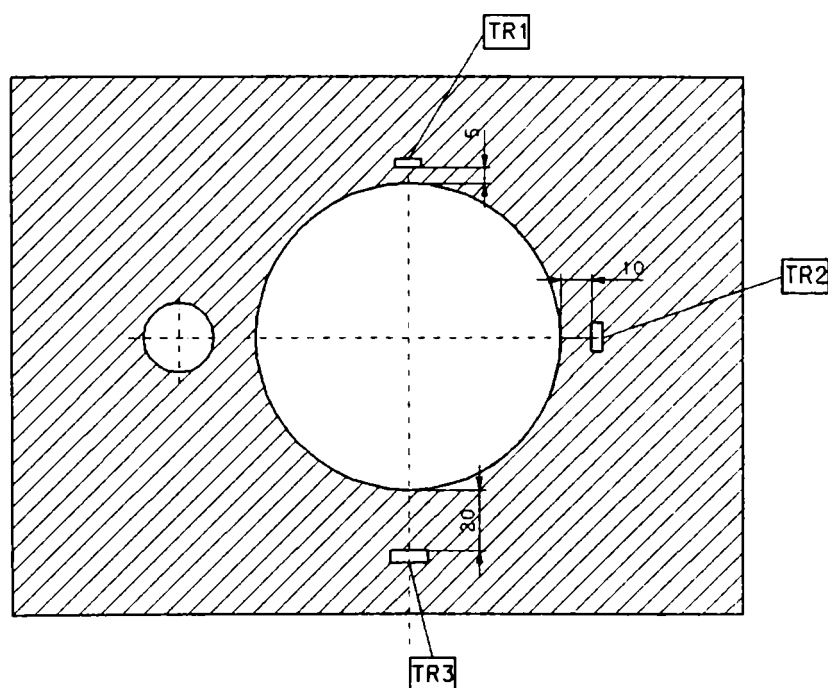


Figura 4.2. Poziția termorezistențelor în peretele formei de turnare.

Pentru achiziția datelor s-a folosit un computer dotat cu placă de achiziție de date care funcționează în baza programului lab VIEW [67].

Pentru achiziția datelor de la termocuple s-au utilizat module de preluare de date de tipul 5B37 [67] și pentru termorezistențe s-au utilizat module de tipul 5B34 RTD [67].

4.1.1. Schema instalației de preluare și interpretare a datelor.

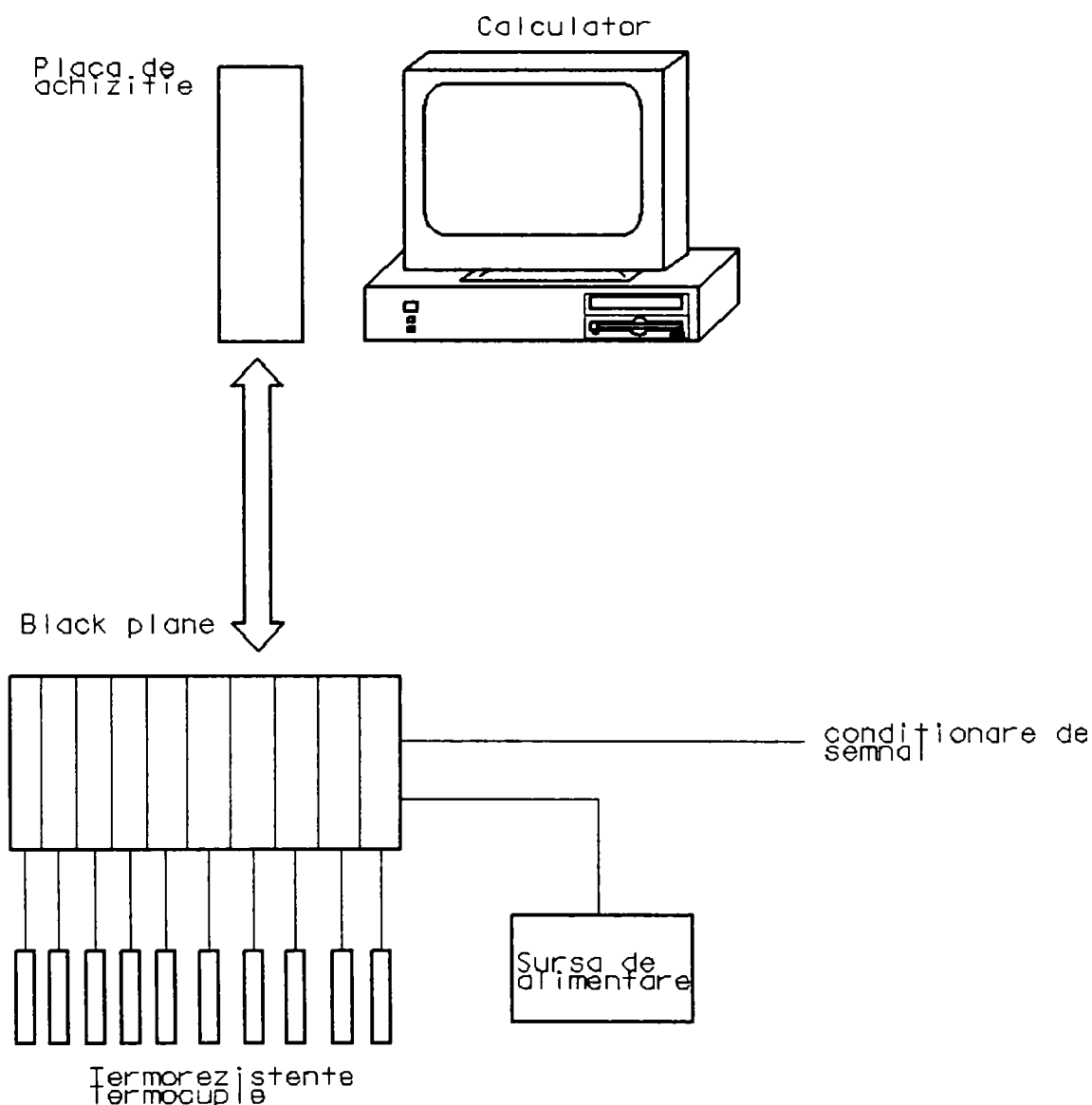


Figura 4.3. Schema instalației de preluare și interpretare a datelor.

Sistemul este prevăzut cu o placă de achiziție introdusă în computer. Această placă de achiziție are intrările de tensiune de la 0 – 10V. Semnalul provenit de la traductorul de temperatură (termorezistența sau termocuplă) trebuie convertit de către modulul de condiționare de semnal. Mărimea fizică ce variază la bornele traductorului de temperatura este rezistența electrică.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

R_t = este rezistența la temperatura t ;

R_0 = este rezistența la temperatura 0°C ;

α = coeficient care depinde de materialul din care este confecționată termorezistența sau termocuplul.

Modulul convertește mărimea fizică, și anume rezistența electrică care se obține la ieșirea din termorezistență sau termocuplu, în tensiune electrică măsurabilă de către placa de achiziție.

4.1.1.1. Prezentarea rezultatelor măsurătorilor.

Condițiile de turnare practice au fost identice cu cele în care s-a efectuat simularea turnării. Temperatura măsurată înainte de deșarjare a fost de 1460°C . Oala de turnare a fost în permanență încălzită, cu flacăra, datorită temperaturii scăzute din hala de turnare (aproximativ 3°C).

Temperatura de turnare măsurată în oală a fost de 1410°C . Timpul de turnare a fost de 2 secunde, umplerea formei s-a făcut printr-o rețea de turnare în sifon. Intervalul de solidificare, după diagrama de echilibru pentru oțelul de compoziția considerată, este :

$$t_{\text{lic}} = 1380^{\circ}\text{C} ; t_{\text{solid}} = 1330^{\circ}\text{C}.$$

$$t_{\text{s}} = t_{\text{lic}} - t_{\text{sol}} = 1380 - 1330 = 50^{\circ}\text{C}.$$

Rezultatele măsurătorilor temperaturii metalului lichid în timpul umplerii formei, solidificării și răcirii piesei, preluate de la termocupla T1, cea mai apropiată de piesă, (figura 4.1), sunt redată în graficul (figura 4.4).

Primul semnal înregistrat este la aproximativ 1 – 2 secunde, față de timpul 01:55.2 secunde, când temperatura ajunge la 1400°C , moment în care oțelul lichid a ajuns în contact cu termocupla. Se produce o scădere a temperaturii de la 1400 la 1390°C , într-un timp aproximativ la 10 – 15 secunde.

În perioada următoare de timp apar două variații bruște ale temperaturii de la 1390 la 1360°C , urmate de o revenire a temperaturii la valoarea de 1390°C . Acest fenomen se produce din cauza variației jetului de oțel, până ce se termină umplerea și a faptului ca termocupla este îmbrăcată într-un tub de cuarț, care în primă fază izolează termic termocupla.

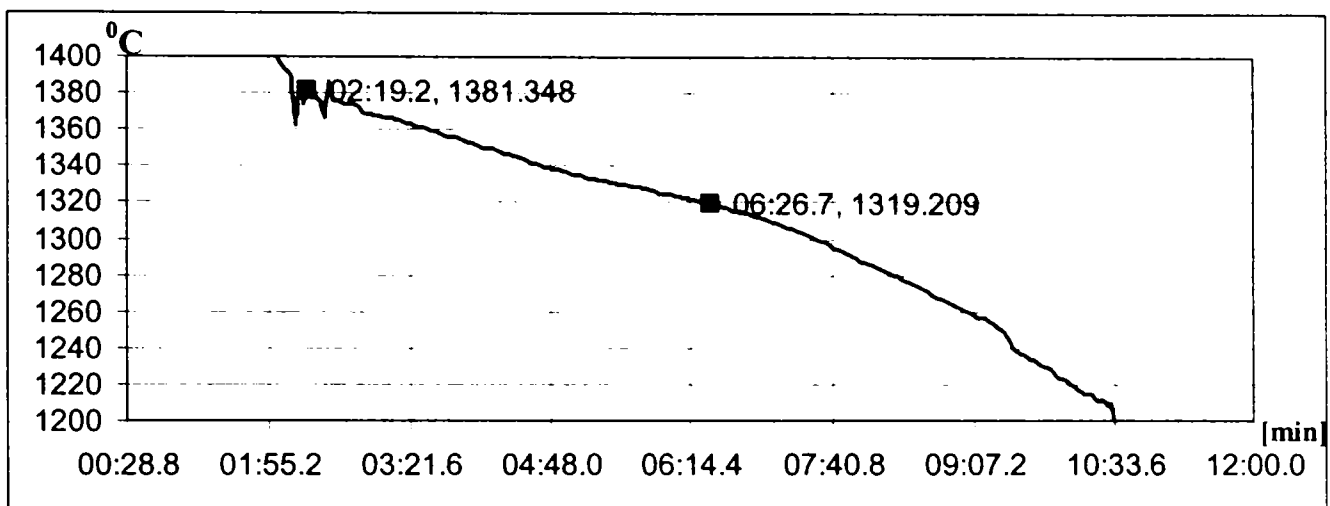


Figura 4.4. Studiul solidificării unei bile turnate din oțelul austenitic manganos marca T120CrMn130.

Inflexiunea pe curbă apare undeva la temperatura de 1330°C , temperatură care se consideră temperatura de sfârșit de solidificare. Solidificarea începe la momentul marcat pe grafic cu valoarea 2 min, 19 secunde corespunzător temperaturii de 1380°C și se termină la 1330°C , momentul 6 minute, durata totală a solidificării fiind de aproximativ 210 secunde, respectiv 3,5 minute.

În baza datelor obținute practic s-a putut realiza și un calcul teoretic al timpului de solidificare.

4.1.1.2. Calculul teoretic al timpului de solidificare a unei bile cu diametru de 100 mm turnată în formă de nisip, fără maseletă din oțelul marca T120CrMn130. Condiții inițiale.

Calculul solidificării unei piese turnate într-o formă executată din amestec de formare se poate efectua după formulele propuse de A. L. Veinik [57]. Aceste formule au fost deduse pentru cazul când datorită unei conductivități termice mai mici a materialului formei, în comparație cu conductivitatea termică a metalului care se solidifică, temperatura pe suprafața interioară a formei ajunge instantaneu la temperatura metalului, iar diferența de temperaturi în metalul însuși, între suprafața și centrul piesei turnate, este infimă.

A.I. Veinik [63], împarte procesul în patru perioade:

- perioada de umplere a formei;
- perioada de transmisie a căldurii de supraîncălzire;
- perioada de solidificare a piesei turnate;
- perioada de răcire a piesei turnate după solidificare.

Scăderea temperaturii metalului în timpul umplerii formei, depinde de factori pe care este destul de dificil să-i luăm în considerare: secțiunea și configurația rețelei de turnare, lungimea canalelor de turnare, durata turnării etc.

Calculul se va efectua numai pentru primele două perioade ale procesului; pentru aceasta vom considera că este cunoscută temperatura medie a metalului după turnarea în formă, cu atât mai mult cu cât la turnarea pieselor de oțel supraîncălzirea metalului peste temperatura la care începe solidificarea, este de obicei mică.

Temperatura inițială a metalului în formă, înainte de solidificare, se poate considera cu o precizie suficientă, ca fiind egală cu valoarea medie dintre temperatura de turnare și temperatura la care începe solidificarea. Pentru determinarea duratei primelor două perioade, A.I.Veinik [63], dă următoarele formule

a) transmisia căldurii de supraîncălzire :

$$\sqrt{t_1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{v}{A} \frac{\gamma_{cl}}{b_0} \ln \frac{t_{lich}}{t_{cr}} \quad \text{în } h^{0,5} \quad (4.2)$$

b) transmisia căldurii de supraîncălzire și a căldurii de solidificare și cristalizare

$$\sqrt{t_2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{v}{A} \frac{\gamma_1 q_{cr}}{b_0 t_{cr}} + \sqrt{t_1} \quad \text{în } h^{0,5} \quad (4.3)$$

unde:

t_1 = durata perioadei de transmisie a căldurii de supraîncălzire, [ore];

t_2 = durata procesului de solidificare și cristalizare (ținând seama de transmisia căldurii de supraîncălzire) [ore];

V = volumul piesei turnate [m^3];

A = aria piesei turnate care vine în contact cu forma [m^2];

$\gamma_1; \gamma_{sol}$ = greutatea specifică aparentă respectiv a metalului lichid solidificat și solid [kg/m^3];

cl = capacitatea calorică a metalului lichid [$J/kg^{\circ}C$];

q_{cr} = căldura de solidificare și cristalizare [$J/kg^{\circ}C$];

t_{cr} = temperatura de solidificare și cristalizare (deoarece cristalizarea oțelului se produce într-un interval mic de temperaturi; în calcule această temperatură este considerată ca fiind constantă) [$^{\circ}C$];

t_{lichid} = temperatura inițială a metalului după turnarea în formă, în °C. Cum s-a menționat mai înainte se poate considera $t_{lichid} = \frac{t_{tur} + t_{cr}}{2}$ [°C] unde t_{tur} este temperatura metalului în [°C] măsurată la turnarea în formă;

$b_0 = \sqrt{\lambda_0 c_0 \gamma_0}$, [J/m² h^{0,5} °C]; (4.3) este coeficientul "de acumulare" sau coeficientul "de inerție termică" a peretelui formei, unde:

- λ_0 este conductivitatea termică , [J/m² h °C];
- c_0 căldura specifică [J/kg °C];
- γ_0 greutatea specifică aparentă a materialului din care este executată forma, [kg/m³].

Din grafic, figura 4.4, se observă că principalul palier de temperatură în timpul solidificării a avut loc la o valoare de aproximativ 1330°C. Aceasta, așa numita „temperatură a palierului solidus” a fost considerată drept temperatura de solidificare t_{cr} la calculul cu următoarele formule, deoarece aceste formule sunt date pentru cazul solidificării metalului la o anumită temperatură constantă.

a. perioada de transmisie a căldurii de supraîncălzire (reducerea temperaturii de la $t_{lichid} = 1400^\circ\text{C}$ până la $t_{cr} = 1330^\circ\text{C}$ (se utilizează formula 4.2)

$$\sqrt{t_1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} 0,0166 \frac{7100 * 0,0451}{5,736} \ln \frac{1400}{1330} = 0,041$$

$$t_1 = 0,041^2 = 0,00168h \approx 0,1 \text{ min} \approx 6,0 \text{ secunde}$$

$$\frac{v}{A} = 0,0166 \text{ ; [m]}$$

din literatura de specialitate [4], s-au adoptat următoarele valori :

$$\gamma_l = 7100 \text{ kg/m}^3 ;$$

$$c_l = 0,0451 \text{ J/kg}^\circ\text{C};$$

$$t_{lichid} = 1400 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ (în fapt temperatura metalului la umplerea formei) ;}$$

t_{cr} = temperatura de solidificare după formule (4.1) și (4.2) a fost considerată plecând de la temperatura constantă de solidificare. Convențional pentru calcul s-a adoptat valoarea $t_{cr} = 1330^\circ\text{C}$.

Pentru forma din nisip s-a adoptat din literatura de specialitate [71]:

$$b_0 = \sqrt{\lambda_0 \cdot c_0 \cdot \gamma} = \sqrt{1,37 \cdot 0,275 \cdot 1500} \approx 24,0 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{h}^{0,50} \text{C}$$

unde:

- coeficientul de conductivitate termică $\lambda_0 = 0,237 \text{ [J/m}^2 \text{ h}^0 \text{ C]}$;
- căldura specifică $c_0 = 0,275 \text{ [J/kg}^0 \text{C]}$;
- greutatea de volum $\gamma_0 = 1500 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$;
- $b_0 = 4,2 - 5,736 \text{ [J/m}^2 \text{ h}^{0,5} \text{C]}$.

b. perioada de transmisie a căldurii de supraîncălzire și a căldurii de solidificare și cristalizare (se utilizează formula 4.3) :

$$\sqrt{t_2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} 0,0166 \frac{7350 \cdot 16,535}{5,736 \cdot 1330} + 0,041 = 0,261$$

$$t_2 = 0,261^2 = 0,0681 \text{ h} = 4,09 \text{ min} = 245 \text{ secunde}$$

În afară de mărimile cunoscute s-au adoptat din literatura de specialitate [63] :

$$\gamma_1 = 7350 \text{ [kg/m}^3 \text{]};$$

$$q_{cr} = 15,53 \text{ [J/kg}^0 \text{C]}.$$

Comparând durata de solidificare 4,09 minute, respectiv 245 secunde, obținută din calcul cu durata obținută experimental aproximativ 3,5 min respectiv 210 secunde, vedem că aceste calcule dau rezultate care concordă cu experiența.

4.1.1.3. Determinarea variației temperaturii în peretele formei de turnare fără maseleto.

Conform figurii 4.2, în forma de turnare au fost montate trei termorezistențe pentru măsurarea variației temperaturii, în peretele formei. Pentru achiziția datelor s-a folosit aceeași instalație.

Cele trei termorezistențe au fost notate cu TR1, TR2, TR3, plasate la distanțe diferite în peretele formei.

Rezultatele variației temperaturii în peretele formei, măsurate cu cele trei termorezistențe sunt prezentate în figura 4.5.

Termorezistența TR1 este plasată cel mai aproape de piesa turnată, la o distanță de 5 mm. Cum era de așteptat această curbă are panta cea mai mare, ajungând undeva la 850^0C după aproximativ 7 minute.

A doua curbă reprezintă variația temperaturii măsurată cu termorezistența TR2, plasată la 10 mm față de suprafața interioară a piesei. Creșterea temperaturii este mai lentă, ajunge la aproximativ 650^0C , după circa 8-9 minute. Diferența dintre cele două curbe este faptul că în timp ce curba TR1 începe să scadă după circa 10

minute, curba corespunzătoare TR2, rămâne constantă aproximativ 23-24 minute, după care scade relativ brusc la 600°C.

Curba corespunzătoare termorezistenței TR3 care este plasată la 20 mm față de suprafața interioară, are o creștere și mai lentă, după circa 5 minute ajunge la valoarea de 100°C, și la valoarea de 500°C după circa 15 minute; rămâne constantă 15 minute după care începe să scadă ușor.

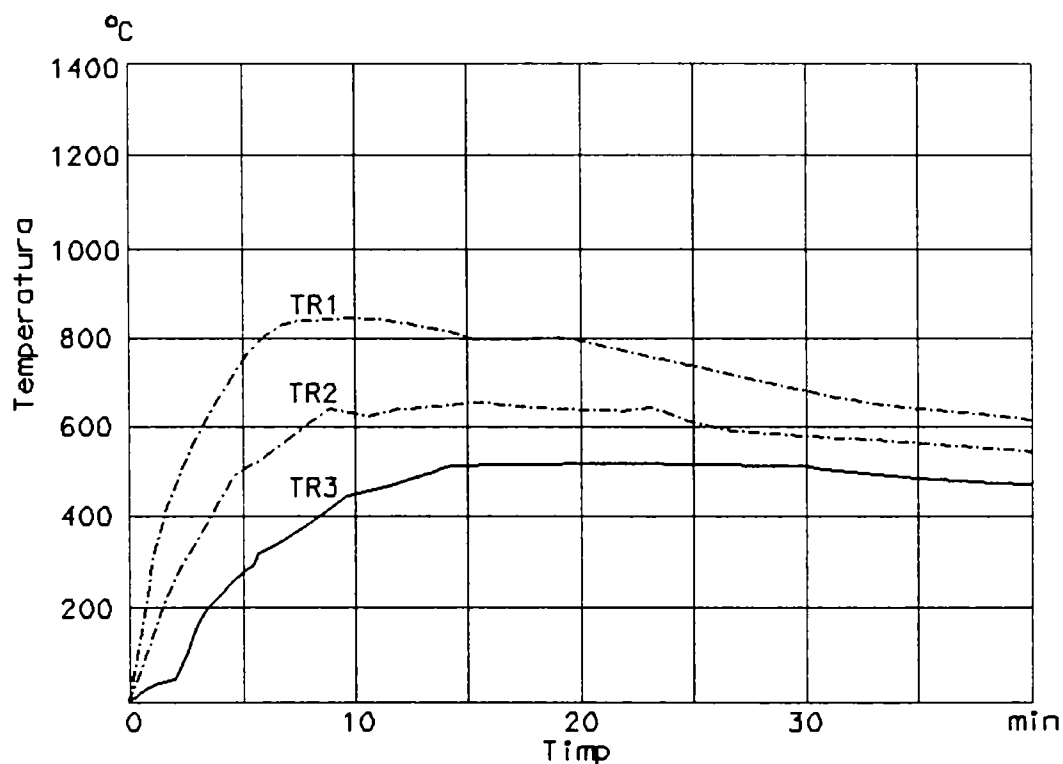


Figura 4.5. Variația temperaturii în peretele forme de turnare fără răcitor.

4.1.1.4. Rezultate practice ale turnării în forma de amestec de formare fără maselotă a bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130.

S-au turnat 2 bile fără maselotă, în forma de amestec de formare cu alimentare prin sifon, în condițiile stabilite prin simulare. Timpul de turnare a fost de 2 secunde.

După turnare și dezbatere piesele au fost tăiate cu discul abraziv în planul vertical de turnare, pentru a observa poziția și forma defectului de turnare.

Cum era de așteptat defectul de turnare s-a plasat la partea superioară a piesei. Fotografiiile din figura 4.6 redau poziția defectului de turnare în piesă.



Figura 4.6. Defecte de turnare interiorul unei bile cu diametru 100 mm, turnate din oțelul marca T120CrMn130, în formă din amestec de formare.

Defectul de turnare este plasat pe diametrul vertical al piesei, înălțimea defectului fiind de aproximativ 65 mm, diametrul maxim pe axa orizontală este de 20 mm. Volumul defectului de contracție, s-a măsurat prin introducerea de motorină cu seringă și este de aproximativ 38 cm³. Cifra este aproximativă deoarece măsurătoarea s-a efectuat pe piesa secționată și doar s-a aproximat grosimea de material pierdută prin tăierea cu discul abraziv. Raportat la volumul piesei turnate, care calculat teoretic este de 523 cm³, volumul defectului reprezintă 7,24% din volumul piesei.

$$V_{def} = \frac{V_{ret}}{V_p} 100 = \frac{38}{523} 100 = 7,24\% \quad (4.4)$$

4.1.1.5. Turnarea bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, în amestec de formare, utilizând răcitori externi.

Din simularea turnării a rezultat că utilizarea unui răcitor în partea superioară a piesei deplasează retasura din partea superioară către centrul geometric al piesei (figura 3.26).

S-au turnat 5 bile din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, realizându-se o solidificare dirijată, prin utilizarea unui răcitor exterior din cupru, plasat la partea superioară a piesei.

Dimensiunile răcitorului au fost alese din literatura de specialitate [s] și anume diametrul calotei 63 mm, volumul răcitorului fiind de 220 cm³.

Și în acest caz au fost făcute măsurători pentru verificarea rezultatelor. S-au montat 4 termocuple pentru măsurarea temperaturii în timpul umplerii și răcirii piesei. Variantele de simulare realizate în continuare au avut scop obținerea unei solidificări dirijate pentru a avea o retasură minimă și plasată în interiorul piesei.

Rezultatul simulării, redat prin criteriile porosity figura 3.26 și criteriul feeding figura 3.27, prezintă defectul de turnare în interiorul piesei. După simulare s-a procedat la verificarea rezultatelor simulări prin încercări practice. S-au turnat 5 bile din oțelul marca T120CrMn130, în forme de nisip, conform tehnologiei de elaborare descrise în capitolul 2, punctul 2.8.

Pentru măsurarea variației temperaturii oțelului, în timpul umplerii și răcirii piesei, în forma de turnare au fost introduse 4 termocuple notate în figura 4.7, cu T1, T2, T3, T4. Termocupla notată cu T1, a fost introdusă în interiorul răcitorului la o distanță de 20 mm față de zona de contact cu suprafața piesei conform figurii 4.7 și fotografiilor din figurile 4.8 și 4.9. S-a folosit același tip de termocuple ca și termocuplele notate cu T2, T3, T4.

Datorită dimensiunilor mari ale termocuplelor, pentru a nu influența procesul de răcire și solidificare a piesei, termocuplele notate cu T2, T3, T4 au fost introduse, ca și în cazul precedent doar 8 mm, în interiorul formei de turnare.

Achiziția datelor s-a făcut cu aceeași instalație de achiziție și interpretare a datelor ca și în cazul turnării bilelor în forma de turnare fără masetotă.

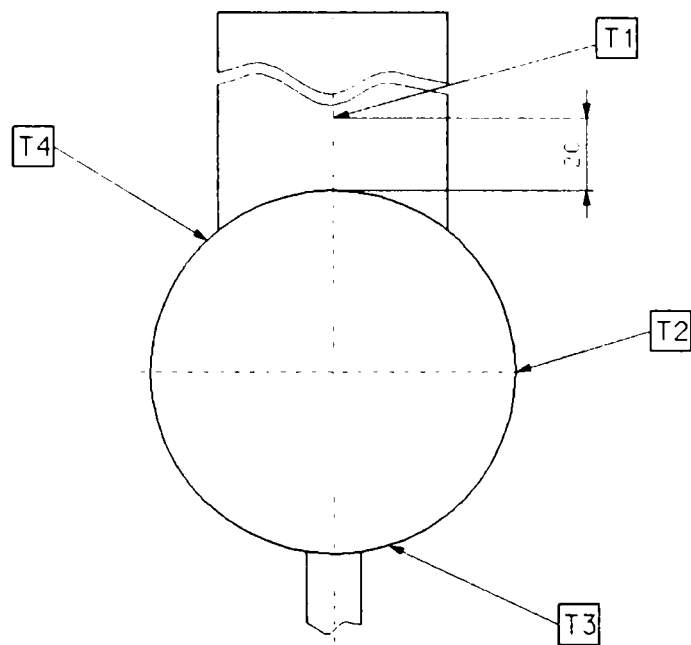


Figura 4.7. Poziția termocuplelor pentru măsurarea variației temperaturii în forma de turnare.



Figura 4.8. Prezentarea bilei după turnare și dezbatere, în varianta cu răcitor.

Tot în figura 4.8 este prezentată poziția termocuplei T1, plasată în interiorul răcitorului. Rezultatele măsurării temperaturii în răcitor sunt prezentate separat, deoarece curba prezintă o pantă ascendentă.

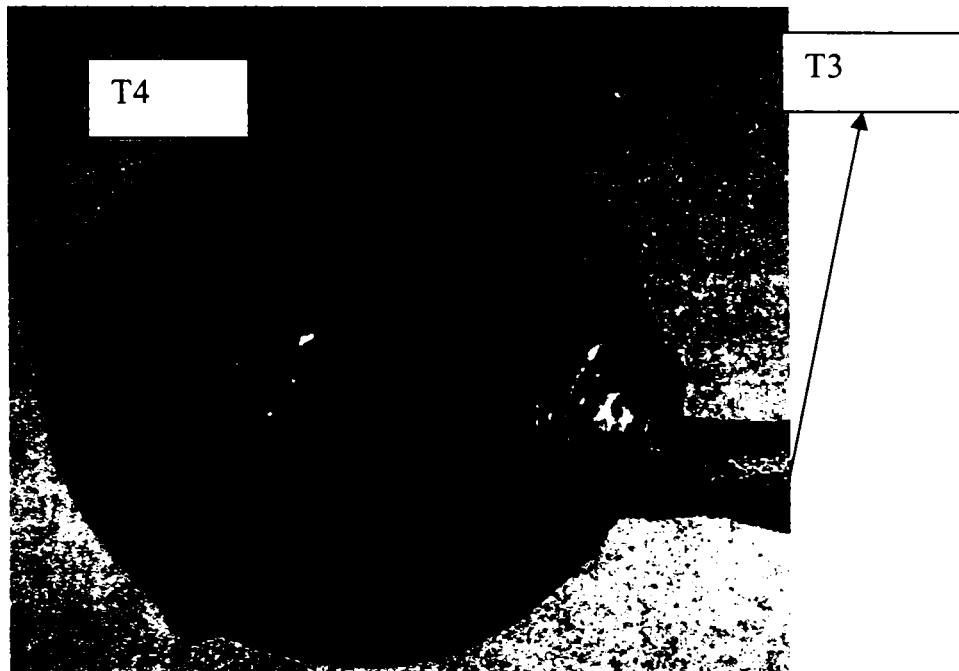


Figura 4.9. Poziția termocuplelor T3, T4, în piesa turnată în varianta cu răcitor. Rezultatele măsurărilor efectuate sunt prezentate în graficele, figurile 4.10 și

4.11.

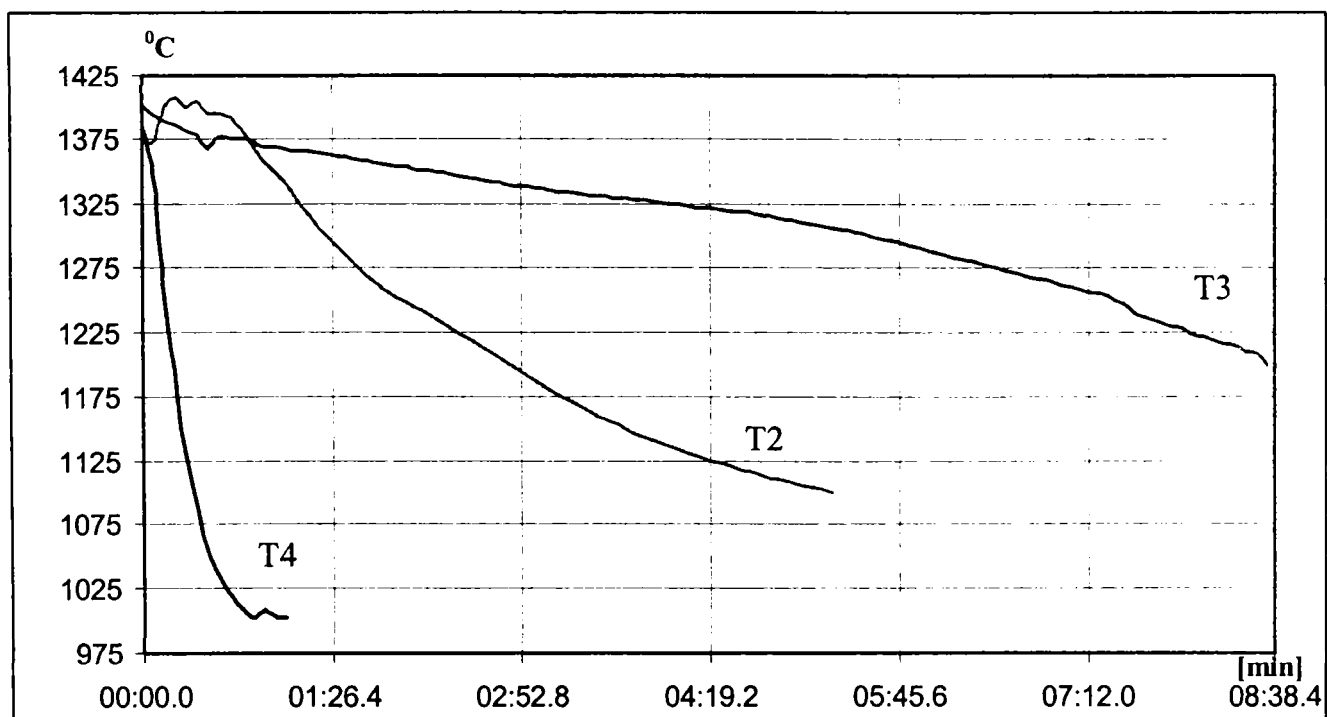


Figura 4.10. Variația temperaturii în timpul turnării și solidificării bilei cu răcitor exterior din cupru conform figurii 4.7.

Temperatura de turnare a fost tot de 1400°C . În grafic este prezentată variația temperaturii în punctele T4, T2, T3. Căderea cea mai mare a temperaturii se produce în punctul T4, punct plasat în zona de acțiune a răcitorului, datorită absorbției căldurii de către răcitor. Dacă se compară variația temperaturii punctului T4 cu variația temperaturii punctului C1 de pe diagrama 3.31, (capitolul 3) ce reda simularea variației temperaturii în timpul solidificării, apare o diferență în sensul că punctul C1 prezintă o staționare de cca. 40 secunde la temperatura de 1400°C , după care în timp de 80 secunde temperatura scade sub valoarea de 1100°C . În cazul de față temperatura punctului T4 nu prezintă palier și scade undeva în 70 secunde sub valoarea de 1000°C .

Curba corespunzătoare punctului T2, plasat ca poziție între T4 și T3, prezintă în primele aproximativ 3-4 secunde o creștere de la 1375 la aproximativ 1400°C .

Acest fenomen se explică prin curgerea turbulentă a metalului lichid în formă, alimentarea făcându-se pe la partea inferioară a formei și faptului ca termocuplu a fost introdusă în formă cu protecția metalică din tablă, fapt ce se poate observa și în figura 4.9. În următoarele 29 – 30 secunde curba prezintă un palier relativ, după care temperatura începe să scadă, ajungând la temperatura de solidificare după aproximativ 59 secunde, punct în care curba prezintă o ușoară inflexiune.

Curba corespunzătoare punctului T3, plasat aproape de alimentarea formei, prezintă o variație aproape identică cu cea a solidificării ideale a oțelului; apare și în acest caz o inflexiune la valoarea de 1375°C , explicația fiind legată tot de faptul că termocupla a fost introdusă cu protecția metalică. Scăderea temperaturii pentru 3 – 4 secunde se explică prin solidificarea oțelului în protecția metalică a termocuplei.

Variația prezentată de curba punctului T3 indică faptul că ultima zonă care se solidifică este cea inferioară, fapt confirmat în simularea turnării prin poziția zonelor cu metal lichid (hotspot, figura 3.25). Deci ultima zonă care are lichid este calota inferioară a piesei. Din figura 4.10 rezultă că solidificarea piesei se produce în aproximativ 3 minute, respectiv 180 secunde. Din figura 3.31, rezultă că prin simulare solidificarea s-a produs după 190 secunde. Rezultatele simulării sunt foarte apropiate de cele determinate prin măsurători.

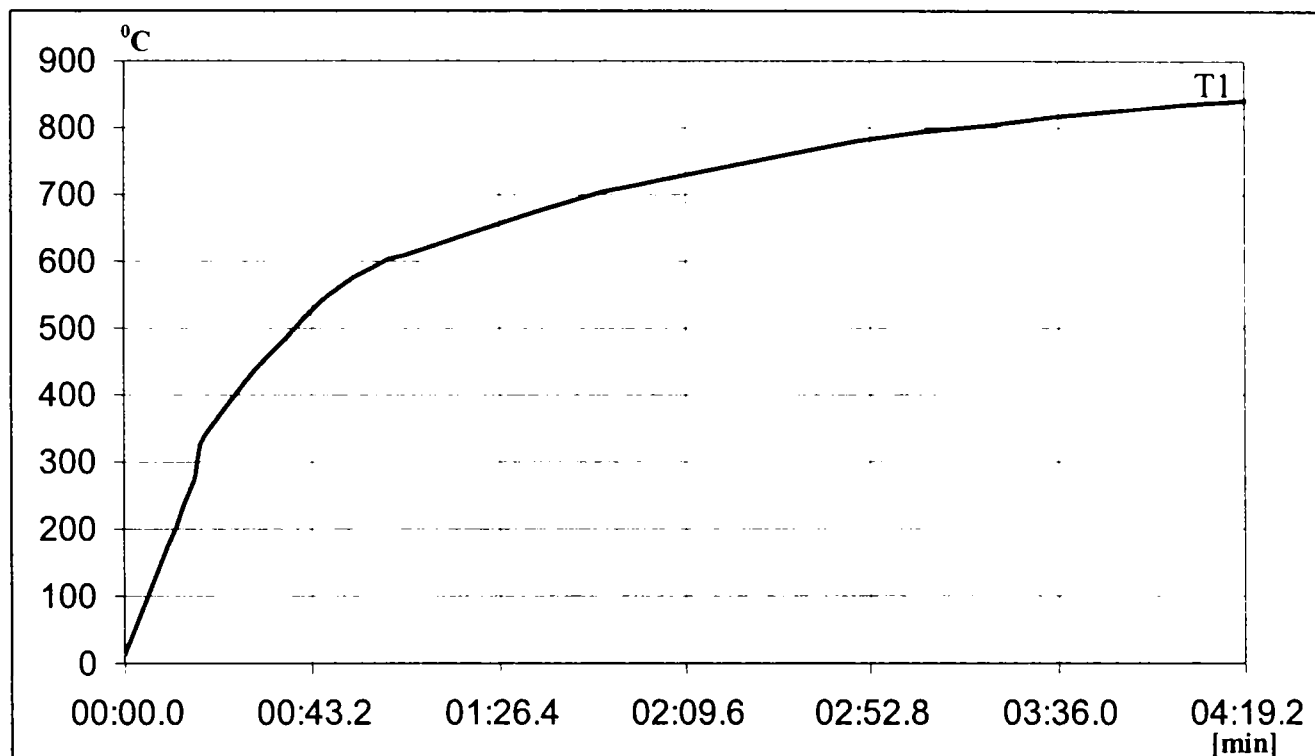


Figura 4.11. Variația temperaturii în răcitor măsurată prin termocuplu poziția T1.

Termocuplu T1 a fost plasată în răcitor. În 15 secunde are loc o creștere rapidă a temperaturii până la aproximativ 270°C , urmată de un salt brusc de la 270 la 340°C , ajungând apoi la aproximativ 530°C după 43 secunde adică creștere mai lentă. Creșterea de temperatură de la 530°C la 850°C se produce într-un timp de 3 minute 56 secunde.

Creșterea bruscă a temperaturii în intervalul $270 - 340^{\circ}\text{C}$ după 15 secunde arată că în acel moment are loc o solidificare masivă a metalului în zona de acțiune a răcitorului și se degejă căldura latentă de solidificare, fapt confirmat și de variația temperaturii termocuplei corespunzătoare punctului T4.

4.2. Concluzii parțiale.

1. timpul de solidificare al piesei fără răcitor, determinat practic, a fost de 210 secunde;
2. timpul de solidificare al piesei fără răcitor, determinat teoretic a fost de 245 secunde; teoretic se consideră temperatura inițială a formei 20°C ;
3. între cei doi timpi de solidificare ai piesei turnată fără răcitor determinați teoretic și practic este o diferență de 35 secunde, determinată de temperatura scăzută a formei de turnare; (temperatura din hala de turnare a fost de $+3^{\circ}\text{C}$;))

4. timpul de solidificare al piesei cu răcitor, determinat practic a fost de 180 secunde; /temperatura din hala de turnare a fost de $+3^{\circ}\text{C}$;))
5. timpul de solidificare al piesei cu răcitor determinat prin simulare a fost de 190 secunde; se consideră teoretic temperatura inițială a formei 20°C ;
6. în ambele situații, practic sau prin simulare, solidificarea piesei turnate cu răcitor se produce mai repede cu 30 respectiv 55 secunde, față de piesa turnată în amestec de formare fără răcitor;
7. evoluția temperaturii în răcitor în varianta determinată practic și prin simulare este aproape identică, după circa 300 secunde temperaturile sunt apropiate de valoarea de 800°C .

4.3. Determinarea variației temperaturii în peretele formei de turnare cu răcitor exterior din cupru.

În peretele formei de turnare au fost introduse 3 termorezistențe notate cu TR1, TR2, TR3, tot pentru măsurarea variației temperaturii în peretele formei de turnare, la distanțe diferite față de interiorul formei, conform figurii 4.2.

Achiziția datelor s-a făcut cu aceeași instalație de achiziție și interpretarea datelor ca și în cazul turnării bilelor în forma de turnare fără maseletă.

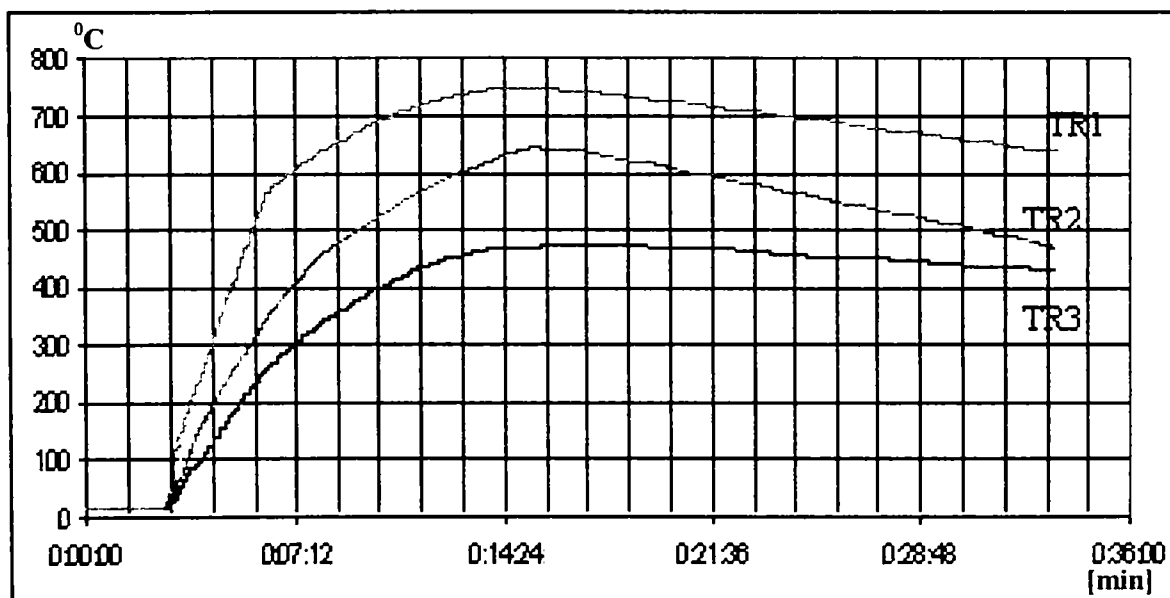


Figura 4.12. Variația temperaturii în peretele formei de turnare. *Observație: forma este prevăzută cu răcitor din cupru.*

Nu există diferențe mari între alura curbelor din figura 4.5 și figura 4.12. În figura 4.12 temperaturile sunt mai mici, datorită influenței răcitorului care absoarbe cea mai mare cantitate de căldură. De asemenea, dacă se compară intervalele de

creștere a temperaturii, în figura 4.5 temperatura ajunge la peste 800°C în circa 7 minute pe când în figura 11, temperatura de 750°C este atinsă după aproximativ 14 minute. După terminarea turnării, bilele au fost menținute în formă încă 35 minute pentru a continua măsurătorile în piesa și în peretele formei. Temperatura de dezbatere a fost de circa 600°C. Bilele dezbatute au fost tăiate în două pentru a se observa forma și poziția defectelor de turnare.

4.4. Rezultatele turnării bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan marca T120CrMn130, în varianta de turnare cu răcitor de cupru exterior.

După rezultatele simulării prezentate în capitolul 3, prin criteriile porosity și feeding, defectul de turnare trebuie să se găsească plasat în interiorul piesei într-o poziție apropiată de centrul geometric al piesei.



Figura 4.13. Poziția defectelor de turnare în cazul simulării turnării unei bile din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, varianta cu răcitor din cupru, reprezentată prin criteriul porosity.

În fotografiile de mai jos este prezentată forma și poziția defectelor de turnare în piesa turnată. În fotografia din figura 4.14 defectul de tunare are dimensiunea minimă iar în fotografia din figura 4.15 defectul de turnare are dimensiunea maximă.

După cum se observă retasura de contracție este plasată foarte aproape de centrul geometric al bilei, dar forma retasurii este diferită de cea care rezultă în cazul simulării, figura 4.13.

Axa longitudinală a retasurii coincide cu axa răcitorului (răcitorul exterior a fost amplasat în partea de sus a bilei din fotografie). Dimensiunile retasurii măsurate pe 1/2 bilă sunt 10 mm lățime, 30 mm lungime și 10 mm adâncime. Rezultă o grosime de perete a piesei pe rază între 35mm pe verticală și 45 mm pe orizontală.

Volumul piesei calculat teoretic este de 523 cm^3 . Volumul retasurii piesei din figura 4.14, determinat prin introducerea de motorină cu seringă a fost circa 10 cm^3 , ceea ce reprezintă circa 1,9 % din volumul piesei.



Figura 4.14. Poziția defectelor de turnare în piesele turnate cu răcitor (foto 1)

În fotografia 2, figura 4.15, poziția retasurii este plasată tot în centrul geometric al piesei dar forma de elipsoid este deformată mărimu-se către partea inferioară.

Volumul retasurii în acest caz a fost de 15 cm^3 , ceea ce reprezintă 2,8% din volumul piesei.

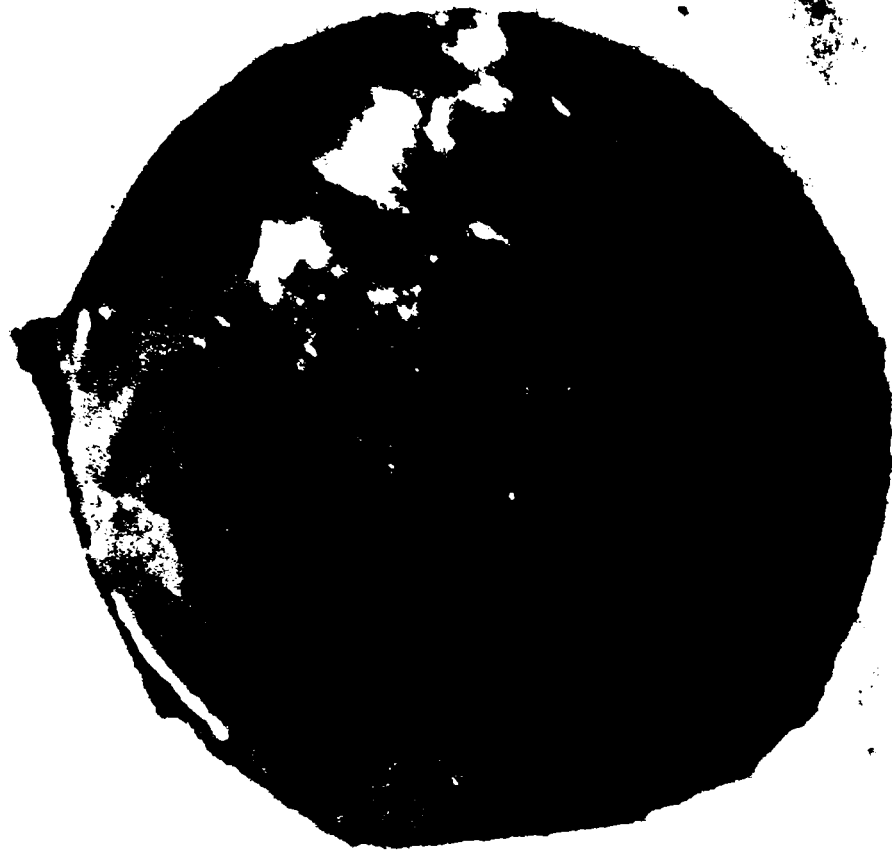


Figura 4.15. Poziția defectelor de turnare în piesele turnate cu răcitor (foto 2)

Față de rezultatul simulării, rezultatul practic al turnării este mai bun deoarece retasura este plasată mai aproape de centrul geometric al piesei.

În simulare retasura este plasată în mare parte în partea superioară a piesei, la aproximativ 17 mm grosimea minimă a peretelui superior al piesei figura 4.13).. Din punct de vedere al dimensiunilor, lungime 34 mm și lățime 23 mm, în varianta simulată retasura prezintă valori aproape egale cu retasura reală din piesele turnate.

4.5. Turnarea bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn120, în formă de nisip, cu 6 bile.

Din punct de vedere teoretic prin simulare și practic prin turnare s-a reușit turnarea bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan în forme de nisip cu răcitor exterior, astfel încât retasura să fie plasată în centrul bilei. Totuși turnarea unei bile cu răcitor din cupru în variantele prezentate nu prezintă interes din punct de vedere al rentabilității producției.

În capitolul 3 s-a procedat și la simularea turnării bilelor în formă de nisip cu 6 bile, cu masetă cu inel izolator, fără răcitor, forma fiind proiectată în capitolul 3, punctul 3.8. În urma simulării a rezultat că este posibilă obținerea bilelor cu defectul de turnare plasat în interiorul piesei. Dat fiind volumul de metal lichid mult mai mare, și anume suma componentelor sistemului de turnare este de $4548,95 \text{ cm}^3$, condițiile de turnare au fost modificate și anume temperatura de turnare a fost de 1460°C și timpul de turnare a fost de 2 secunde. Pentru verificarea rezultatelor simulării în forma de turnare s-au determinat mai multe puncte de control al variației temperaturii, puncte în care s-au introdus termocuple. Au fost stabilite 4 puncte de control, 3 puncte în masetă și 1 punct în forma de turnare. Poziția acestor puncte se regăsește pe desenul realizat în CAD, în punctele C20, C18, C21 respectiv C10, capitolul 3, figura 3.35.

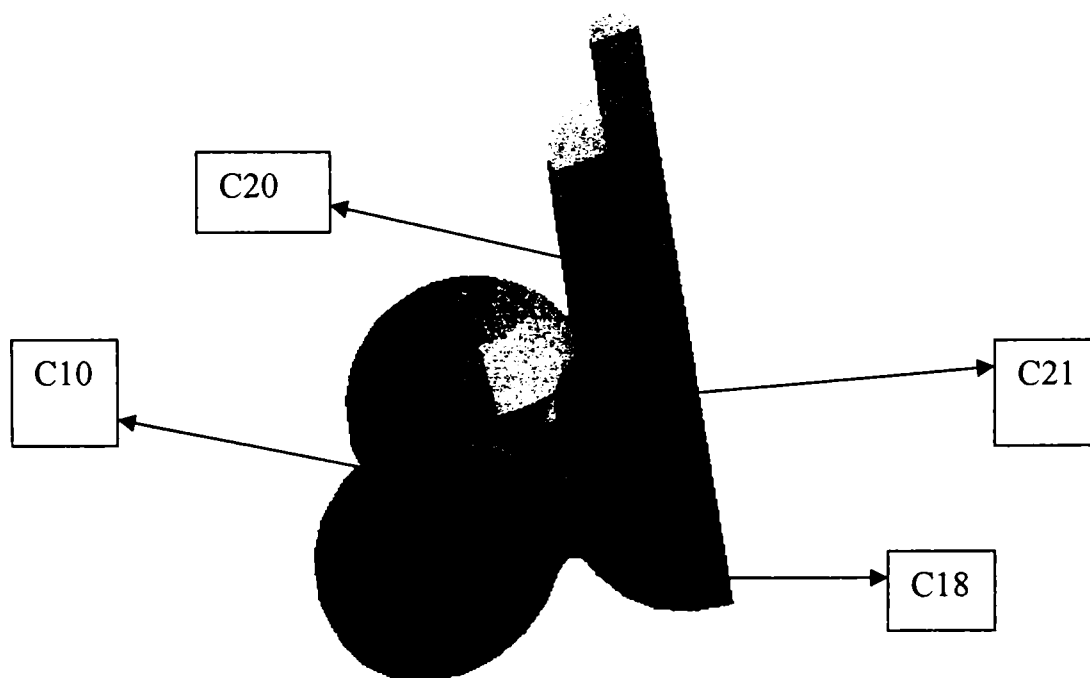


Figura 4.16. Poziția punctelor de control a temperaturii în forma de turnare.

În figura 3.35, este dificilă identificarea punctelor de control al temperaturii, motiv pentru care s-au ales 4 puncte cele mai reprezentative, poziția celor 4 puncte fiind prezentate și în figura 4.16.

Termocuplele s-au introdus în amestecul de formare respectiv în inelul izolator conform figurii 4.16, partea activă a termocuplelor fiind 8 mm în interiorul forme de turnare. Termocupla corespunzătoare punctului C10 este plasată la o distanță de 5 mm față de golul forme de tunare pentru a măsura variația gradientului termic în peretele forme.

S-au ales aceste puncte pentru a evidenția și studia influența inelului izolator asupra răcirii piesei. Studiind diagramele rezultate în urma măsurărilor se observă o răcire mult mai lentă a punctului C21 față de punctul C18; termocupla montată în punctul C20 ne arată o răcire mai rapidă decât în punctul C21, dar mai lentă decât în punctul C18.

Punctul C20 se răcește mai rapid decât C21 deoarece este mult mai aproape de suprafața neacoperită a maselotei. Din aceste date se observă că varianta tehnologică adoptată de noi permite o dirijare a frontului de solidificare în direcția dorită, obținându-se ultimul front de solidificare în regiunea punctului C21, cea ce s-a confirmat și prin simulare, unde hotspot-ul este localizat în aceeași regiune, adică în partea superioară a maselotei (figura 3.47).

Termocupla corespunzătoare punctului C10, din motive tehnice a fost montată mai jos decât suprafața interioară a forme. Din acest motiv curba rezultată cu toate că urmărește încălzirea și răcirea bilei în regiunea respectivă prezintă o întârziere de răspuns în timp, iar valorile obținute sunt mai mici cu aproximativ 200°C față de valorile din punctul C10 teoretic.

Ținând cont de acest lucru și comparând termocupla C18 cu C10, se poate observa o răcire aproape similară a acestor două puncte cu aceeași pantă a curbei.

Comparând rezultatele din măsurătorile practice cu cele obținute prin simulare se observă o concordanță între cele două grafice și se confirmă datele obținute din simulare cu cele practice.

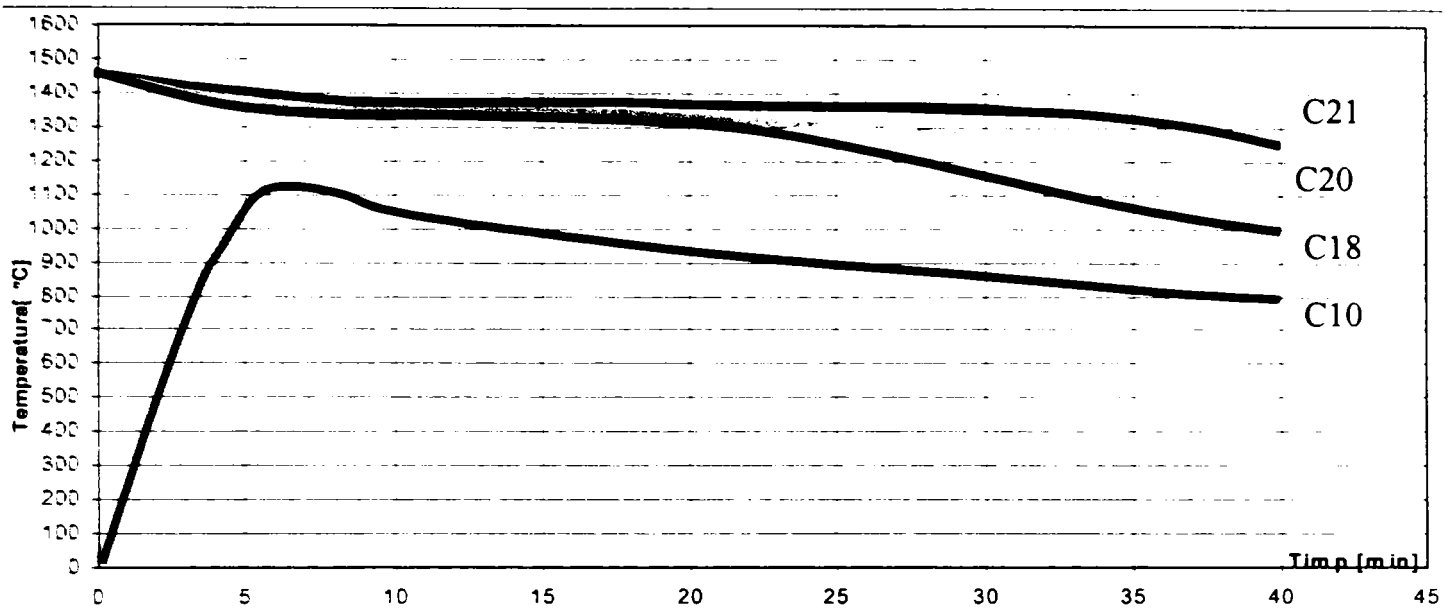


Figura 4. 17. Variația temperaturii în forma de turnare cu 6 bile.

4.6. Concluzii parțiale

1. măsurătorile practice asupra piesei turnate s-au realizat timp de 40 minute, în timp ce simularea s-a efectuat pentru un timp de 80 minute;
2. măsurătorile practice au fost efectuate în 4 puncte considerate cele mai concludente privitor la verificarea datelor teoretice cu cele practice; punctele alese au fost notate cu C10, C18, C20, C21;
3. variația temperaturii în punctele mai sus prezentate concordă practic cu rezultatele simulării; ultimă zonă care solidifică în piesă este cea corespunzătoare punctului C21.

4.7. Rezultatele turnării bilelor din oțel austenitic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130, în forma de turnare cu 6 bile.

În urma simulării, defectele de turnare ar trebui să se regăsească în interiorul piesei, aproape de centrul geometric al piesei, conform figurii 4.18.



Figura 4.18. Poziția defectului de turnare în varianta cu 6 bile, simulată.

Poziția defectului de turnare redat prin criteriul porosity se găsește aproape de centrul geometric al piesei, dar puțin deplasat către partea superioară, dar mult mai centrat decât în varianta simulată cu răcitor. Dimensiunile retasurii măsurate pe figură sunt 25 mm pe diametrul orizontal și 20 mm pe diametrul vertical.

Pentru verificarea rezultatelor simulării s-au turnat 3 forme cu câte 6 bile pe formă. După turnare bilele au fost secționare prin tăiere cu disc abraziv. Rezultatele turnării sunt prezentate în figurile 4.19 și 4.20.



Figura 4.19. Poziția defectului de turnare în piesa turnată.

În imaginea din figura 4.19, este prezentată poziția defectului de turnare în piesa turnată. Dimensiunile sunt 20 mm pe diametrul orizontal și 20 mm pe diametrul vertical. Adâncimea este de 12 mm. Dacă se ține cont de grosimea discului abraziv de 4mm, dimensiune confirmată și de urma lăsată de disc pe piesa tăiată, se poate considera adâncimea de circa 14 mm. Volumul retasurii în acest caz este de circa 7 cm³, mult mai mic decât în cazul turnării bilelor cu răcitor. Raportat la volumul teoretic al piesei aceasta reprezintă 1,33% din volum.



Figura 4.20. Poziția defectului de turnare în piesa turnată.

În acest caz forma retasurii diferă de piesa dinainte, având dimensiunea pe diametrul vertical de 15 mm și pe diametrul orizontal de circa 10 mm. Adâncimea maximă a retasurii este de circa 7 mm. Volumul retasurii determinat tot prin introducerea de lichid este de $5,5 \text{ cm}^3$. În ambele situații volumul retasurii este estimat datorită faptului că se lucrează pe piese secționate. Raportat la volumul piesei, volumul retasurii reprezintă 1,051% din volumul total al piesei.

4.7.1. Concluzii parțiale:

1. în ambele situații rezultatele simulării au corespuns cu cele obținute practic prin turnare;
2. dimensiunile defectelor de turnare sunt mai mici decât cele estimate prin simulare;

3. poziția defectelor de turnare în cazul simulării turnării bilei cu răcitor a fost mai aproape de suprafața exterioară a piesei decât în situația reală;
4. volumul defectelor de turnare este mai mic în varianta de turnare în forma cu 6 bile decât în varianta de turnare cu răcitor.

4.7.2. Măsurări efectuate asupra bilelor turnate din oțel austentic cu conținut ridicat de mangan, marca T120CrMn130.

Pentru verificarea rezultatelor simulării s-au turnat 2 bile fără maseletă și fără răcitor, 5 bile cu răcitor exterior din cupru și trei forme cu câte 6 bile fiecare. Numărul total de bile turnate este de 25. Nu s-au analizat primele 2 bile turnate decât pentru a vedea forma retasurii în condiții normale de turnare fără influențarea solidificării. A fost prezentată doar forma defectului de turnare în piesa turnată.

S-au efectuat măsurări asupra a 3 diametre ale bilelor turnate, luându-se ca referință diametrul standard de 100 mm, și s-a determinat masa fiecărei bile.

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 4.1. *Măsurări efectuate asupra bilelor turnate cu răcitor.*

Nr.crt	D ₁ (mm)		D ₂ (mm)		D ₃ (mm)		Masa (kg)
	măsurat	abatere	măsurat	abatere	măsurat	abatere	
1.	100	0	100	0	99	-1	4,380
2.	99	-1	100	0	99	-1	4,370
3.	100	0	100	0	98	-2	4,400
4.	98	-2	101	+1	100	0	4,410
5.	101	+1	101	+1	100	0	4,420

Tabelul 4.2. Măsurări efectuate asupra bilelor turnate în forme de turnare cu 6 bile.

Nr.crt.	D ₁ (mm)		D ₂ (mm)		D ₃ (mm)		Masa (kg)
	măsurat	abatere	măsurat	abatere	măsurat	abatere	
1	101	+1	99	-1	99	-1	4,450
2	100	0	98	-2	100	0	4,455
3	99	-1	100	0	99	-1	4,460
4	100	0	99	-1	100	0	4,440
5	101	+1	100	0	101	+1	4,450
6	100	0	99	-1	100	0	4,450
7	98	-2	101	+1	99	-1	4,455
8	99	-1	100	0	100	0	4,460
9	101	+1	101	+1	99	-1	4,470
10	99	-1	101	+1	100	0	4,460
11	99	-1	100	0	99	-1	4,470
12	98	-2	101	+1	100	0	4,440
13	102	+2	102	+2	99	-1	4,460
14	101	+1	100	0	98	-2	4,450
15	101	+1	100	0	101	1	4,460
16	102	+2	100	0	100	0	4,450
17	99	-1	101	+1	99	-1	4,440
18	100	0	100	0	101	+1	4,460

4.7.3. Concluzii parțiale.

1. măsurările efectuate asupra bilelor în varianta de turnare cu răcitor prezentate în tabelul 1, prezintă abateri între -2 și +1 mm față de diametrul standard de 100 mm;
2. măsurătorile efectuate asupra bilelor în varianta de turnare a formelor cu 6 bile, prezintă abateri între -2 și +2 mm;

3. greutatea bilelor din tabelul 4.2 sunt mai mari decât cele din tabelul 4.1, fapt ce confirmă că bilele turnate prin varianta în forma cu 6 bile au defectul de turnare mai mic și deci densitatea mai mare;
4. comparativ cu greutatea bilelor din tabelul 1 (introducere), în toate cazurile greutatea bilelor din tabelele 4.1 și 4.2, au greutatea mai mare cu aproximativ 300 grame.

Cap. 5. STUDII ȘI ÎNCERCĂRI DE TRATAMENTE TERMICE, MECANICE ȘI MICROSTRUCTURALE.

Cum s-a văzut din capitolul 1 referitor la problemele de bază care le ridică oțelul austenitic manganos, trebuie să arătăm că potențialul lui economico – tehnic este strâns legat și de tratamentele termice. Astfel pentru același oțel funcție de metoda de elaborare – turnare, dar în general de grosimea de perete a pieselor turnate (altfel spus, de viteza de răcire la turnare), trebuie aplicat acel proces (procedeu) de scoatere (dezbatere) din formă care să asigure în final o austenită omogenă cât mai fină, și, dacă se poate fără cementită (Fe_3C) sau carburile (k) aliate de forma $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ sau mai complexe [21], [22], [23].

Acest deziderat este legat de faptul că oțelul cu $\frac{\text{Mn}}{\text{C}} \cong 10$, în care C este peste 1%, poate ca la răcirea (solidificare) după turnare să obțină structuri foarte variate. Astfel la răcire foarte lentă:



și la răcire lentă:



la răcire rapidă (ideală):



Ilustrarea acestui lucru s-a făcut în modul următor.

S-au turnat bile în formă din amestec de formare cu răcitor și bile în forme de turnare din amestec de formare fără răcitor. S-au luat două tipuri de probe. Pentru bilele turnate cu răcitor probele s-au turnat în formă metalică, iar pentru bilele turnate în formă de nisip s-au luat probe turnate în formă din amestec de formare.

Pe fiecare probă în parte s-au făcut determinări de duritate în stare netratată termic și tratată termic.

5.1. Măsurări de duritate asupra bilelor turnate cu răcitor.

S-au efectuat pe diametrul bilei în planul vertical a poziției de turnare. Rezultatele sunt prezentate în graficele din figurile 5.1, 5.2 și 5.3.

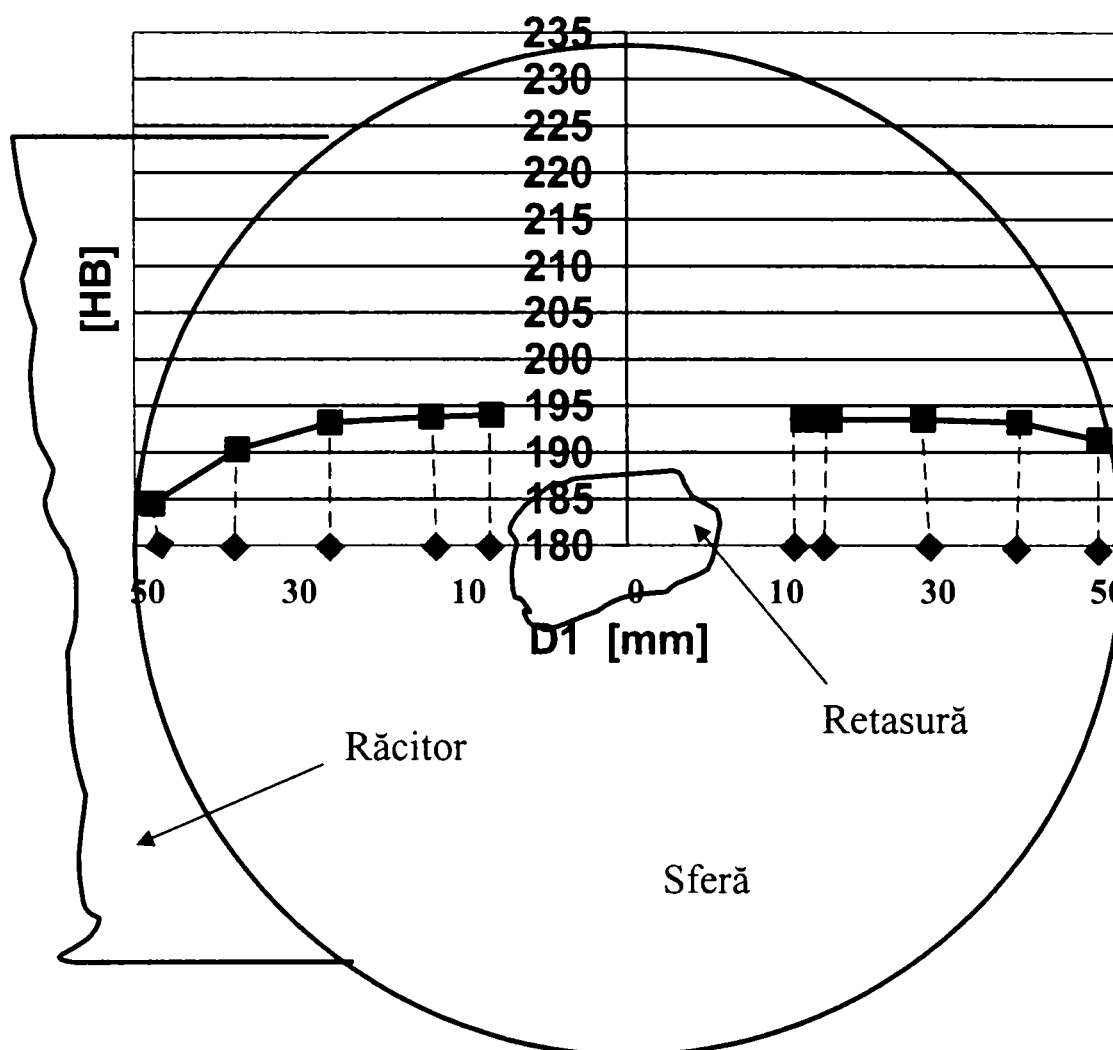


Figura 5.1. Duritatea austenitei bilelor măsurată pe diametru în varianta de turnare cu răcitor exterior, figura rotită cu 90° , stânga.

Măsurările s-au efectuat cu microdurimetru tip Hanemann asupra celor două faze principale, și anume austenita și carburile formate.

Partea stângă a graficului reprezintă calota superioară unde a fost plasat răcitorul. Duritățile cele mai mici ale austenitei sunt la zona de contact cu răcitorul aproximativ 180 HB, crescând către centru la aproximativ 230 HB. Partea dreaptă reprezintă măsurătorile de duritate asupra calotei inferioare a bilei. Duritatea variază între 230 HB către centrul bilei și 225 HB la margine. S-au efectuat măsurători și asupra durității carburilor existente în structura oțelului în stare turnată. La fel ca și în

figura 5.1, măsurările s-au efectuat pe cele două calote, superioară și inferioară, cât mai aproape de retasură. Rezultatele sunt prezentate în figura 5.2..

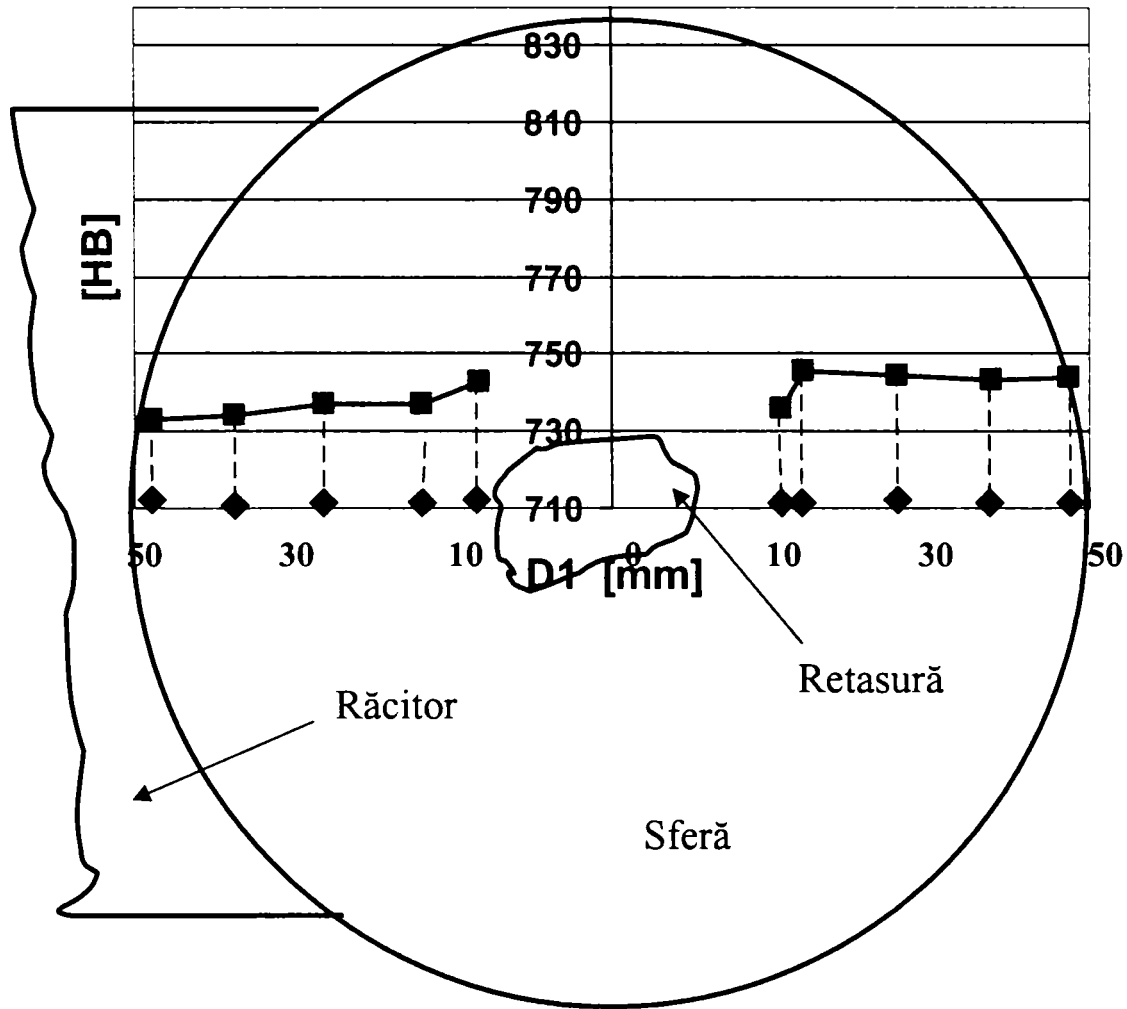


Figura 5.2. Măsurări de duritate efectuate asupra carburilor existente în structura bilei turnate cu răcitor exterior din cupru, figură rotită 90°, stânga.

Duritățile cele mai mari ale carburilor sunt în calota inferioară datorită procesului de răcire mai lent în această zonă, valorile fiind între 735 - 760 HB, carburile separate prin răcire având dimensiuni mai mari.

5.1.1. Măsură de duritate asupra bilelor turnate fără răcitor.

S-au efectuat măsurări de duritate și asupra bilelor turnate în forme de amestec de formare în varianta cu 6 bile. Rezultatele sunt prezentate în figura 5.3. Între cele două variante există o diferență de duritate.

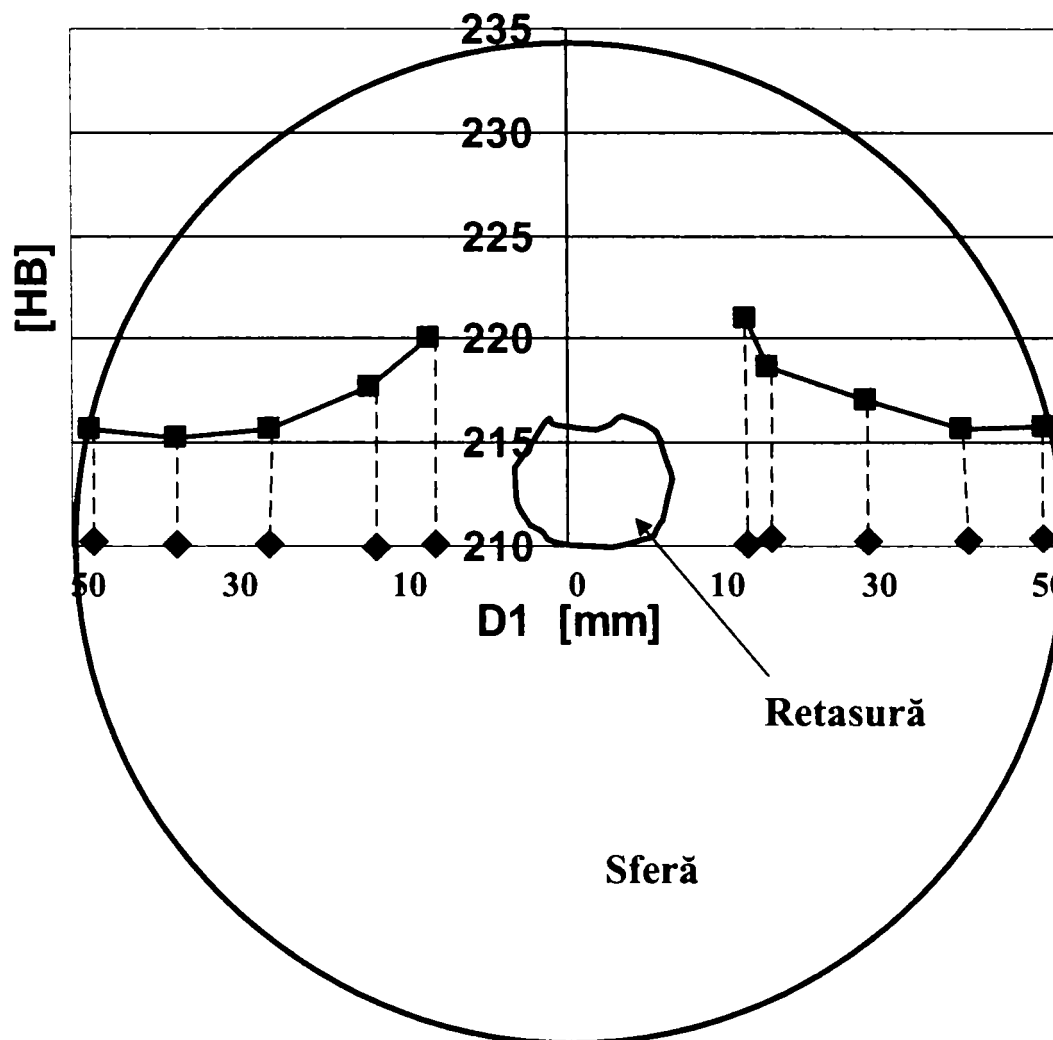


Figura 5.3. Variația durității măsurată pe o bilă turnată în amestec de formare, fără răcitor.

În acest caz duritatea variază între 215 și 220 HB. Toate încercările au fost efectuate asupra piesei turnate și netratate termic. Între cele două variante de turnare sunt diferențe de duritate, duritatea mai mare este pe diametrul bilei turnate în varianta cu răcitor, între 190 și 230 HB. În varianta de turnare în formă din amestec de turnare fără răcitor duritatea este cuprinsă între 215 și 223 HB. Diferențele de duritate se datoresc cantității de carburi separată din soluție în mod

diferit între ambele variante, precum și a mărimii grăuntelui austenitic. Mărimea grăuntelui austenitic în prima variantă, cu răcitor extern din cupru, este 3 – 4, determinat conform SRISO 643 – 92 (metoda comparației) și în a doua variantă mărimea grăuntelui este 5-6, determinat prin aceeași metodă.

5.2. Microstructurile pieselor turnate.

S-au turnat probe în aceleași condiții de turnare ca și piesa. Prima probă s-a turnat în forma metalică și a doua probă în amestec de formare. Microstructurile eșantionului în stare brut turnată în formă metalică și în amestec de formare sunt prezentate în fig. 5.4 și 5.5. În figura 5.4. există carburi la limita de grăunte austenitic și puține în interiorul granulelor de austenită

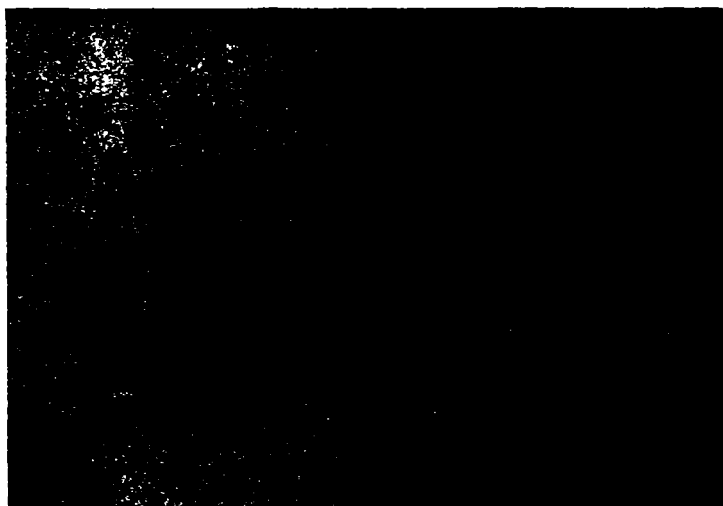


Figura 5.4. Microstructura piesei turnate în forma cu răcitor. Mărire x 500:1. Atac Nital 3%.

5.2.1. Microstructurile pieselor turnate în stare brută în forma de nisip.



Figura 5.5. Microstructura piesei brute turnate în amestec de formare. Mărire 500:1. Atac Nital 3%.

În figura 5.5 grăuntele austenitic are o dimensiune mai mică, și o mare cantitate de carburi grosolane searate la limita grăunților de austenită, datorită procesului de răcire mai lentă decât în cazul probei turnate în formă metalică.

5.3. Tratamente termice aplicate oțelurilor austenitice, T120CrMn130.

Oțelul austenitic cu conținut ridicat de mangan și raportul $\frac{Mn}{C} \cong 10$ în stare brut turnată este relativ casant pentru uz normal, datorită precipitatelor de carburi, în special la limita de separație a grăunților de austenită și nu are proprietăți fizice adecvate pentru a rezista la impact din cauza comportamentului carburilor care au tendință de casare[2], [44], [50].

O astfel de structură în stare brut turnată trebuie tratată în așa fel încât să se obțină o austenită suprasaturată la temperatura ambiantă. Acest tratament termic constă în încălzirea până la temperatura de 1050°C care asigură omogenizarea austenitei, urmată de o răcire violentă, în apă, pentru a menține forțat manganul și carbonul în austenită. Adică la răcire:



cu proprietăți deosebite la uzare în condiții de impact, șoc, etc.

Proprietățile mecanice sunt afectate în foarte mare măsură de modificările în microstructură prin dizolvarea cât mai completă a carburilor de la granița granulelor de austenită în cazul încălzirii.

Parametrii cei mai importanți, care afectează proprietățile oțelurilor austenitice manganoase sunt temperatura, viteza de încălzire, timpul de menținere și viteza de răcire. Temperatura de austenitizare să fie cât mai înaltă dar să nu depășească temperatura de transformare eutectică, pentru a evita topirea compusului micro-segregat Fe₃P. Astfel, temperatura de austenitizare de 1050°C a fost aleasă pentru a compensa scăderea de temperatură în timpul descărcării cuptorului la călirea în apă, chiar dacă ar fi fost suficientă o temperatură de încălzire de 980 °C.

Celălalt motiv pentru adoptarea unei temperaturi atât de ridicate de austenitizare este asigurarea difuziei atomilor în timpul dizolvării carburilor, astfel încât timpul de menținere, la acea temperatură să poată cât mai fi redus. Oțelul manganos austenitic are o conductivitate termică mai redusă și un coeficient de dilatare termică mai mare de 1,5 ori decât cel al oțelului carbon. [50].

5.3.1. Încălzirea oțelului austenitic manganos în vederea călirii

Pentru a stabili care variante de încălzire pot determina formarea în final a austenitei omogene suprasaturate, după răcire, în cele ce urmează se vor prezenta câteva sisteme de încălzire dar să nu se uite că încălzirea rapidă poate duce la fisuri la granița granulară din cauza solicitării termice, deasemenea timpul de menținere a metalului la temperatura de austenizare este influențat de trei parametri diferiți.

Aceștia sunt timpul necesar pentru:

- egalizarea temperaturii tuturor porțiunilor probei;
- dizolvarea carburiilor în matricea de austenită;
- omogenizarea austenitei.

Pentru a obține acest lucru avem următoarele căi:

- piesele turnate să fie răcite foarte rapid; aceasta se poate realiza fie prin turnare în cochilă, fie prin dezbatere la 1200°C și răcite intens cu apă, fie utilizarea unui tratament termic de punere în soluție folosind viteze de încălzire rapide, în special în domeniul temperaturilor 450 – 900°C, domeniu în care după cum se știe este favorizată transformarea $\gamma_{sup\ rasaturat} \rightarrow \gamma + k$;
- fie piesa se scoate din formă la 1200°C și se introduce în cuptorul de călire.

În vederea atingerii acestui deziderat s-au aplicat trei metode de tratament termic de punere în soluție:

- dezbaterea din formă la 1050°C și menținerea în cuptor la aceeași temperatură, figura 5.6. 1;
- încălzire rapidă, continuă, figura 5.6.2;
- încălzirea în trepte figura 5.6.3.

Toate aceste trei tipuri de tratamente termice sunt urmate de o răcire în apă a cărei temperatură se recomandă a fi 10°C, nu mai mare de 40°C.

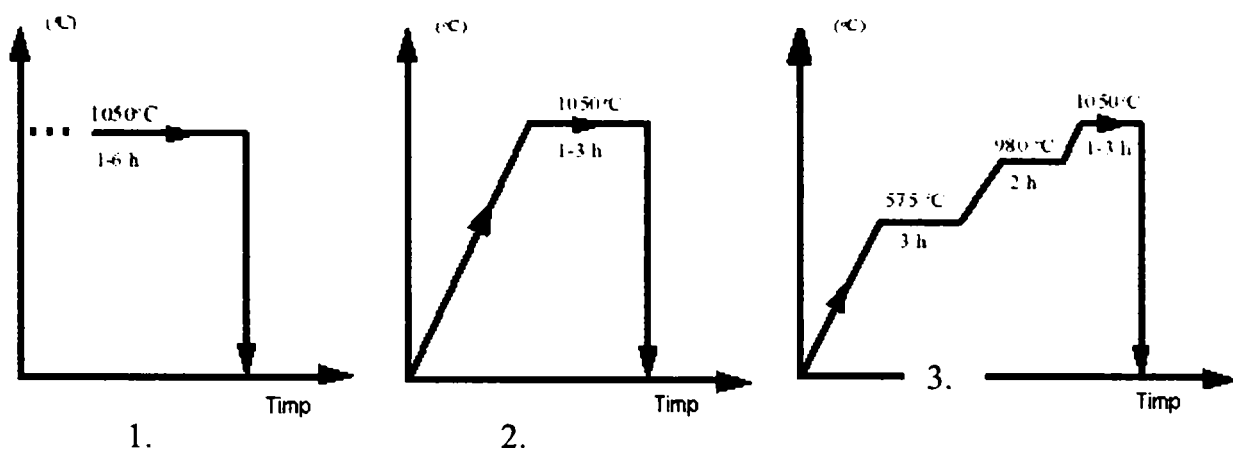


Figura 5.6. (1, 2, 3) Variante de tratamente termice aplicate oțelurilor austenitice cu conținut ridicat de mangan.

5.3.2. Dezbatere din formă și menținere în cuptor (după figura 5.6.1)



Fig. 5.7. Microstructuri ale eșantionului dezbatut din formă la 1100°C , menținut 45 minute în cuptor la temperatura de 1050°C . Atac Nital 3%.

Microstructurile eșantioanelor menținute timp de 45 de minute în cuptor nu prezintă carburi nici în granițele granulare nici în interiorul granulei de austenită.

Microstructura eșantionului menținut timp de 3-6 ore (figura 5.8, a și b) în cuptor este similară cu structura anterioară, cu excepția faptului că a granulația este mai mică (vezi figura 5.7) carburile la granițele granulelor de austenită nu mai apar după timpul de menținere de 3 ore, semn că structura austenitei nu mai conține carburi separate.

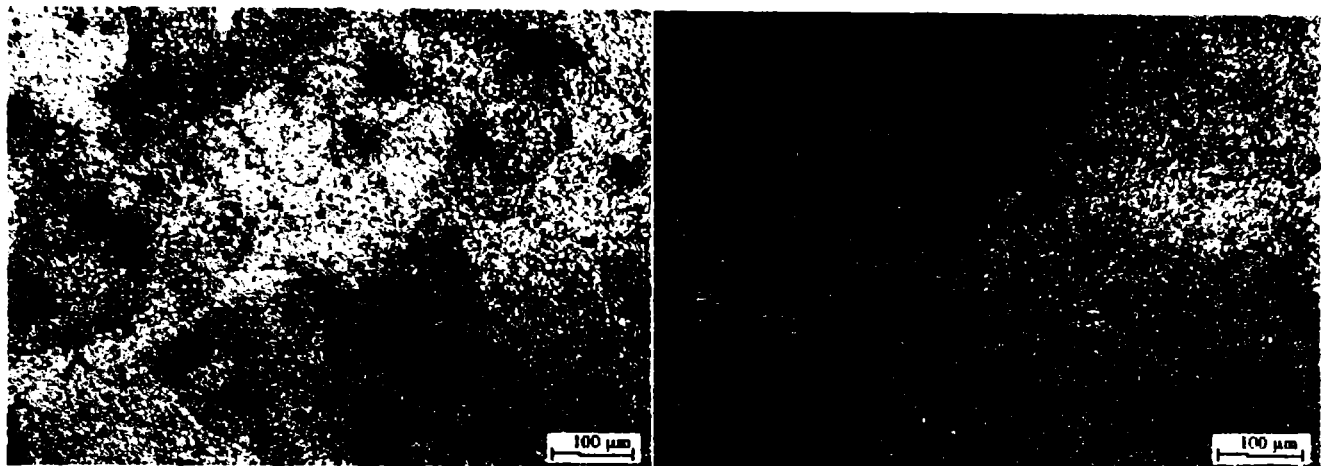
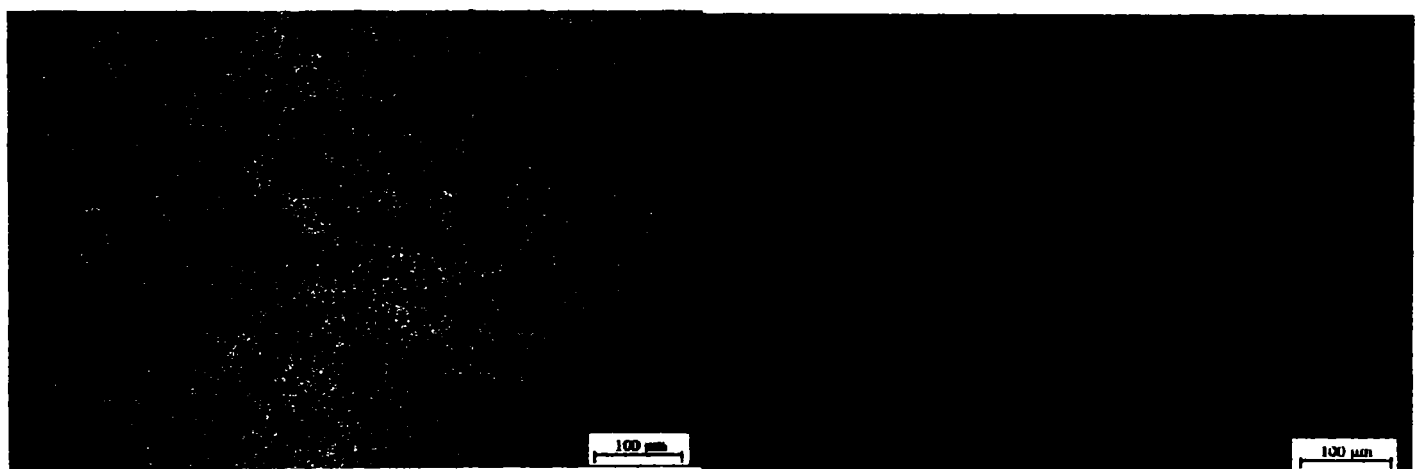


Fig. 5.8. Microstructuri de eșantioane dezbatute din formă, introduse și menținute la 1050°C, menținere 3 ore (a), 6 ore (b), și călite în apă la temperatura camerei. Atac Nital 2%.

5.3.3. Încălzire rapidă (figura 5.6.2)

Viteza de încălzire folosită în acest experiment este de aproximativ 0,18 grade/s și 2.2 kW puterea cuptorului de încălzire. Din figura 5.6.2 se observă un timp de menținere de 1 – 3 h, dimensiunea grăunților de austenită este mai mare. Pentru timpul de menținere de 30 de minute, toate suprafețele nu prezintă carburi la limita grăunților. Microstructurile eșantionului tratat în soluție prin încălzire lentă sunt prezentate în figura 5.9 ; a și b.



a

b

Fig. 5.9 Microstructurile eșantioanelor tratate pentru punere în soluție. Încălzirea rapidă de la temperatura camerei la 1050° C fără timp de menținere a, b menținere 30 minute, și călite în apă la temperatura camerei. Atac Nital 2%

5.3.4. Încălzire în trepte (figura 5.6.3).

Toate microstructurile studiate sunt lipsite de șanțuri de coroziune, fără carburi la limita de grăunte, cu dimensiunea grăunților mai fină pentru timpi de menținere în cuptor între 1 și 3 ore.

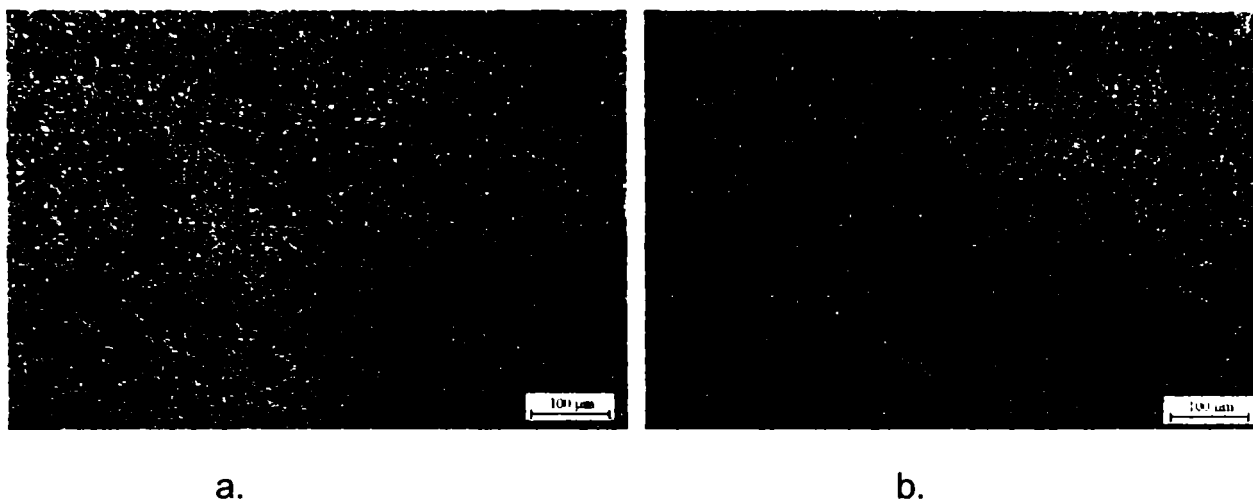


Fig. 5.10. Microstructuri de eșantioane tratate termic. a încălzire continuă de la temperatura camerei la 1050⁰C, menținere timp de 3 ore; b, încălzire până la 980⁰C, menținere timp de 2 ore și încălzire la 1050⁰C, menținere 1 oră la 1050⁰C. Călite în apă la temperatura camerei. Atac Nital 2%.

b). încălzire continuă de la temperatura camerei la 575⁰C, menținere timp de 3 ore, apoi încălzire până la 980⁰C, menținere timp de 2 ore și încălzire la 1050⁰C, menținere 2 ore. Călite în apă la temperatura camerei. Atac Nital 2%.

Când temperatura a crescut peste 700⁰C, carburile la limita de grăunte s-au dizolvat și au format o peliculă subțire, dar nu se dizolvă perfect până la 925⁰C. [16].

La creșterea temperaturii la 980⁰C și menținerea metalului timp de 2 ore, carburile de la limita de grăunte s-au dizolvat complet. În timpul dizolvării, nu a apărut nici o creștere semnificativă a dimensiunilor granulelor de autenită fapt ce se datorează efectului "solute drag"[35] împiedecat de carburi.

Creșterea temperaturii la 1050⁰C are avantajul că duce la dizolvarea restului de carburi din interiorul granulelor, pentru a intra în matricea de autenită. Astfel, se poate observa că timpul adecvat de menținere pentru dizolvarea carburilor care se dizolvă este la temperatura de 980⁰C - 1050⁰C. [16].

De altfel metalul menținut mai mult timp la 1050⁰C duce la creșterea foarte repede a grăunților de autenită.

Rezultatele încercărilor magnetice au arătat că eșantioanele au fost amagnetice după toate tipurile de tratament termic. Această constatare arată că

toate structurile (amagnetice) sunt formate din austenită omogenă. Pentru oțelul în stare brut turnată de oțel mangan austenitic duritatea Brinell este 190 – 230 HB pentru piesele turnate în forma cu răcitor metalic și 215-220 HB pentru forme turnate în amestec de formare (figurile 5.1, 5.3).

Pentru eșantioanele tratate termic în varianta 1 (figura 5.6.1, a fost obținut o duritate 118 și 145 HB, pentru timp de menținere în cuptor de 45 minute, respectiv 6 ore.

Duritatea Brinell pentru încălzirea rapidă este 136 și 158 HB, la care timpul de menținere este între 0 – 6 ore, iar pentru încălzirea în trepte este 163 și 166 HB pentru 1 – 3 ore timp de menținere.

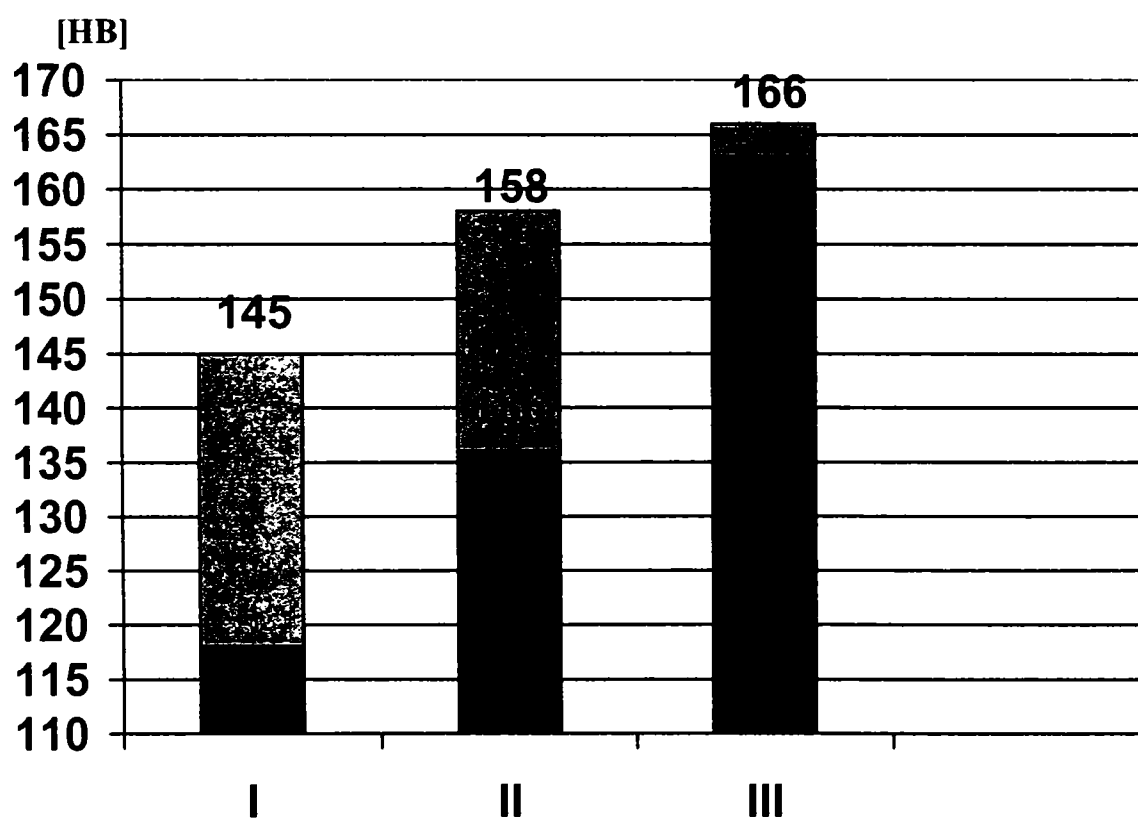


Figura 5.11. Variația durității oțelului turnat în funcție de tratamentul termic aplicat după turnare.

- I. variația durității în varianta 1 (figura 5.6.1) ;
- II. variația durității în varianta cu încălzire rapidă varianta 2 (figura 5.6.2);
- III. variația durității în varianta cu încălzire în trepte varianta 3 (figura 5.6.3).

5.4. Încercarea de reziliență pe epruvetă cu creștătură în V.

S-au făcut măsurări de reziliență pe epruvete preluate din probele turnate și tratate termic în variantele stabilite la punctul 5.3.

Rezultatele valorii de impact pentru toate procedurile sunt ilustrate în figura 5.12. Valoarea maximă de impact este obținută pentru eșantionul supus la încălzire în trepte menținut în cuptor timp de 1 oră.

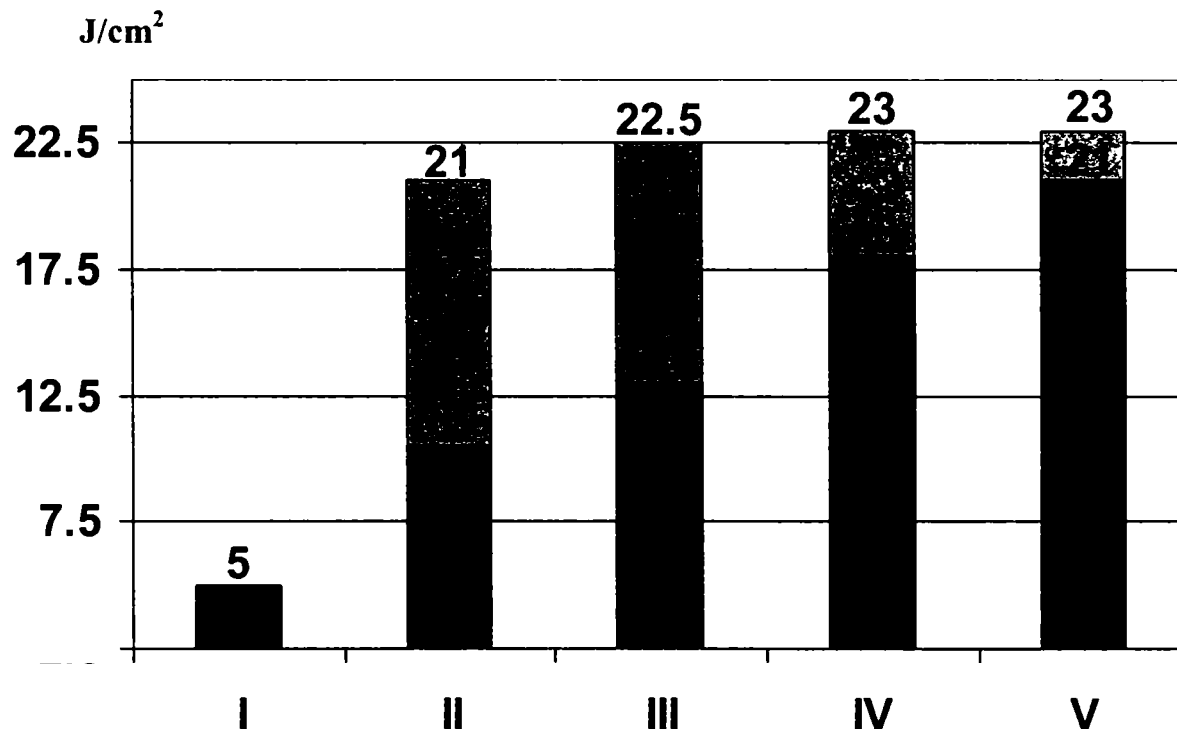


Figura 5.12. Rezultatele măsurărilor de reziliență asupra probelor netratate și tratate termic.

- I. Oțel brut turnat și netratat termic;
- II. Încălzire rapidă de la temperatura camerei la 1050⁰C ; valoarea 10,5 j/cm² s-a obținut asupra probei menținută în cuptor 2 ore; valoarea 17,5 j/cm² s-a obținut pe proba menținută în cuptor timp de 1 oră; valoarea 21 j/cm² s-a obținut pe probă încălzită la 1050⁰C fără timp de menținere;
- III. Probă scoasă din formă la 1050⁰C și introdusă în cuptor; valoarea minimă de 13 j/cm² s-a obținut pentru proba menținută în cuptor timp de 2 ore; valoarea de 21 j/cm² a fost obținută pe proba menținută în cuptor timp de 1 oră; valoarea maximă de 22,5 j/cm² a fost obținută pentru un timp de menținere de 45 minute.
- IV. Încălzire în trepte:
 - menținere la 575⁰C, timp de 3 ore;
 - menținere la 980⁰C timp de 2 ore;

- menținere la 1050⁰C timp de 2 ore, valoarea minimă la impact este de 18 j/cm² și valoarea maximă de 23 j/cm² , după menținerea timp de 1 oră;

V. Încălzire în trepte:

- menținere la 575⁰C timp de 3 ore:
- menținere la 980⁰C timp de 2 ore, valoarea minimă la impact este de 21 j/cm² ; după 1 oră de menținere valoarea este de 23 j/cm².

5.5. Analiza deformațiilor și stărilor de tensiuni la impactul bilei cu și fără retasură interioară

În timpul procesului de măcinare bilele sunt supuse deformațiilor și tensiunilor specifice procesului de măcinare a materialelor.

In urma contactului bilelor cu blindajul, prin cădere materialul este supus unor deformații care determină tensiuni în bilă.

S-au simulat deformațiile și stările de tensiuni ale sferei fără retasură interioară, comparativ cu sfera cu retasură interioară la impactul cu blindajul morii pentru a observa diferențele de comportament ale celor două bile.

Procesul de deformare al bilelor în moara de măcinat minereu a fost simulat prin programul de analiza cu element finit COSMOS/M Design Star versiunea 3.0/2002, în baza următoarelor ipoteze :

1. S-au adoptat următoarele valori specifice oțelului austenitic manganos, considerate constante pe parcursul evoluției procesului :

- Modulul de elasticitate $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$;
- Coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$;
- Diametrul bilelor în cele două cazuri este de 100 mm;
- Diamterul retasurii, presupusă și ea sferică este de 20 mm.

2. S-a aplicat aceleași încărcări dinamice asupra ambelor piese, considerând că piesele au un comportament elastic, respectând legea lui Hook, fără ca bilele să se deformeze plastic.

3. Procesul real dinamic a fost descompus într-o succesiune de procese statice, care redau succesiv deformația bilei de la forma sferică teoretică spre o formă ovală, datorită impactului cu blindajul morii, mărimea caracteristică a acestei ovalizări fiind considerată înălțimea "h" a bilei după deformare, mărime care variază de la valoarea 50 mm până la 15 mm, fig. 5.13.

4. Variația mărimii „h” se datorează îndepărtării de material datorită proceselor de uzare a bilelor în timpul măcinării materialelor ceea ce este echivalent cu o pierdere de masă și de diametru. S-a considerat că pierderea de material se realizează la o valoare din 5 în 5 mm, pe rază.

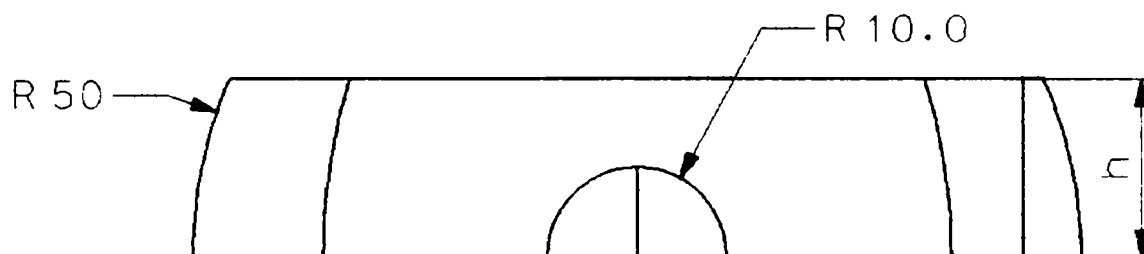


Figura 5.13. Deformarea bilei de la o formă sferică către o formă ovală.

Pentru fiecare proces s-au calculat deformațiile și tensiunile în piesă.

În figurile de mai jos 5.14 și 5.15, s-a realizat discretizarea pieselor fără retasură și cu retasură interioară, prin metoda elementului finit, suprafața aplatizată fiind considerată ca deformația bilei produsă la impactul cu blindajul metalic al morii de măcinat. Forțele sunt aplicate uniform pe toată suprafața plană.

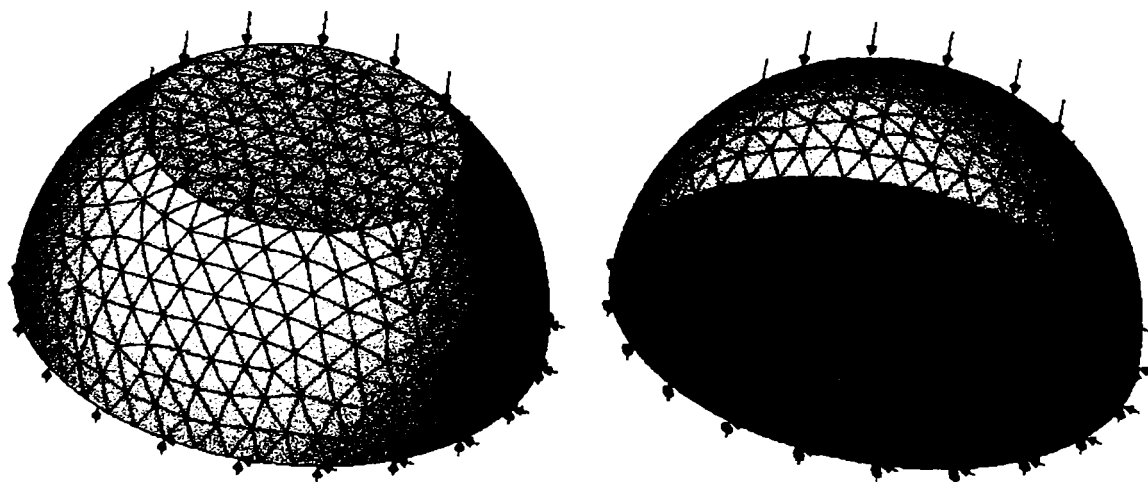


Fig. 5.14. Discretizarea piesei fără retasură.

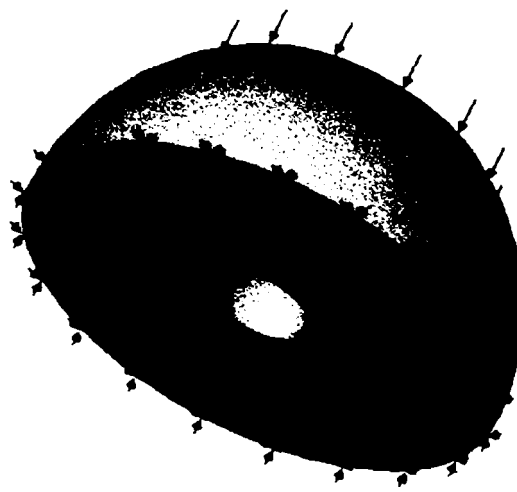


Fig. 5.15. Discretizarea piesei cu retasură interioară

Valorile deformațiilor elastice și tensiunilor maxime rezultate în piese, la impact cu blindajul metalic al morii în varianta bilei cu și fără retasură, în funcție de anumite diametre sunt prezentate în tabelul 5.1, iar grafic în fig. 5.17.

Tabelul 5.1. Valorile deformațiilor și tensiunilor maxime în piese în varianta bilă plină și cu retasură

h [mm]	50	45	40	35	30	25	20	15
Sfera δ_{max}	0.23850	0.1752	0.1286	0.0885	0.0689	0.0559	0.0457	0.0382
Sfera cu retasura interioara δ_{max}	0.2385	0.18	0.13	0.0941	0.0755	0.0643	0.055	0.0494
Sfera σ [N/m ²]	7.456x10 ⁸	1.571x10 ⁹	1.882x10 ⁹	1.618x10 ⁹	2.012x10 ⁹	1.748x10 ⁹	1.951x10 ⁹	2.658x10 ⁹
Sfera cu retasura interioara σ [N/m ²]	7.123x10 ⁸	1.499x10 ⁹	1.637x10 ⁹	1.592x10 ⁹	2.010x10 ⁹	1.772x10 ⁹	1.974x10 ⁹	2.748x10 ⁹

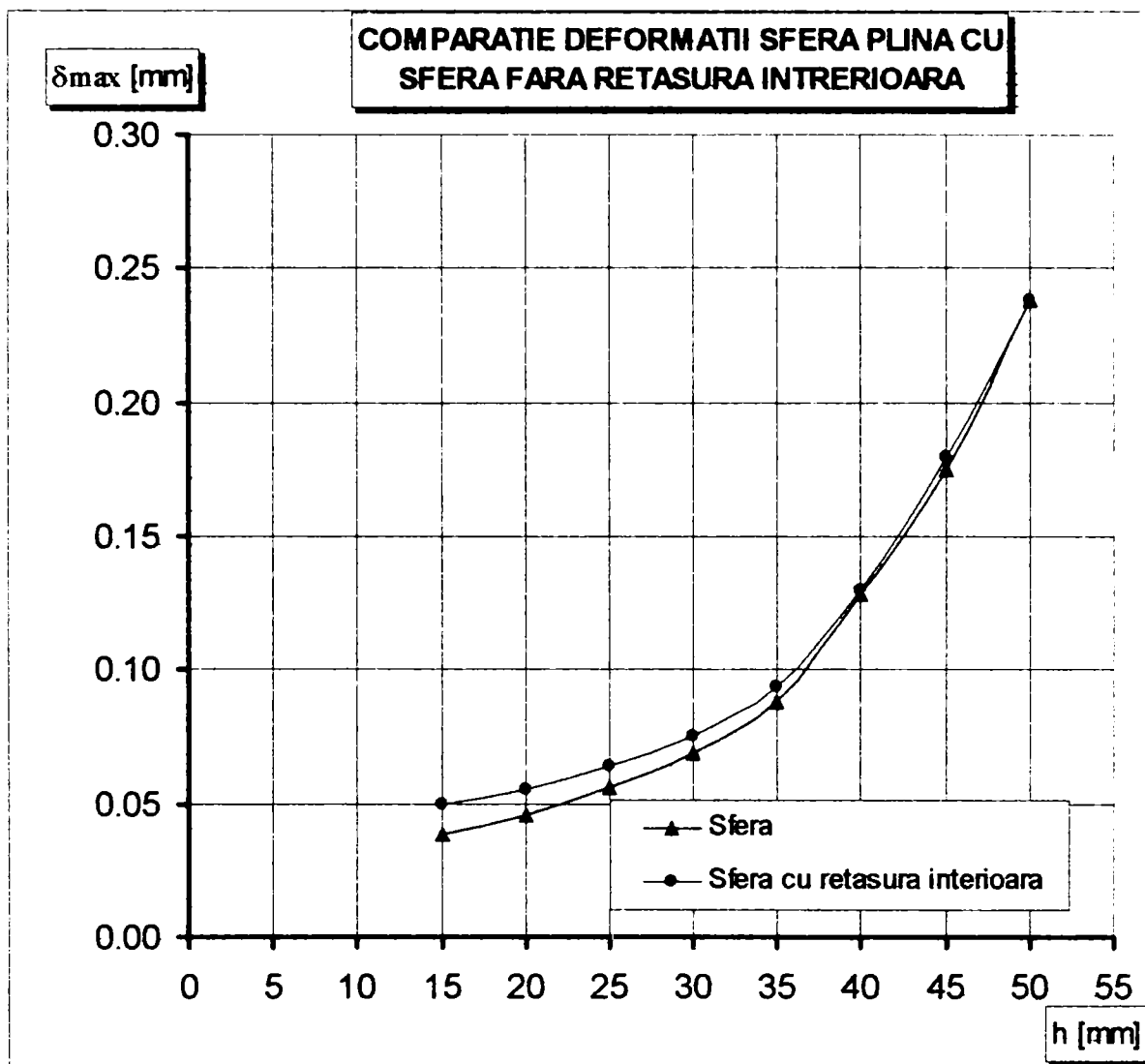


Fig. 5.18. Compararea deformațiilor între sfera fără și cu retasură interioară.

Din tabelul 5.1 și figura 5.18 rezultă că deformațiile în cele două piese sunt aproximativ egale. Deformațiile maxime sunt pentru bilele cu raza de 50 mm, fapt justificat și prin greutatea mai mare a acestor bile. Deformațiile scad pe măsură ce se produce o diminuare a diametrului bilei datorită uzării. Cele mai mici valori fiind pentru bilele cu diametru de 15 mm.

Simularea distribuției deformațiilor la impactului între sfera plină cu diametru de 100 mm și blindajul metallic este prezentată în figurile 5.19 a și b.

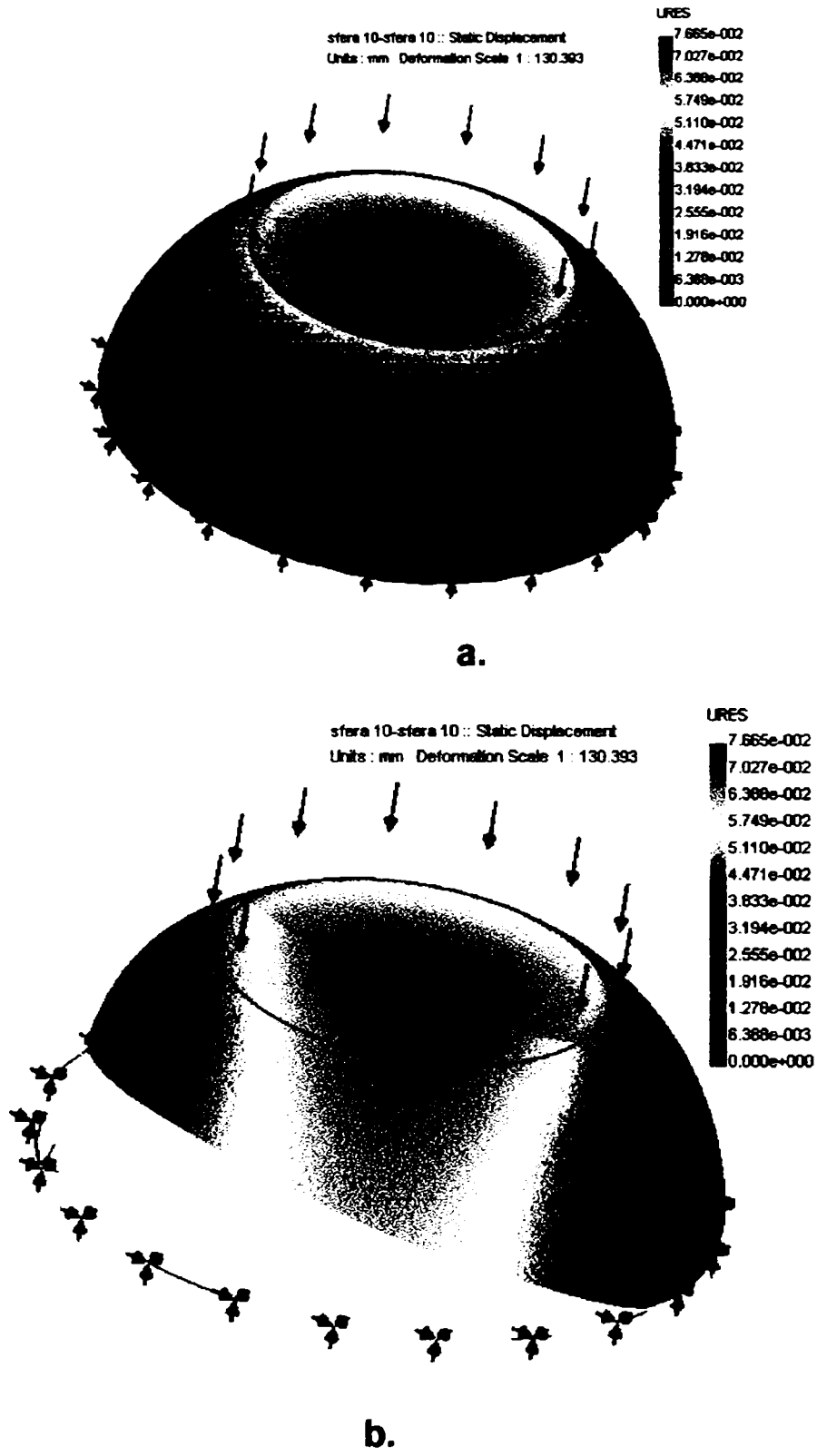


Figura 5.19. a și b. Simularea distribuției deformația sferei cu diametrul de 100 mm la impactul cu blindajul metallic.

Din cele figuri se observă că valoarea maximă a impactului, afișată după scala de culori apare în zona centrală a suprafeței de contact a piesei cu blindajul morii, diminuându-se către centrul piesei și în aceeași secțiune către periferie. În figura 5.20 este prezentată zona deformațiilor maxime din piesă, zonă care are forma unui con.

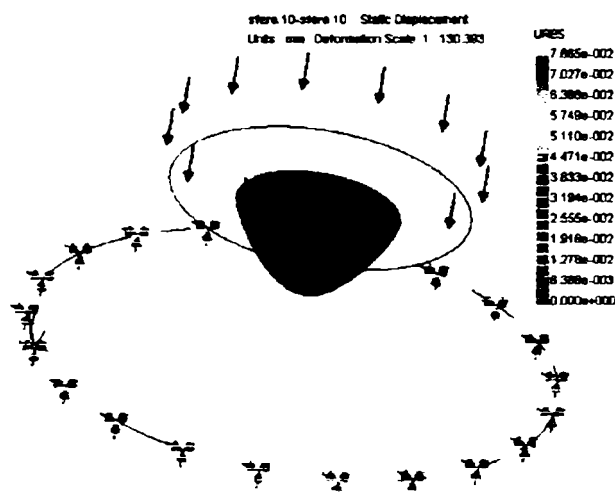


Fig. 5.20. Zona deformațiilor maxime din piesă.

S-a simulat și distribuția tensiunilor datorate deformațiilor.

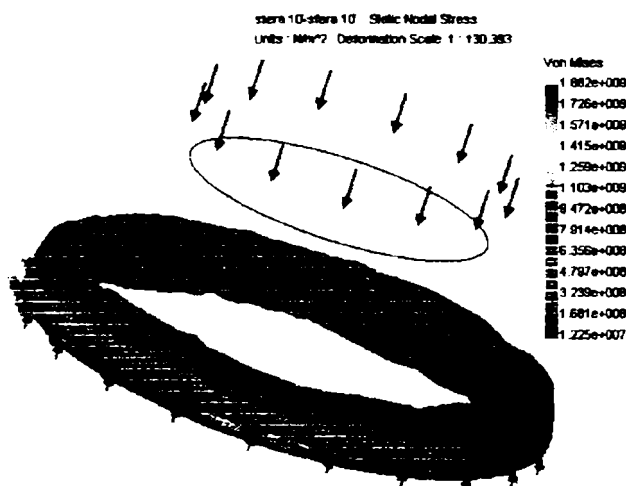


Fig. 5.21. Simularea distribuției tensiunilor pe circumferința piesei.

Deformațiile datorate impactului cu blindajul determină apariția tensiunilor în piesă, distribuția tensiunilor apare sub forma unui tor. Din figură se observă o distribuție a tensiunilor din centrul bilei către marginile acesteia, unde după scala culorilor, tensiunile rezultate au valoarea maximă.

În același timp s-a simulat același lucru și pentru sfera cu retasură interioară în aceleași condiții.

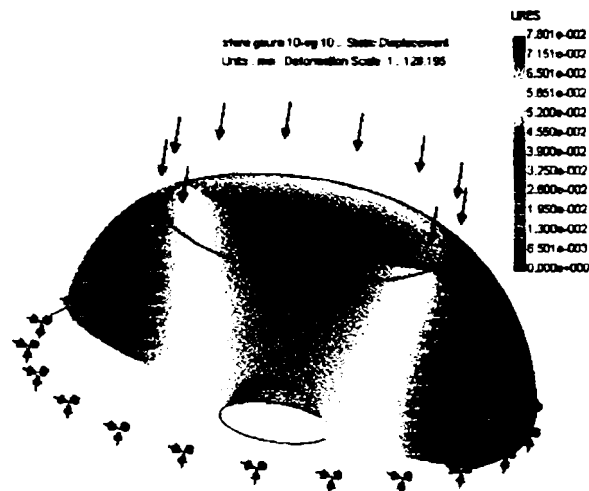


Fig. 5.22. Distribuția deformațiilor unei sfere cu retasura interioară la impactul cu blindajul metalic.

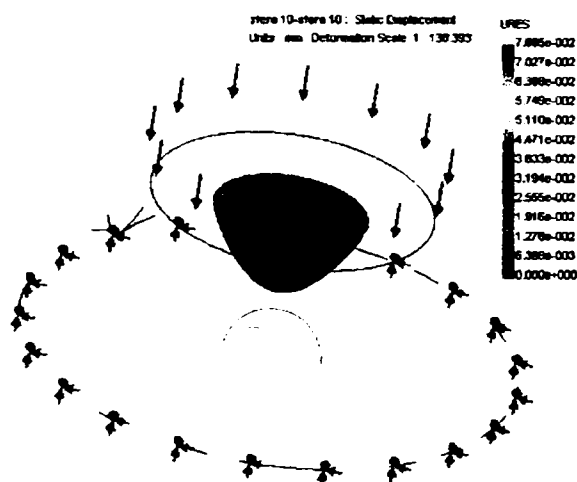


Fig. 5.23. Zona deformațiilor maxime din piesă.

Și în acest caz zona de deformare maximă apare sub forma unui con având valori egale cu cele ale sferei pline și anume 0,23850 mm (tabelul 5.1, fig. 5.18). aceleași valori se pot determina după codul de culori afișat în partea stângă a simulării.

În figura 5.24 s-a simulat distribuția tensiunilor în sfera cu retasura interioară, valorile acestora fiind prezentate la fel în tabelul 5.1 și figura 5.18.

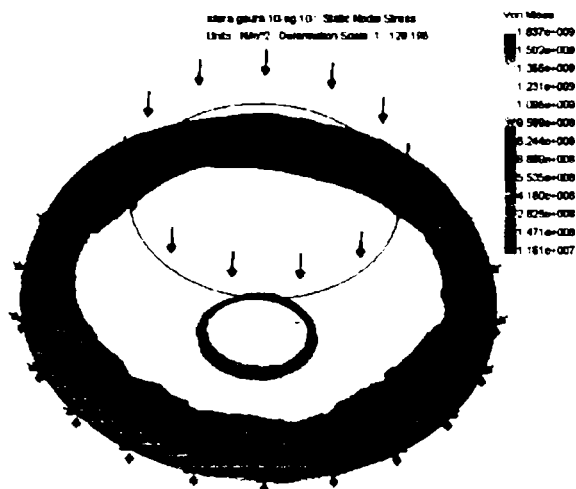


Fig. 5.24. Simularea distribuției tensiunilor pe circumferința piesei.

Distribuția tensiunilor apare și în acest caz sub forma unui tor, din interiorul bilei către periferie. În acest caz valoarea tensiunilor este mai mică decât în cazul sferei pline, fapt evidențiat de scala culorilor afișate în partea stângă a simulării și prezentate numeric în tabelul 5.1. În primul caz, sfera plină, tensiunea are valoarea de $7,456 \text{ [N/m}^2\text{]}$ iar în cazul al doilea (sferă cu retasură) valoarea tensiunilor este de $7,123 \text{ [N/m}^2\text{]}$, ceea ce demonstrează că sfera cu retasura are un comportament mai elastic decât sfera plină.

5.5. CONCLUZII.

Se pot trage mai multe concluzii din acest studiu, și anume:

1. Duritatea Brinell pentru oțelul austenitic manganos în stare brut turnată a fost între 180–230 HB, iar valorile rezilienței de 5 J/cm^2 ;
2. Eșantioanele tratate termic pentru punere în soluție au duritatea între 118-145 HB, pentru varianta de dezbatere din formă la 1050°C și introducere în cuptor, 136-158 pentru varianta de încălzire rapidă și 163-166 HB pentru încălzirea în trepte;
3. Compoziția aliajului rezultat din turnare este adecvată pentru oțelul austenitic cu conținut ridicat de mangan, rezistent la uzare, care este 1,30 % C și 13,13 % Mn, 1,6% Cr, cu raportul $\frac{Mn}{C} \cong 10$ și raportul $\frac{Cr}{C} = 1,2$;
4. Pentru același timp de menținere de 2 ore (la temperaturi între 980 și 1050°C) față de celelalte tipuri de tratament termic folosite, prin procedura de încălzire în trepte (figura 5.6 varianta 3) se ajunge la formarea de grăunți de austenită de dimensiuni mai reduse (figura 5.10).

5. Valoarea maximă de impact, 23 j/cm^2 este obținută pentru eșantionul care este tratat termic la 1050°C cu procedura de încălzire în trepte (figura 5.12, IV, V). Valoarea de impact, nu diferă mult în cazul încălzirii în trepte față de cel al încălzirii rapide 23 j/cm^2 față de $22,5 \text{ j/cm}^2$); în schimb timpii de menținere ai probei în cazul încălzirii rapide au fost mai mici și anume 1 oră;
6. Pentru încălzirea oțelului austenitic cu conținut ridicat de mangan este indicată procedura de tratament termic varianta 1 (figura 5.6.1) (dezbateri din formă la $1150 - 1200^{\circ}\text{C}$ și răcire în apă) deoarece structura austenitei este omogenă fără carburi la limita de grăunte sau în interiorul grăuntelui de austenită (figura 5.7) iar valoarea rezilienței este fost de $22,5 \text{ j/cm}^2$ (figura 5.12, II);
7. dacă nu este posibil dezbateri din formă la 1100°C , este foarte bună varianta 2 (figura 5.6.2) de încălzire rapidă , datorită faptului că la încălzirea fără timp de menținere în varianta 2 de tratament termic, valorile de reziliență nu prezintă diferențe mari; în varianta 1 de tratament termic, reziliența are valoarea de 21 J/cm^2 față de $22,5 \text{ J/cm}^2$ în varianta 2 de tratament termic (figura 5.12, II, III);
8. din simulările efectuate rezultă că deformațiile bilelor pline sunt egale cu deformațiile bilelor cu retasură interioară dar bilele cu retasură datorită tensiunilor mai mici au un comportament mai elastic.

Alte studii și încercări de creștere a durabilității în exploatare a oțelurilor austenitice manganoase cu raportul $\frac{Mn}{C} \geq 10$ efectuate pe zona industrială confirmă concluziile anterioare.

5.7. Turnarea și dezbateri pieselor cu grosimea mai mari de 100 mm.

În toate lucrările ce se referă la oțeluri austenitice manganoase ce respectă rapoartele $\frac{Mn}{C} = 8 - 13$, în care $Mn = 10 - 13\%$ [36], iar $C = 1,0 - 1,3\%$, se arată că din cauza compoziției chimice și proprietăților fizico-mecanice – metalurgice după turnare aceste oțeluri obțin o structură de austenită neomogenă în care se găsesc carburi neuniform repartizate [71].

Din practica industrială s-a constatat că asupra valorii rezistenței la uzare în condiții identice de exploatare au influența: defectele de turnare, puritatea metalului privind incluziunile nemetalice, mărimea grăuntelui de austenita etc., dar numai aceștia nu pot explica diferențele atât de mari ale indicilor rezistenței la uzare [51].

De asemenea, nu se observă o legătură directă între proprietățile mecanice pe probele standard și rezistența la uzare a pieselor turnate. Nu a ajutat nici multitudinea de încercări legate de alierile suplimentare ale oțelului austenitic manganos. Diferențele mari care se obțin în comportarea la uzare este condiționată de prezența carburilor în pereții pieselor turnate și călite, piese turnate care se răcesc altfel decât probele standard. Astfel a reieșit că la menținerea pieselor turnate în formă peste 5 ore, aproximativ 4 ore acestea se găsesc în domeniul temperaturii de separare și creștere a carburilor la temperatura de 950 – 550°C (vezi figura 5.13, curba 1) în timp ce proba standard numai 30 minute (curba 3). Pentru a ilustra cele enunțate, în figura 5.13 se arată variația vitezelor de răcire a pieselor și probelor standard în forma de turnare.

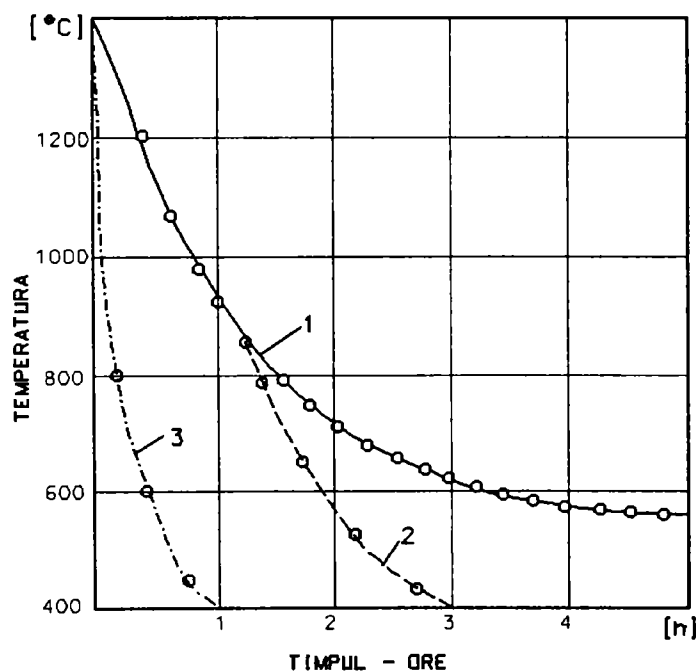


Figura 5.25. Variația vitezei de răcire în formă.

În piesă carburile grosolane se găsesc sub forma de rețea continuă, pe limita de separație a grăunților cristalini lucru ce nu corespunde diagramei de echilibru a cunoscutului sistem ternar Fe – Mn – C, și, în acest caz este de presupus că în timpul răcirii piesei în forma nu se pot asigura condiții de difuzie a manganului mult mai mult decât timpul de dizolvare a carburilor la călire (vezi figura 5.13 și figura 5.14). Pentru reducerea timpului de răcire după turnare în domeniul temperaturilor de

formare a carburilor și a fixării în acest stadiu a majorității carbonului în austenită se recomanda dezbaterea rapidă din formă a pieselor turnate. Dezbaterea se face după câteva minute de la turnare, ceea ce va corespunde temperaturii pereților piesei de 850 – 900°C. Răcirea în continuare se va face în aer, corespunzător curbei 2 figura 4.33 și de menținere în intervalul temperaturilor de formare a carburilor 950 – 500°C va fi mai scurt – total 2 ore. Aceasta va conduce la separării mai puține și mult mai fine de carburi ceea ce asigură o plasticitate ridicată și o rezistență mărită la fisurarea la rece. Cantitatea și dimensiunile mai reduse ale carburilor obținute după turnare, pe limita de separație a grăunților va conduce și la o ușurare a dizolvării acestora la încălzirea și menținerea pentru călire fără formarea de fisuri și crăpături. Un alt avantaj este posibilitatea creșterii vitezei de încălzire. Întrucât separările de carburi sub forma fin mărunțite și uniform distribuite sunt favorabile atât evitării fisurilor la cald și la rece (la turnare) cât și ușurării procesului de dizolvare la călire în vederea obținerii unei austenite omogene, reduc temperatura și timpul de dizolvare, se recomandă ca răcirea pieselor turnate în special în domeniul temperaturilor de formare a carburilor (950 – 500°C), să se facă repede.

5.7.1. Tratamentul termic de punere în soluție.

Oțelurile austenitice manganoase obțin rezistențe înalte la uzarea abrazivă numai în cazul când în structura se obține (după turnare și călire) o austenită omogenă în care dimensiunile grăunților trebuie să fie 3 -4. Din surse bibliografice referitoare la tratamentul termic de călire a oțelurilor austenitice manganoase reiese că cel mai folosit regim este cel din figura 4.34, curba1.

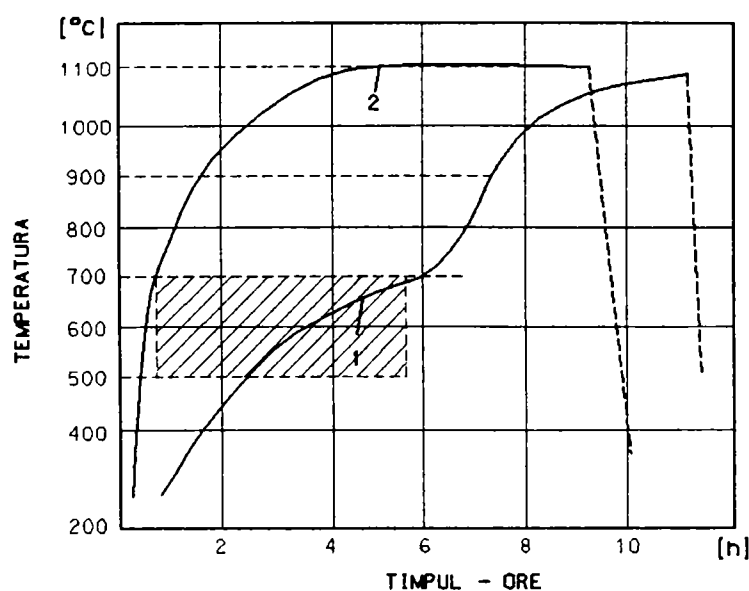


Figura 5..26. Variația vitezelor de încălzire a pieselor din oțel austenitic manganos.

Observație. 1 vechiul regim; 2 regimul propus.[44], [45].

După instrucțiunile actuale până la 700°C viteza de încălzire ($v_1 < 75^\circ\text{C/h}$) deși foarte mică nu exclude în totalitate apariția fisurilor. Din încercările efectuate [48] a reieșit că încărcarea în cuptorul de călire încălzit la 850 – 900°C a pieselor dezbătute rapid, la temperatura de 850 – 900°C, în loc de 500 – 550°C după instrucțiuni au rezultat piese fără fisuri termice după călire, iar cele dezbătute după vechiul regim au fost afectate de fisuri.

Prin încălzirea rapidă (fig. 2) la călire, timpul de menținere a piesei în intervalul de 500 – 700°C se reduce de la 3h30 minute la 30 minute (vezi curbele 1 – după vechile instrucțiuni și 2 după varianta nouă din domeniul hașurat).

În același timp durata de menținere a piesei în zona temperaturilor de peste 950°C crește până la 7 ore în loc de 3h30 minute după vechiul regim (curba 1). Aceasta situație creează condiții favorabile de obținerea unei structuri de austenită pură după călire, pe seama dizolvării mai complete a carburilor.

Concomitent cresc: caracteristicile mecanice, în special cele de plasticitate, stabilitatea caracteristicilor mecanice în secțiune.

5.7.2. Concluzii.

După încercările de laborator și industriale se concluzionează că pentru creșterea eficienței rezistenței la uzare a oțelurilor austenitice manganoase se indică:

1. folosirea tratamentului termic cu utilizarea căldurii remanente a piesei turnate permite reducerea ciclului de tratament termic, reducerea timpului de răcire a pieselor în forme, să crească proprietățile de exploatare a pieselor și să se unească în ciclu automatizat topirea, turnarea și tratamentul termic;
- 2 creșterea omogenității austenitei oțelului se asigură prin aplicarea următorului regim: extragerea îngrijită a piesei din formă la 1100 – 1180°C; menținerea 3 – 5 h; călirea în apă, (se admite răcirea piesei până la introducerea în cuptor nu mai jos de punctul A_{m} din diagrama de echilibru Fe – Mn – C, de aproximativ 1000 – 900°C).

Se poate afirma că recomandările bibliografiilor [45], confirmate și de încercările din lucrările indigene [49] conduc în principal la reducerea costurilor pieselor turnate, creșterea eficienței economice, independență față de importul unor asemenea oțeluri. Particularitățile de structură și transformare pe care le posedă oțelul austenitic manganos ne arată că încălziri ale pieselor turnate la 450 – 700°C

pentru procesul de călire are loc, de fapt nu dizolvarea carburilor ci o separare a acestora din soluția solidă de austenită suprasaturată cu carbon, respectiv cu mangan.

Dizolvarea carburilor la încălzirea pentru călire a pieselor începând cu temperatura de $700 - 950^{\circ}\text{C}$, are loc foarte lent (aproximativ 2 ore) iar la temperatura de dizolvare rapidă ($950 - 1110^{\circ}\text{C}$) menținerea este cum se observă de numai 3 ore. Cu alte cuvinte se poate afirma că în situația dată se creează condiții favorabile atât separărilor cât și creșterii carburilor dar concomitent condiții nefavorabile pentru a se putea realiza dizolvarea acestora în austenită.

Dacă se socotește timpul de formare a carburilor la temperatura de $900 - 550^{\circ}\text{C}$ (separare și creștere) la răcirea în formă a pieselor cu grosimea de perete mai mare de 100 mm, cât și în perioada inițială de încălzire pentru călire, atunci piesa se găsește în intervalul de separare a carburilor aproape 8 ore.

Cap. 6. CONCLUZII FINALE.

În cadrul tezei de doctorat consider că s-au realizat următoarele elemente de tehnologie și încercări mecanice pentru a se obține reducerea de rebuturi la turnarea bilelor din oțel manganos și la obținerea unei microstructuri care conferă o rezistență mare la uzare.

6.1. Contribuții teoretice.

S-a studiat documentația tehnică din țară și străinătate privind compoziția chimică, elaborarea, turnarea și tratamentul termic al bilelor din oțeluri manganoase.

Din studiile documentare a rezultat că se vor obține bile cu o rezistență mare la uzare dacă se fac următoarele constrângeri la compoziția chimică: $\frac{Mn}{C} \geq 10$;

$\frac{Cr}{C} = 0,8 - 1,92$. S-au studiat 4 variante tehnologice de călire de punere în soluție și s-a făcut optimizarea tratamentului termic al bilelor. După turnare se aplică un tratament termic de călire de punere în soluție pentru obținerea unei austenite cu grad mare de omogenizare. Pentru îmbunătățirea tehnologiei de turnare s-au aplicat programe complexe de simulare, care au permis stabilirea unor variante tehnologice care au realizat plasarea retasurii în centrul bilelor și o structură austenitică cu carburi fin dispersate.

6.2. Contribuții tehnice și științifice.

S-a realizat o analiză critică a tehnologiei de elaborare și turnare a bilelor la nivel industrial, caracterizată în lucrare, (figura 2.1)

- S-a realizat o nouă tehnologie de elaborare și turnare a bilelor din oțeluri manganoase, zona industrială, marca T130Mn135, caracterizată printr-o mai bună regenerare a manganului în baie, în timpul alierii cu FeMn.

Măsurile pentru îmbunătățirea calității oțelurilor manganoase austenitice, descrise în prezenta lucrare, au fost experimentate pe un număr 20 de șarje. Eficacitatea economică a măsurilor aplicate rezultă din următoarele date.

6.2.1. Reducerea procentului de rebuturi. Așa cum s-a arătat în prima parte a lucrării prin aplicarea noii tehnologii procentul de rebuturi s-a redus de la 14% până la 2,7% (tabelul 2.3)

La economiile realizate trebuie adăugate și scăderea costurilor reprezentând consumurile de feroaliaje, materiale de adaos, energie electrică, electrozi, manoperă, regie etc. necesare pentru recircularea metalului rebutat.

6.2.2. Îmbunătățirea calității oțelului. Prin utilizarea amestecului dezoxidant complex, așa cum s-a arătat, se îmbunătățesc structura și caracteristicile mecanice, ca o consecință a conducerii judicioase a procesului de elaborare și a utilizării amestecului dezoxidant complex(tabelul 2.7).

6.2.3. Mărirea productivității cuptorului. Ca urmare a reducerii duratei de elaborare de la 5 h 25 min la 4 h 55 min, rezultă o creștere a productivității de 9% (tabelul 2.6).

Ca urmare a reducerii duratei de elaborare, se realizează economii importante și la consumul de energie electrică, electrozi și manoperă.

6.2.4. Realizarea unei tehnologii de elaborare și turnare a bilelor, din oțel marca T120CrMn130, zona de laborator, folosind cuptorul electric prin inducție.

Principale elemente ale acestei tehnologii sunt:

- prin alierea oțelului austenitic manganos cu un procent de 1,5-2,5% Cr se reduce sensibil cantitatea de piese rebutate, prin formarea în structura oțelului a carburilor complexe, rezistente la crăpături la cald (700...800° C);
- oțelul ales este un oțel austenitic manganos marca T120CrMn130,
- în oțelul austenitic manganos cromul are rolul de stabilizator al carburilor prin formarea unor carburi complexe. Prin alierea cu crom în limitele indicate s-a constatat și o creștere a durității și rezilienței oțelului austenitic manganos (tabelul 2.9);
- elaborarea oțelului austenitic manganos marca T120CrMn130; s-a realizat într-un cuptor electric prin inducție cu căptușeală acidă; alt aspect prin care se realizează economii apare datorită diferențelor de cost între o căptușeală bazică și una acidă, deoarece căptușeală cuptorului nu participă la reacțiile chimice ale băii metalice. S-a ales procedeul de elaborare, varianta acidă, deoarece s-a considerat că temperatura băii metalice, în timpul elaborării nu va depăși temperatura critică de 1460⁰C, temperatură la care componentele băii metalice încep să intre în reacție chimică cu căptușeala cuptorului.

6.3. Realizarea unei tehnologii de turnare utilizând pentru simulare programul MAGMASOFT

S-au realizat simulări pentru diferite variante tehnologice de turnare și diferite forme de turnare. Prima variantă de turnare s-a efectuat asupra unei bile turnate fără maselotă pentru a observa dezvoltarea normală a retasurii. S-a abordat simularea turnării bilelor cu răcitori interni dar fără rezultate deosebite.

În continuare s-a simulat turnarea unei bile cu răcitor extern din cupru.

Pe baza simulării turnării unei bile turnate cu răcitor exterior din cupru s-au putut defini parametrii tehnologici principali ai procesului de turnare practic, astfel încât să se obțină defectul de turnare plasat în interiorul piesei, și anume:

- timpul de turnare 4 secunde;
- temperatura de turnare 1400⁰C.

Varianta simulată a dat rezultatele așteptate, adică retasura s-a regăsit în interiorul piesei, dar din punct de vedere economic s-a considerat că nu este rentabilă.

Simularea turnării unei forme cu 6 bile a arătat că și în acest caz este posibilă plasarea retasurii în centrul piesei, respectând următorii parametrii tehnologici principali:

- temperatura de turnare 1460⁰C;
- timpul de turnare 2 secunde.

6.4. Studii experimentale asupra caracteristicilor bilelor turnate

S-au făcut turnări practice ale bilelor cu diametru de 100 mm în forme de turnare cu 6 bile în baza parametrilor tehnologici de turnare principali definiți anterior.

Din diferitele variante tehnologice studiate prin simulare s-a ales pentru aplicarea varianta de turnare cu 6 bile deoarece volumul retasurii în acest caz este de circa 7 cm³, mult mai mic decât în cazul turnării bilelor cu răcitor. Raportat la volumul piesei aceasta reprezintă 1,33% din volumul piesei. Retasura este mult mai bine centrată decât în cazul turnării unei bile cu răcitor iar metoda de turnare cu 6 bile este mult mai eficientă.

S-au verificat în practică elementele date de tehnologia simulată a turnării și anume s-a măsurat variația temperaturii în timpul procesului de răcire și solidificare; rezultatele practice comparate cu cele obținute prin simulare sunt aproape identice.

Rezultatele măsurătorilor pot fi extinse și la alte produse din oțeluri manganoase.

S-au făcut cercetări și încercări asupra bilelor turnate, luând în considerare varianta de elaborare în cuptorul electric prin inducție și turnarea oțelului marca

T120CrMn130, în forme pierdute cu rețeaua cu 6 bile.

Măsurătorile dimensionale au scos în evidență abateri de la formă sferică cuprinse între valorile + 1mm, -2 mm (tabele 4.1 și 4.2), ceea ce corespunde STAS 1185-87, care prevede abateri limită pentru bile turnate cu diametrul cuprins între 70 – 120 mm, o abatere de $\pm 3\%$.

S-au făcut determinări ale greutateii bilelor (tabelele 4.1 și 4.2). Din aceste determinări rezultă că bilele turnate în varianta în formă de turnare cu șase bile sunt mai grele cu aproximativ 50 grame decât cele turnate cu răcitor exterior din cupru, fapt ce demonstrează că aceste bile au o densitate mai mare și contracția de retasură mai mică.

S-au urmărit în mod special plasarea și dimensiunile retasurii și s-a constatat că în toate cazurile ea tinde să se situeze către centrul bilelor (figurile 4.13, 4.15, 4.19 și 4.20).

Volumul total de metal turnat este de 4548 cm^3 , volumul metalului în rețeaua de turnare și în maselotă este de 1410 cm^3 : Volumul pieselor turnate este de 3138 cm^3 , din raportul volumul rezultă ceea ce reprezintă o scoatere de 69%.

Prin analize de laborator s-a stabilit că după turnare, bilele au o structură austenitică cu carburi care tind să se separe către limitele de grăunte. Variația durității pe secțiunea bilelor turnate cu răcitor exterior de cupru este cuprinsă între 185 – 195 HB (figura 5.1), iar pentru cele turnate în forme de nisip este cuprinsă între 215 – 220 HB (figura 5.3).

Bilele turnate au fost supuse tratamentului termic de călire de punere în soluție în 3 variante tehnologice (figura 5.6, 1, 2, 3) cu diverși timpi de menținere, de la 45 minute până la 3 ore .

Analizele de laborator a bilelor tratate termic în diferite variante tehnologice, atestă obținerea unei austenite cu grad mare de omogenizare dacă se aplică călirea de punere în soluție prin dezbatere din formă la 1100°C (figura 5.7);

Măsurătorile de duritate efectuate pe probele tratate termic în variantele mai sus menționate dau valori între 118-145 HB pentru varianta 1 de tratament termic, 136-158 HB pentru încălzire rapidă, respectiv 163-166 HB pentru încălzire în trepte (figura 5.11); valorile de duritate confirmă încă o dată că variantele de călire de punere în soluție prin dezbatere din formă la 1100°C și răcire în apă, sau varianta de încălzirea rapidă sunt cele mai corespunzătoare.

S-au făcut încercări de reziliență pe probe cu creștătura în V, călite în diferite variante

tehnologice și s-a constatat că acestea se încadrează în limitele 21 – 23 j/cm² (figura 5.12). Încercările de tenacitate ale oțelului marca T120CrMn130, atestă că varianta tehnologică de călire de punere în soluție cu încălzirea rapidă este cea mai avantajoasă, dacă nu se poate proceda la dezbaterea piesei la o temperatură de 1200⁰C urmată fie de o răcire violentă cu apă fie de introducerea piesei în cuptorul de călire.

În final se face precizarea că după turnarea oțelului marca T120CrMn130 având o structură austenitică neomogenă cu tendința separării carburilor la limitele de grăunte cu valori ale durițăților cuprinse între 200 – 220 HB (figurile 5.1 și 5.3) și cu reziliența KV 21 j/cm² (figura 5.12), se impune aplicarea tratamentului post-turnare în diferite variante tehnologice.

Din cele analizate și prezentate în lucrare rezultă că se obțin rezultate foarte bune dacă se face călirea de punere în soluție prin încălzirea în trepte cu o durată de menținere 2 – 3 ore pentru bilele cu diametru de 100 mm.

6.5. Contribuții personale

Socotim că teza de doctorat aduce următoarele contribuții personale în privința turnării bilelor din oțeluri manganoase, subiect ce face obiectul tezei „ studii teoretice și experimentale privind turnarea bilelor din oțel cu conținut ridicat de mangan pentru morile de măcinat minereu”:

- tehnologia de elaborare în cuptoare electrice cu arc industriale în care s-au aplicat măsuri prin care s-au obținut următoarele: dezoxidare avansată, reducerea duratei șarjei cu 30 minute, micșorarea tendinței de apariție a rebuturilor (de la 14% la 2,7%), a retasurilor, porozităților și a fisurilor;
- tehnologia de elaborare în cuptoare electrice prin inducție cu căptușeală acidă;
- simularea procesului de turnare a oțelului manganos folosind MAGMASOFT și realizarea de măsurători asupra parametrilor de turnare folosind softul Lab VIEW în care s-au studiat variantele de turnare propuse de autor și anume simularea turnării unei bile fără maselotă, simularea turnării unei bile cu răcitori interni, cu răcitor exterior din cupru și simularea turnării unei forme cu 6 bile;
- simularea, selectarea a permis alegerea corectă a parametrilor de turnare și au fost făcute cu discernământ după mai multe consultări cu specialiști din producție;

- realizarea practică a bilelor cu diametru de 100 mm, din oțel marca T120CrMn130, folosind tehnologia de elaborare în cuptorul electric prin inducție cu căptușeală acidă și parametri indicați de simulare, pentru diferite variante tehnologice de turnare;
- ideea plasării retasurii de contracție în centrul bilei este originală și împreună cu obținerea unor goluri mai reduse ca valoare este o consecință a tehnologiilor de turnare adecvate folosite de către autor, pentru a avea o formă sferică cea ce provoacă o uzare uniformă a suprafața sferei și creșterea duratei de exploatare;
- s-au studiat și încercat diferite variante tehnologice de călire de punere în soluție pe probe turnate concomitent cu bilele, precizându-se parametri tehnologici care conferă cele mai bune caracteristici structurale și mecanice ale oțelului marca T120CrMn130;
- s-a efectuat încercarea de a corobora noțiunile de „separări din soluția de austenită a carburilor” atât la răcirea pieselor turnate cât și la încălzirea acestora pentru călirea de punere în soluție, ceea ce a permis să se prescrie noi tehnologii de dezbatere a pieselor turnate, dar în special de călire.

În final se apreciază că variantele tehnologice de elaborare, turnare, tratament termic, permit obținerea de bile din oțel austenitic manganos de bună calitate și cu un nivel de revenire mai redus.

- realizarea practică a bilelor cu diametru de 100 mm, din oțel marca T120CrMn130, folosind tehnologia de elaborare în cuptorul electric prin inducție cu căptușeală acidă și parametri indicați de simulare, pentru diferite variante tehnologice de turnare;
- ideea plasării retasurii de contracție în centrul bilei este originală și împreună cu obținerea unor goluri mai reduse ca valoare este o consecință a tehnologiilor de turnare adecvate folosite de către autor, pentru a avea o formă sferică cea ce provoacă o uzare uniformă a suprafața sferei și creșterea duratei de exploatare;
- s-au studiat și încercat diferite variante tehnologice de călire de punere în soluție pe probe turnate concomitent cu bilele, precizându-se parametri tehnologici care conferă cele mai bune caracteristici structurale și mecanice ale oțelului marca T120CrMn130;
- s-a efectuat încercarea de a corobora noțiunile de „separări din soluția de austenită a carburilor” atât la răcirea pieselor turnate cât și la încălzirea acestora pentru călirea de punere în soluție, ceea ce a permis să se prescrie noi tehnologii de dezbatere a pieselor turnate, dar în special de călire.

În final se apreciază că variantele tehnologice de elaborare, turnare, tratament termic, permit obținerea de bile din oțel austenitic manganos de bună calitate și cu un cost de revenire mai redus.

BIBLIOGRAFIE

1. Alexandru C., Sporea I., Olariu M., Crainic., Popescu R., Studii și încercări privind tratarea aliajelor feroase fluide în vederea îmbunătățirii proprietăților mecanice, Sesiunea de Comunicări Științifice a Universității „Aurel Vlaicu” Arad, 1984, pag. 1-8.
2. Alexandrov, N., Turnarea pieselor de oțel pentru mori cu bile, Turnătoria, 1939.
3. Bidulya, P., “Steel Foundry Practice”, Translated From Russian by Anatoly Troitsky, Moscow, 1954.
4. Borisov B.I., Kulbaka S.I., Stanki i instrument XXXVI (1956), Nr. 7, pag. 26.
5. Bratu, C., Sofroni, L., Damian, M., Cotor, L., „Influența fosforului și siliciului asupra proprietăților fizico-mecanice ale oțelului austenitic manganos”, Revista de Metalurgie 1/2001.
6. Bratu, C., s.a Elaborarea și turnarea oțelului (partea a II – a) Edit. Litografia U.P.B., 1994.
7. Cavory, G., Introduction dans la simulation, Edition Organisation, Paris, 1996.
8. Caramazin, B., Problema dezoxidării oțelului calmat. Teoria și practica metalurgiei, 1940, nr.1,28.
9. Caramazin, B.I., Oțeluri manganoase înalt aliate și diferite piese turnate, Oțel de calitate, 1935.
10. Chipman, J., În „ J. Of Iron Stell Inst”, Londra, 180, 1955.
11. Clarck D. S. and Varney W.R, “Metallurgy For Engineers”, 2nd ed., p. 205, 228, 462, (1962)
12. Clarck, D. And J. Coutts, “The Production and Application of Manganese Steel in Australia, Transactions American Foundrymen’s Association, Vol. 40, pp. 29-46, (1932)
13. Cosneanu, C., Căptușela cuptoarelor electrice prin inducție cu masă cuarțoasă. În. Metalurgia, sept., 1972.
14. Cosneanu, C., Elaborarea aliajelor de turnătorie în cuptoare electrice prin inducție, Editura Tehnică, București, 1974.
15. Cousans, F., “ Production and Properties of Steel Castings, Foundry Trade J., Vol. 58, pp. 145-148, 150, (1938),

16. Desnitki, V.P., „Întrebuințarea răcitoarelor interioare și exterioare pentru turnarea pieselor din oțel”, Liteinoe proizvodstvo, nr.6, 1955
17. Dobrohotov, M.N., „ Calculul duratei de solidificare a pieselor turnate și al duratei de încălzire a pereților formei de turnare” .metalurghizdat, 1960.
18. Gareschiv – Sulte s.a. În oțelul, (traducere din limba rusă), București, I.D.T., 1962, nr.2.
19. Ghiță M., Sporea I., Olariu M., Sporea O., „ Sistem pneumatic de închidere – deschidere a cochilelor de turnat aliaje feroase. Conferința S.H.P, Timișoara 1985, pag. 223-228
20. Gulesev, B.B., „Solidificarea și neomogenitatea oțelului” Metalurghizdat, 1950;
21. Gurman, A.A., Metode de calcul ale proceselor de cristalizare la turnare, „ Jurnal Tehnic, caiet 1,1955;
22. Hall, J. H., “Austenitic Manganese Steel Castings, ASTM – AFA, Symposium on Steel Castings, pp. 200-214, (1932)
23. Ivan, St., Mladen M, Sporea I., Ghiță M., Considerații asupra duratei în exploatare a oțelului rezistent la uzare T110Mn130, Simpozion, Universitatea de Vest, Timișoara 1994, pag. 400-405.
24. Jefferson, T.B., Metals and How to Weld Them, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2 nd ed., p. 255, (1962)
25. Kirilov K.N., Kirilova O.M., Sverdenie otverstii detaliah iz trudnoobrabatavaemah materialov. Mașinostroenie. Moskva 1956, pag. 83.
26. Kreith J, “Principles of Heat Transfer”, 3rd ed., Harper & Row, (1973.
27. Law, Averill M. and Kelton, David W., “Simulation Modeling and Analysis,” McGraw Hill, 1991, Second Edition;
28. Marta, C., Baia metalică în faza de topire la elaborarea oțelului austenitic manganos, Analele Universității „Eftimie Murgu” Reșița, anul IX, nr.1, ISSN 1453 – 7394. 2002
29. Marta, C., Contribuții privind elaborarea oțelului austenitic manganos, Analele Universității „Eftimie Murgu” Reșița, anul IX, nr.1, ISSN 1453 – 7394. 2002.
30. Marta C., Sporea I., Mrachiș D., Alexandru C., Lupinca I., Turnarea bilelor în cochile mecanizate, Al XII – les Simpozion Național de „Roboți Industriali” Timișoara, 1994, pag. 99-102.
31. Marta C., Sporea I., Mrachiș D., Alexandru C., Lupinca I., Poescu R., Descrierea instalației semiautomate de turnat în cochile Al XII – les Simpozion

- Național de „Roboți Industriali” Timișoara, 1994, pag. 103-106.
32. Mihailov A.M., s.a. Liteine proizvodstvo, nr. 7, Moskva 1980.
 33. Nehendzi, I.A., „Turnarea oțelului” , Traducere din limba rusă, Editura Tehnică, București, 1952
 34. Nehendzi, I.A, Turnarea oțelului, Editura Tehnică, 1957;
 35. Permana, M.S., “Heat Transfer Simulation Using Ansys Finite Element, 1998 Software to Estimate Holding Time The Specimen in The Furnace, Research, Universitas Pasundan, (1998).
 36. Permana, M.S., “Heat Transfer Simulation Using Ansys Finite Element 1998.
 37. Plockinger, E., Influence of Dezoxidation Practice and Cleanness of Steel, Londra, 1963.
 38. Rajicov, A.A, „Maselote pentru turnarea oțelului”, Mașghiz, 1957
 39. Rău, Cosma, Ilin, Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu arc, București, Editura Tehnica, 1967.
 40. Rey, M., Les idees modernes sur le constitution des laitieres fondus et l'activite thermodynamique des constituants des laitieres. Paris, Les chapiers du CESSID, 1954.
 41. Reznicov, R.,. Calculul elementelor rețelei de turnare, Turnătoria 1957, Calculul și construcția rețelei de turnare în turnătoriile de oțel., Lennizdat , 1964.
 42. Ripoșan I, „Fonte albe rezistente la uzură” Editura Tehnică, București, 1986
 43. Schenek, H., Physikalische Chemie der Eishuttenprozessen, vol. II, Berlin, Ed. Springer, 1943;
 44. Schuman, R., “Metalurgia fizică”, Ed. Tehnică, 1980, București.
 45. Sicolaev, V.P., Tratatamentul termic al oțelului manganos folosind temperatura remanentă a piesei turnate. Lit. Proiz. Mr.1/1980
 46. Skvorțov, A.A., Calculul răcitoarelor pentru piesele turnate din oțel, I.D.T., București, 1957
 47. Sporea I., Nichici A. Asupra posibilităților de prelucrare cu scânteii electrice a pieselor din oțel austenitic manganos. Buletin Științific și Tehnic al IP Timișoara, serie nouă, Fasc. 1., Tom 1327), Timișoara 1968, pag. 103 – 108.
 48. Sporea I., s.a. Modificări structurale la sudarea oțelurilor de tip manganos. A VIII – Conf. Trat. Termice, Tg. Mureș, 1984.
 49. Sporea I., Crainic M., Ivan S., Mladen M, „ Asupra turnării oțelului austenitic manganos în piese rezistente la uzură, Analele universității din Oradea,

- Fascicola, Mecanica Oradea., 1982, pag. 478 – 486.
50. Suratman R., „ Alloy Design and Casting Practice of Hadfield’s Manganese Steel, Metallurgical Science and Technology, Vol. 1, 1990, pag. 822 - 840
 51. Ștefan i., Mladen M., Sporea I., Ghiță M., „Considerații asupra duratei în exploatare a oțelului austenitic manganos rezistent la uzare”, Comunicare la Simpozionul organizat de Universitatea din Timișoara, Facultatea de Științe Economice 22-23 octombrie 1992, pag. 400 – 405.
 52. Ștefănescu, C.,. Realizări noi în domeniul construcției și exploatării cuptoarelor electrice. București, I.D.T., 1966.
 53. Ștefănescu, C Tehnologii de executare a pieselor prin turnare, Editura Tehnică, București, 1980
 54. Subramanyam D.K., A. E. Swansiger and H. S. Avery, , “Austenitic Manganese Steel”, Metal Handbook, Vol 1, 8th ed., p. 822-840, (1961).
 55. Temkin, M.J., In acta Phsicochem, Moscova, 1945.
 56. Thelning, “Steel and Its Heat Treatment, 2nd ed., Great Britain, Mackays of Catham Ltd., Kent, p. 12, 24-30, 91, 222-302, (1984)
 57. Trușculescu, M., “Studiul metalelor”, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.
 58. Trușculescu, M., “Știința materialelor. Analize și încercări.”, Ed. Politehnică, Timișoara, 1993.
 59. VasIU I., “ Studii asupra consumului de energie în procesele de măcinare a minereurilor în morile cu bile”, Facultatea de Inginerie Hunedoara, 1996.
 60. Veinik, A.I. ,”Analiza condițiilor de interacțiune termică a piesei turnate și a formei”, Institutul de Documentare Tehnică, Bucuresti 1975;
 61. Veinik, A.I., Bazele termice ale teoriei turnării; 1953;
 62. Vlasov, V.I., Oțelul turnat înalt aliat cu mangan, Moskva, Masghiz, 1963.
 63. *** Ansys, “Basic Analysis Procedures Guide”, Release 5.3, Ansys, Inc., 1st ed. ISO 9001, (1996)
 64. *** Colecție STAS 1992
 65. *** Contract cercetare Nr. 118/1987 între Institutul Politehnic „ Traian Vuia” Timișoara și Întreprinderea Chimică Târnăveni cu tema „Turnarea pieselor din oțel austenitic manganos de la concasoarele giratorice”.
 66. *** Soft de simulare COSMOS var. 3.0, 2002
 67. *** Lab VIEW; Manual de utilizare, National Instruments, 1995

68. *** MAGMA GIESSEREITECHNOLOGIE GMBH, Copyright 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002;
69. *** [webstore.ansi.org/ansidocstore/product.asp?sku=ASTM+A128%2FA128M-93\(1998\)](http://webstore.ansi.org/ansidocstore/product.asp?sku=ASTM+A128%2FA128M-93(1998)).
70. *** www.braunconsultant.com
71. *** www.key-to-steel.com/
72. *** www.maqotteau.com
73. *** www.postle.com/work_hardening_austenitic_alloys.htm
74. *** [/www.sical.com.br/materiais/mang_aust.pdf](http://www.sical.com.br/materiais/mang_aust.pdf)
75. *** www.wescottsteel.com/
76. *** Manganese steel in industry. Mechanical World 138 (1958), Nr. 3473, pag. 543.
77. *** Margantovistaia stali. Metallurghizdat. Moskva 1959, pag.99.