

## CAPITOLUL 1. TEORIA SOLIDIFICĂRII METALELOR

### 1.1. DETERMINAREA FLUIDITĂȚII METALELOR ȘI ALIAJELOR DE TURNĂTORIE

#### 1. Considerații teoretice

Prin fluiditate înțelegem capacitatea de curgere a metalului sau a aliajului lichid și de umplere corectă a formei, cu redarea celor mai fine detalii ale configurației cavității propriu-zise. Ea prezintă importanță deosebită și sub alte aspecte decât acelea de a umple forma. O fluiditate ridicată ușurează ieșirea la suprafața băii metalice a aerului și gazelor antrenate de jetul de metal lichid la turnare obținându-se astfel piese lipsite de incluziuni gazoase (sufuri) sau incluziuni de zgură ori nisip erodat din pereții formei. Totodată, aliajele cu fluiditate ridicată se solidifică cu o structură compactă și o retasură concentrată (gol de solidificare), care poate fi ușor îndepărtată prin maselotare sau reumplere chiar în timpul solidificării. Aliajele cu fluiditate redusă au tendința de a forma structuri puțin dense (rare), cu retasuri dispersate în masa aliajului (pori), mai greu de îndepărtat cu mijloace obișnuite.

Fluiditatea definită în sensul de curgere ușoară și umplere corectă a formei, depinde de următorii factori:

- proprietățile intrinseci ale aliajului: viscozitate, tensiune superficială, conductivitate termică, căldură și greutate specifică a aliajului, interval de solidificare, căldură latentă de solidificare, grad de impurificare, tendință de oxidare, compoziția chimică;

- proprietățile formei de turnare: conductivitatea materialului formei, coeficientul de difuzivitate termică, calitatea suprafețelor în contact cu aliajul turnat, temperatura inițială a formei;

- tehnologia de turnare: dimensiunile și tipul rețelei de turnare, temperatura de supraîncălzire și cea de turnare, presiunea hidrostatică, eventual presiunea exterioară aplicată la turnare, (care determină viteza de umplere a formei).

#### a. *Influența proprietăților aliajului asupra fluidității.*

Dintre proprietățile mai sus enunțate, influența cea mai mare o are viscozitatea. Putem acționa asupra viscozității, pentru scăderea ei, atât prin ridicarea temperaturii de încălzire a aliajului topit, cât și prin modificarea compoziției sale chimice.

Ridicarea temperaturii este un mijloc relativ simplu de care turnătorul poate dispune întotdeauna, dar schimbarea compoziției chimice în scopul obținerii unei fluidități ridicate influențează în majoritatea cazurilor negativ structura și proprietățile mecanice astfel că obținerea unei piese bine turnate nu mai este posibilă în acest caz. Numai dacă proprietățile mecanice joacă un rol secundar și se toarnă piese cu pereți subțiri (2-10 mm) se poate acționa asupra compoziției chimice a aliajului pentru mărirea corespunzătoare a fluidității.

În general, pentru a asigura fluiditatea necesară, aliajul lichid se supraîncălzește cu 50-100°C deasupra liniei lichidus. În timpul transportului, la curgerea prin rețeaua de turnare și prin cavitățile formei, temperatura aliajului scade și viscozitatea lui crește micșorând fluiditatea. Aliajul nu-și pierde complet fluiditatea când temperatura lui coboară până la linia lichidus, ci păstrează proprietatea tehnologică de curgere și după apariția fazei solide, sub formă de cristale ce plutesc în masa lichidă, sau sub formă de cristale aderente la pereții formei. Fluiditatea dispare complet atunci când faza solidă ajunge să reprezinte un procent mai ridicat din greutatea aliajului (20% la oțeluri sau 30% la fonte), deci la o temperatură situată sub linia lichidus.

La un sistem de aliaje cu doi sau mai mulți componenți, definim linia temperaturilor de fluiditate nulă ori fluiditatea zero totalitatea punctelor de temperatură pentru care fluiditatea este nulă la fiecare aliaj din sistem. Această linie este cuprinsă între linia lichidus și solidus (Figura nr.1.1).

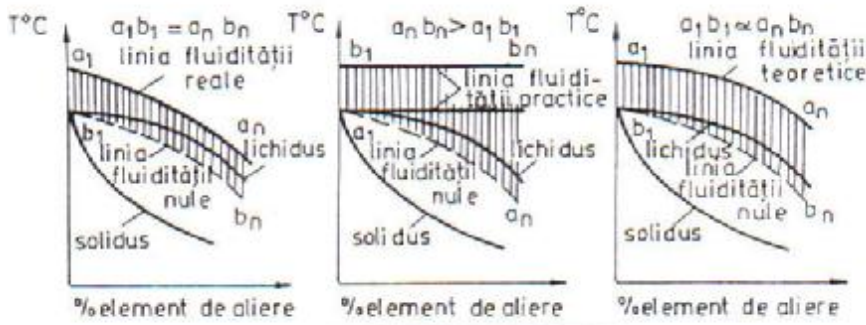
După modul de supraîncălzire a aliajelor în scopul obținerii unei fluidități cât mai bune pentru turnare, deosebim următoarele trei tipuri de fluidități: reală (a), practică (b) și teoretică (c), Figura nr.1.1.

Prin fluiditate reală se înțelege acea fluiditate care s-a determinat la o temperatură constantă deasupra fluidității nule și în acest caz se obțin diferite valori ale temperaturii de turnare, Figura nr.1.1a.

Prin fluiditate practică se înțelege acea fluiditate care se determină la o temperatură de turnare constantă, deci se pot obține diferite supraîncălziri deasupra temperaturii fluidității nule, Figura nr.1.1b.

Prin fluiditate teoretică se înțelege acea fluiditate care se obține prin supraîncălzirea aliajului cu același număr de grade deasupra liniei lichidus, Figura nr.1.1.c.

În practică linia de fluiditate nulă este foarte greu de stabilit și de aceea de multe ori se folosește linia de fluiditate teoretică.



b c a  
 Figura nr. 1.1. Fluiditatea aliajelor: a-reală; b-practică; c-teoretică.

În afară de temperatură, un alt factor cu o influență hotărâtoare asupra fluidității este intervalul de solidificare. Aliajul cu interval mare de solidificare are fluiditate mică, pe când cel cu interval mic de solidificare are o fluiditate ridicată. Cea mai mare fluiditate o au aliajele eutectice și metalele pure, Figura nr.1.2.

În cazul metalelor pure și aliajelor eutectice, care se solidifică la temperatură constantă, cristalele au aceleași dimensiuni în toate direcțiile (cristale echiaxiale), dar la aliajele care se solidifică într-un interval de temperatură, cristalele cresc de preferință într-o anumită direcție (cristale dendritice). În primul caz, faza solidă plutește sub formă de suspensii fără legătură în faza lichidă, iar dacă cristalele aderă la pereții formei, lasă la interior un canal cu pereții aproape netezi, Figura nr.1.3.a, în timp ce cristalele dendritice ajung ușor în contact unele cu altele, formând o fază solidă continuă, iar dacă aderă la pereți lasă în interior un canal cu pereți rușoși, cu unele cristale dezvoltate mult spre axul secțiunii piesei, frânând capacitatea de curgere, Figura nr. 1.3b.

Fluiditatea mai redusă a aliajelor cu interval mare de solidificare poate fi compensată la turnare printr-o supraîncălzire mai mare deasupra liniei lichidus.

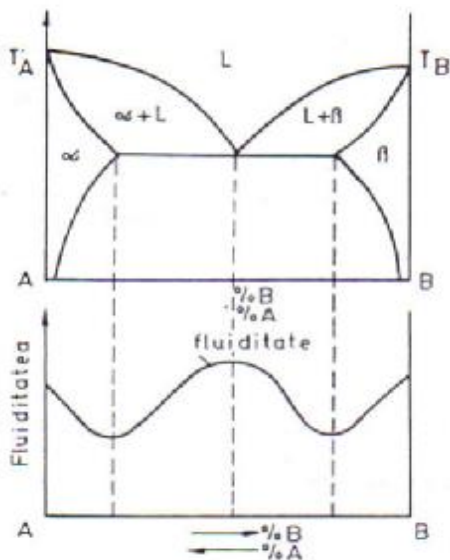


Figura nr.1.2. Fluiditatea aliajelor în funcție de intervalul de solidificare.

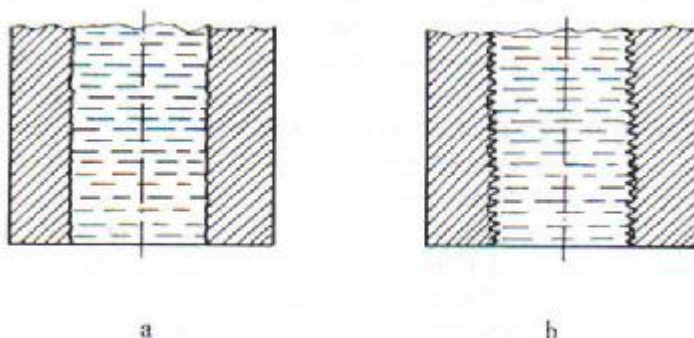


Figura nr.1.3. Influența formei cristalelor asupra fluidității: a-cristale echiaxiale; b-cristale dendritice

*b. Influența materialului formei asupra fluidității.*

În timpul curgerii prin canalele rețelei de turnare și prin cavitatea formei, aliajul lichid își micșorează temperatura și fluiditatea. Cedarea de căldură este proporțională cu coeficientul de transmitere a căldurii și cu diferența de temperatură între aliaj și formă, relația 1.1:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (T_m - T_f) \cdot t \quad (1.1)$$

în care: Q reprezintă cantitatea de căldură cedată în timpul t;  $\alpha$  -coeficientul de transmitere a căldurii; S- suprafața de transmitere a căldurii;  $T_m$  -temperatura aliajului topit; t-timpul pentru cedarea cantității de căldură Q;  $T_f$ -temperatura de preîncălzire a formei.

Căldura cedată de aliaj determină o scădere a temperaturii ( $\Delta T$ ), care poate fi obținută din relația 1.2:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1.2)$$

în care: m este masa metalului care participă la cedarea căldurii;  $c_p$  -căldura specifică la presiune constantă pentru domeniul lichid;  $\Delta T$ -scăderea temperaturii aliajului.

O parte din căldura primită de peretele formei servește la ridicarea temperaturii acestuia, deci la micșorarea diferenței  $T_m - T_f$ , iar o altă parte este transmisă prin peretele formei spre exterior. În cazul când conductivitatea termică a formei este mare (cazul formelor metalice), cantitatea de căldură transmisă prin pereți este mare, deci creșterea temperaturii peretelui este mică, diferența  $T_m - T_f$  se menține mare, aliajul pierde multă căldură și fluiditatea lui scade repede.

De aceea, la turnarea în forme metalice, pentru a asigura o capacitate de curgere și umplere a formei acceptabile, formele se încălzesc înainte de turnare la 250-300°C, pentru a micșora diferența  $T_m - T_f$ , iar la interior se acoperă cu o vopsea refractară din materiale rău conducătoare de căldură. În cazul turnării în forme metalice a pieselor mici cu pereți subțiri se aplică metoda injectării aliajului în formă cu presiune mare (turnare sub presiune), pentru a asigura o viteză mare de umplere și o durată minimă de contact între aliajul lichid și pereții formei.

Formele din amestec de formare au o conductivitate termică mai redusă și cantitatea de căldură transmisă prin perete este mai redusă. Un aliaj cu aceeași temperatură inițială turnat în forme din amestec de formare are o capacitate de umplere (fluiditate) mai mare decât în cazul formelor metalice.

Frecarea aliajului lichid de pereții formei influențează curgerea, deoarece pereții ruгоși frânează acest proces. Dacă în contact cu aliajul lichid, în pereții formei se formează gaze, filmul de gaze creat reduce frecarea de pereți și aliajul își menține fluiditatea la un nivel optim. Un astfel de înveliș de gaze se formează la turnarea în forme crude, prin evaporarea umidității, iar în cazul amestecurilor de formare cu adaos de cărbune se formează gaze și prin distilarea cărbunelui.

Piesele de fontă și oțel cu pereți subțiri se pot turna în condiții mai bune de umplere în forme crude, atunci când fluiditatea permite aceasta.

*c. Influența condițiilor de turnare asupra fluidității.*

Fluiditatea este mai mare, cu cât supraîncălzirea aliajului deasupra liniei de fluiditate nulă, respectiv deasupra liniei lichidus, este mai mare și deci, viscozitatea este mai mică. De asemenea, cu cât viteza de umplere a formei este mai mare, cu atât pierderea de căldură prin pereții formei va fi mai mică și cu atât se menține mai ridicată temperatura aliajului și fluiditatea lui. Viteza de umplere este determinată de viteza liniară a lichidului în secțiunea de intrare a aliajului în cavitatea formei, precum și de secțiunea alimentatorului (ori alimentatorilor)

## 2. Metode de determinare

Aceste metode pot fi directe sau indirecte, primele fiind cele mai utilizate. Metodele directe se împart în trei grupe:

a. Metoda bazată pe încetarea curgerii aliajului datorită cristalizării într-un canal cu secțiune variabilă.

Mărimea fluidității se determină prin măsurarea dimensiunii liniare a secțiunii părții frontale solidificate a probei. Încetarea curgerii se datorește atât cristalizării cât și influenței tensiunii superficiale a aliajului în stare lichidă.

În cadrul acestei metode se folosește:

- proba tip pană, Figura nr.1.4 a, la care se măsoară grosimea părții ascuțite a penei;
- proba sferică, Figura nr.1.4 b, la care se măsoară orificiul format de sferă. Se folosește în cazul aliajelor cu tensiune superficială mare.

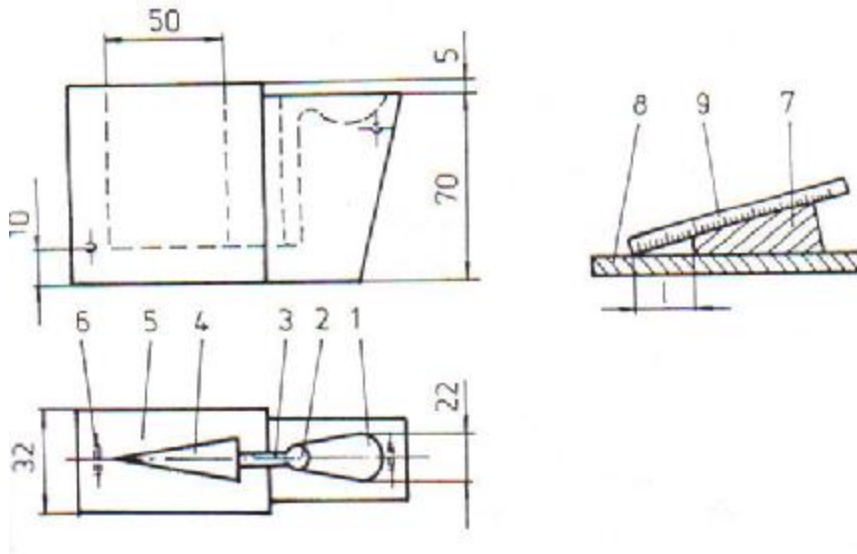


Figura nr.1.4a. Proba tip pană:  
1-pâlnie; 2-picior; 3-alimentator tip fantă; 4-cavitatea propriu-zisă; 5-semiformă; 6-sistem închidere; 7-probă; 8-suport; 9-riglă.

b. Metoda bazată pe încetarea curgerii datorită cristalizării aliajului într-un canal de ieșire scurt și cu diametru mic.

Valoarea fluidității se determină după greutatea aliajului care a țâșnit de la începutul încercării și până la încetarea curgerii (obturarea canalului).

c. Metoda bazată pe curgerea aliajului într-un canal lung, cu secțiune constantă, datorită răcirii și cristalizării aliajului.

Valoarea fluidității se determină prin măsurarea lungimii probei solidificate. În cadrul acestei metode se folosesc:

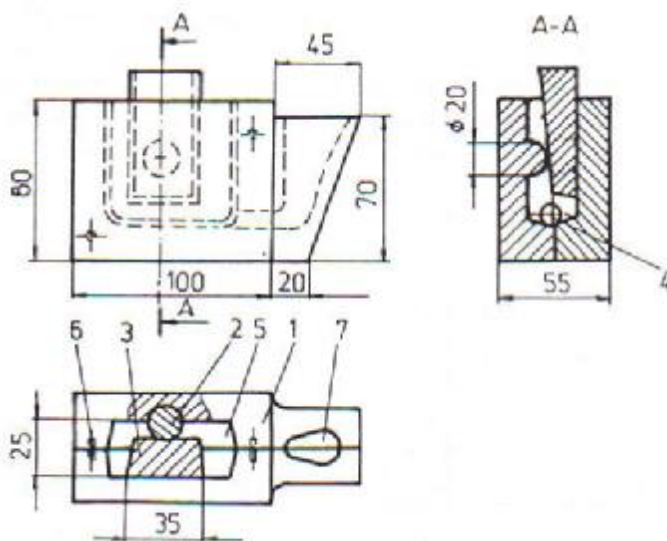


Figura nr.1.4b. Proba sferică:1-semiformă; 2-bilă; 3-pană; 4-alimentator; 5-cavitate propriu-zisă; 6-sistem închidere; 7-pâlnie turnare.

-proba spirală, Figura nr. 1.4 c. Se folosește pentru determinarea fluidității oțelurilor, fontelor și aliajelor neferoase ea fiind cea mai utilizată probă. Fluiditatea se determină prin măsurarea lungimii părții de spirală care s-a umplut cu aliaj. Spirala are lungimea de 1500 mm și secțiunea de formă trapezoidală ( $50 \text{ mm}^2$  pentru fontă,  $70 \text{ mm}^2$  pentru oțel,  $40\text{-}60 \text{ mm}^2$  pentru aliaje neferoase). Pentru a se ușura citirea lungimii probei turnate, pe modelul spiralei sunt prevăzute 30 proeminențe la distanța de 50 mm una de alta;

-proba dreaptă, Figura nr.1.4 d, se folosește pentru determinarea fluidității aliajelor neferoase ușoare. Proba are diametrul de 5 mm și lungimea de 500 mm;

-proba în formă de U (Nehendzi și Samarin), Figura nr.1.4 e. Proba în formă de U se toarnă într-o formă metalică și face parte din grupa probelor cu profil complicat. Proba are o porțiune inițială descendentă (verticală) cu diametrul de 9 mm, iar porțiunea finală (verticală) ascendentă cu 6 mm. Bazinul de turnare se execută din fontă sau amestec de miez, care asigură condiții mai bune de lucru. Temperatura formei metalice trebuie să fie aceeași la fiecare turnare. Proba în formă de U se folosește la determinarea fluidității oțelului și are avantajul unui consum redus de aliaj pentru probă;

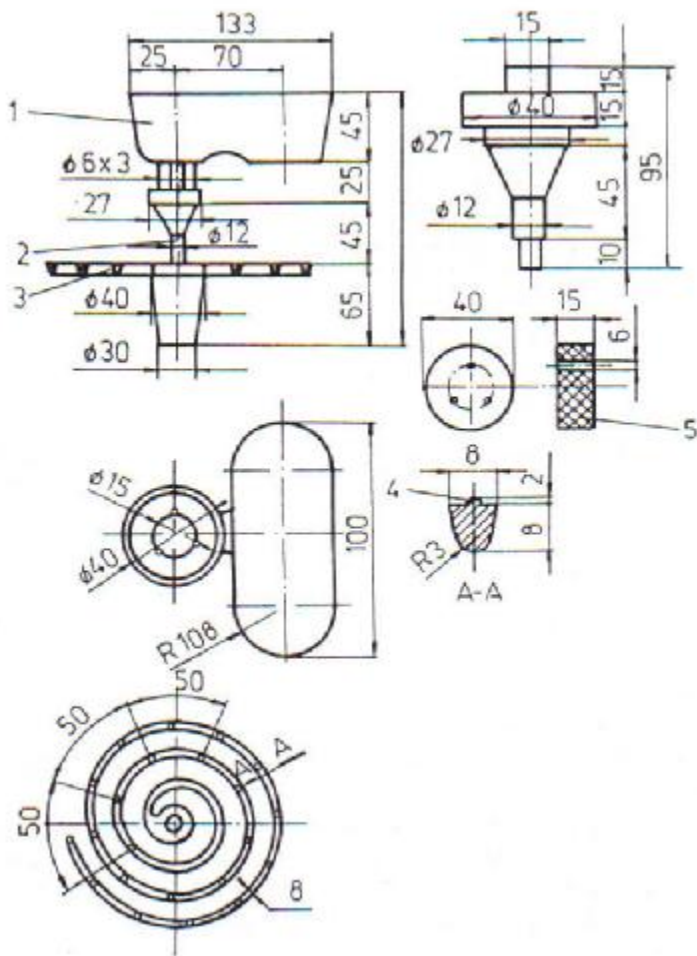
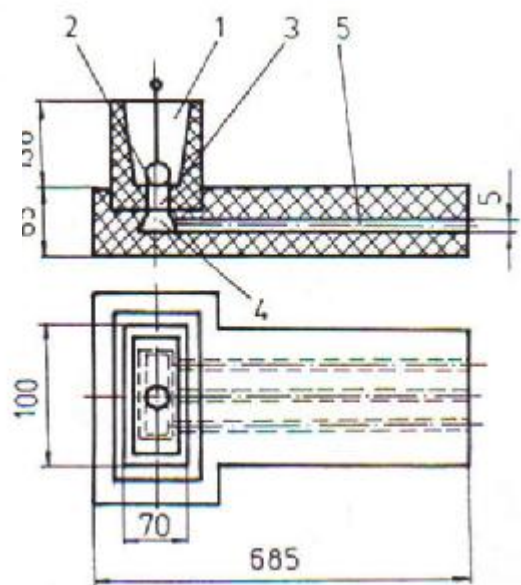


Figura nr.1.4c. Proba spirală: 1-pâlnie; 2-picior; 3-canal spiral; 4-proeminențe; 5-filtru.

Figura nr.1.4d. Proba dreaptă: 1-pâlnie; 2-dop de obturare; 3-orificiu pâlnie; 4-alimentator; 5-cavitate propriu-zisă



-proba harfă, Figura nr. 1.4 f. Metoda se bazează pe umplerea concomitentă a mai multor canale de diametre diferite, iar fluiditatea se determină numai pentru un interval limitat al temperaturii de turnare, căruia îi corespunde un diametru determinat al piciorului sau înălțimea diferită a probei.

Spre deosebire de celelalte probe, la turnarea probei harfă presiunea metalostatică nu rămâne constantă în timpul turnării, ci se micșorează pe măsura ridicării nivelului aliajului în canalele verticale. Înălțimea la care se ridică aliajul turnat este determinată de înălțimea piciorului, care nu trebuie să fie prea mare.

Pentru a se obține o gradație dorită a înălțimii la care se ridică aliajul în canale, în funcție de natura aliajului se alege diametrul corespunzător al piciorului: 25 mm pentru oțel, 20 mm pentru fontă și 16,5 mm pentru plumb.

Cu ajutorul probei harfă se pot determina corelațiile dintre fluiditate și grosimea piesei turnate precum și variația structurii în funcție de viteza de răcire.

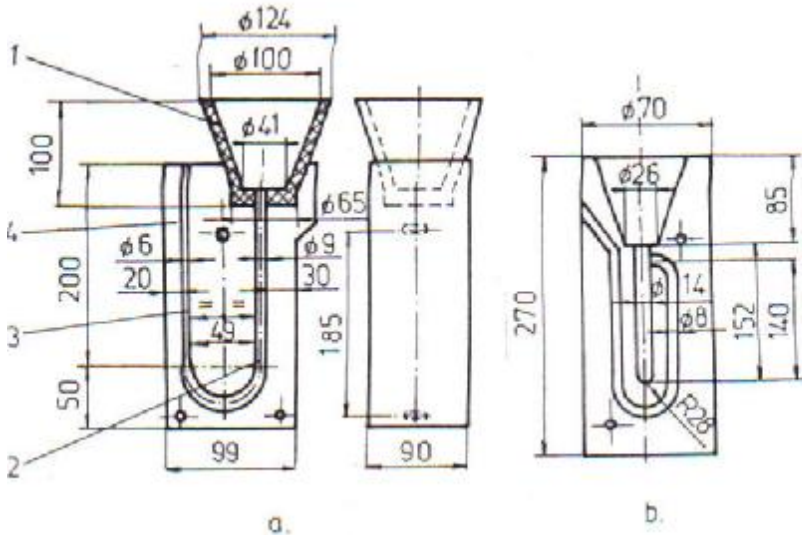


Figura nr.1.4e. Proba în formă de U cu tendință de spumare: a-mică (1-pâlnie; 2-canal descendent; 3-canal ascendent; 4-semiformă); b-mare

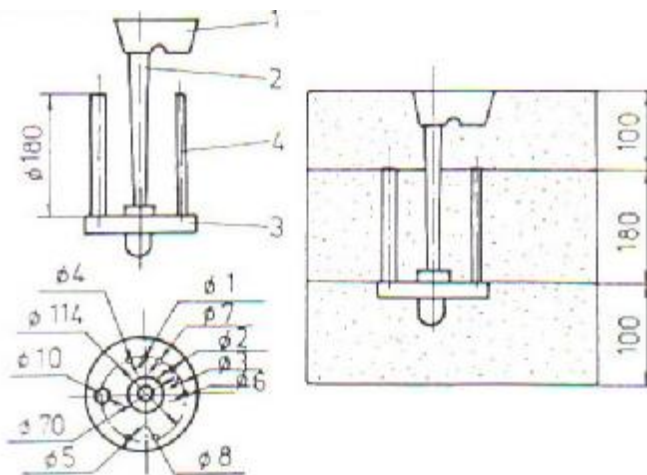


Figura nr.1.4f. Proba harfă: a-probă (1-pâlnie; 2-picior; 3-distribuitor; 4-probă); b-formă asamblată.

### 3. Modul de lucru.

Pentru determinarea fluidității se vor realiza diverse probe, la turnare respectându-se următoarele reguli:

- turnarea să se realizeze de la aceeași înălțime;
- etanșeitatea formelor să fie perfectă;
- temperatura de turnare să se măsoare cu exactitate (cu termocplu de imersie);
- se se asigure reținerea zgurei;
- să se măsoare temperatura de preîncălzire a formelor (cu termocuple de contact);
- să se cunoască natura aliajului turnat.

## 1.2.DETERMINAREA CONTRACȚIEI ÎN STARE SOLIDĂ (CONTRACȚIA LINIARĂ)

### 1.Considerații teoretice

Contrația de volum în stare solidă începe la temperatura eutectică și se termină la temperatura ambiantă.

Ea reprezintă micșorarea dimensiunilor volumice sau liniare (contrația liniară) ale pieselor turnate, prin răcirea până la temperatura ambiantă. Cunoașterea contrației liniare a aliajului este de mare importanță practică, căci toate dimensiunile modelului folosit la executarea formei trebuie să fie mai mari decât cele ale piesei turnate, cu valoarea corespunzătoare a contrației. Contrația liniară are influență nu numai asupra dimensiunilor corecte ale pieselor turnate, dar și asupra formării tensiunilor interne și deci asupra tendinței de formare a crăpăturilor la cald și la rece.

Pentru metalele pure și aliajele eutectice, efectul maxim al contrației se manifestă începând cu temperatura de solidificare, respectiv, temperatura eutectică.

În cazul aliajelor cu interval de solidificare, contrația liniară începe la temperaturi aflate între lichidus și solidus în zona bifazică, din momentul când faza solidă începe să fie preponderentă față de lichidul rămas și când se formează un schelet de cristale suficient de rezistent față de presiunea metalului.

Contrația aliajelor este de două feluri: liberă și frânată.

Contrația liniară liberă este contrația care are loc în cazul răcirii uniforme (omogene) a aliajului, fără nici o piedică în calea contrației.

Contrația liniară frânată este contrația care are loc în condițiile acțiunii unor factori interni (grosimea neuniformă a pereților, eliminarea gazelor, tensiuni interne etc.) și factori externi (pereții formei, miezurile, răcitori etc.).

Teoretic contrația liniară se exprimă cu relația:

$$\varepsilon_s = \alpha_s \cdot (T_s - T_0) \cdot 100 \quad (\%) \quad (1.3)$$

în care:  $\alpha_s$  este coeficientul de contrație în stare solidă ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $T_s$  -temperatura de solidificare ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_0$  -temperatura mediului ambiant ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Practic contrația liniară teoretică diferă de cea reală tocmai datorită influenței exercitate de factorii interni și externi susmenționați asupra contrației, de unde apare și diferența între noțiunile de "contrația aliajelor" în general și "contrația pieselor turnate".

În mod uzual, se spune că avem contrația liberă când valoarea acesteia se apropie de cea a aliajului pur, iar când diferă mult avem contrație frânată. În cazul aliajelor fier-carbon, relația contrației în stare solidă se compune din următorii termeni:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_i + \varepsilon_{ap} - \varepsilon_{\gamma \rightarrow \alpha} + \varepsilon_{pp} \quad (1.4)$$

în care:  $\varepsilon_i$  este dilatarea inițială (apare numai în cazul fontelor datorită procesului de grafitizare și se ia cu semnul minus);  $\varepsilon_{ap}$  -contrația anteperlitică (are loc între temperatura de solidificare și temperatura de transformare perlitică);  $\varepsilon_{\gamma \rightarrow \alpha}$  -dilatarea perlitică (are loc la temperatura de transformare perlitică și se ia cu semnul minus);  $\varepsilon_{pp}$  -contrația postperlitică (are loc sub temperatura de transformare perlitică).

În cazul oțelurilor și fontelor albe, termenul  $\varepsilon_i$  este zero. În Figura nr. 1.5 este reprezentată forma curbei de contrație liniară în funcție de timp.

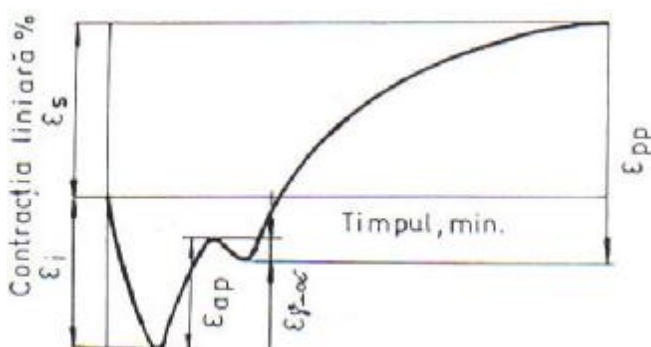


Figura nr.1.5. Curba de variație a dimensiunilor liniare, înregistrată prin metoda dinamică, la turnarea unei probe din fontă cenușie, în cazul contrației liniare libere în timp.

Valoarea contracției liniare se determină în mod practic cu relația:

$$\varepsilon_l = \frac{l_f - l_p}{l_f} \cdot 100 \quad (1.5)$$

în care:  $l_f$  este lungimea cavității formei (aproximativ lungimea modelului);  $l_p$  -lungimea piesei turnate după răcire.

În atelierele pentru confecționarea garniturilor de model, măsurătorile se fac direct cu ajutorul unui metru special, numit ”metru de contracție”, specific pentru aliajele ce trebuie turnate în piese. Relația dintre metrul de contracție și metrul normal este:

$$\frac{1m.contractie}{1m.normal} = \frac{100}{100 - \varepsilon_l} \quad (1.6)$$

în care:  $\varepsilon_l$  este contracția aliajului dat în condiții determinate de turnare.

Prin urmare, lungimea unei dimensiuni pe model se calculează cu relația:

$$l_m = l_p \cdot \frac{100}{100 - \varepsilon_l} \quad (1.7)$$

în care  $l_m$  -lungimea modelului;  $l_p$  -lungimea piesei turnate.

Literatura de specialitate recomandă valoarea contracției liniare pentru fonta cenușie de circa 1%, iar pentru oțel și fonte maleabile o contracție dublă de 1,8-2,0%. Pentru materialele metalice neferoase valoarea medie a contracției este de 2,25%.

În Tabelul nr. 1.1 sunt prezentate valorile recomandate pentru coeficientul de contracție al principalelor aliaje care se toarnă în piese, în funcție de mărimea acestora. Valorile minime corespund contracției frâmate, iar cele maxime contracției liniare, deoarece o eroare de numai 0,5% la stabilirea coeficientului de contracție pentru o piesă turnată cu lungimea de 1 m, conduce la o abatere de la lungime, în final cu 5mm. În practică valorile din Tabelul 1.1 se corectează de la caz la caz în funcție de experiența acumulată. Trebuie să se aibă în vedere că orice calcul pentru stabilirea contracției nu poate să țină cont de toate influențele. De aceea în producția de serie se impune ca după lotul de probă să se verifice dimensiunile piesei, aducându-se corecțiile necesare modelului.

## 2. Metode de determinare

### a. Determinarea statică

În acest caz se disting două variante:

- metoda contracției libere (cu probe fără flanșe), Figura nr. 1.6;
- metoda contracției frâmate (cu probe cu flanșe la capete), Figura nr. 1.7

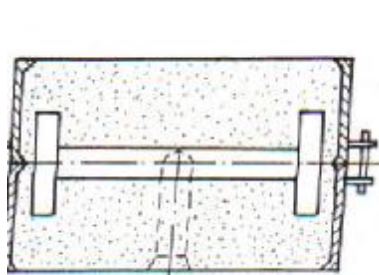


Figura nr.1.6. Modelul probei (a) și scoaba (b) fără flanșe.

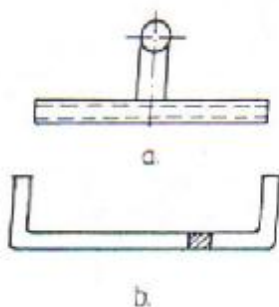


Figura nr.1.7. Formă din amestec de pentru proba cu flanșe



Tabelul nr. 1.1  
 Constrația liniară a aliajelor de turnătorie

Aliajul turnat	Mărimea pieselor	Constrația liniară
Fontă feritică	Mici	0,75-1,00
Fontă maleabilă și perlitică	Mici	1,5-1,75
Fontă cenușie	Mici	0,80-1,20
	Mijlocii	0,60-1,00
	Mari	0,20-0,80
Fontă feritică	Mici	0,50-1,00
Fontă nodulară și perlitică	Mici	0,75-1,10
Fontă albă	diferite	1,20-1,80
Oțel carbon	Mici	1,80-2,20
	Mijlocii	1,40-1,18
	Mari	1,60-2,00
Oțel manganos (12-14%Mn)	diferite	2,20-2,60
Bronz cu staniu	Mici	1,40-1,60
	Mijlocii	1,00-1,40
	Mari	0,80-1,20
Bronz cu aluminiu	Mici	1,50-3,00
	Mijlocii	1,20-1,60
	Mari	1,00-1,50
Aliaje de cupru	Mici	1,50-2,00
	Mijlocii	1,00-1,50
	Mari	0,80-1,20
Aliaje de magneziu	diferite	1,20-1,40
Aliaje de zinc	diferite	1,20-1,80
Silumin	diferite	1,00-1,20
Alamă	diferite	1,00-1,80

*b. Determinarea dinamică*

Pentru această determinare se folosește aparatul din Figura nr. 1.8, care se bazează pe principiul deplasării libere a unui capăt al probei, deplasare care se înregistrează prin citire la un cadran comparator de precizie 0,01mm.

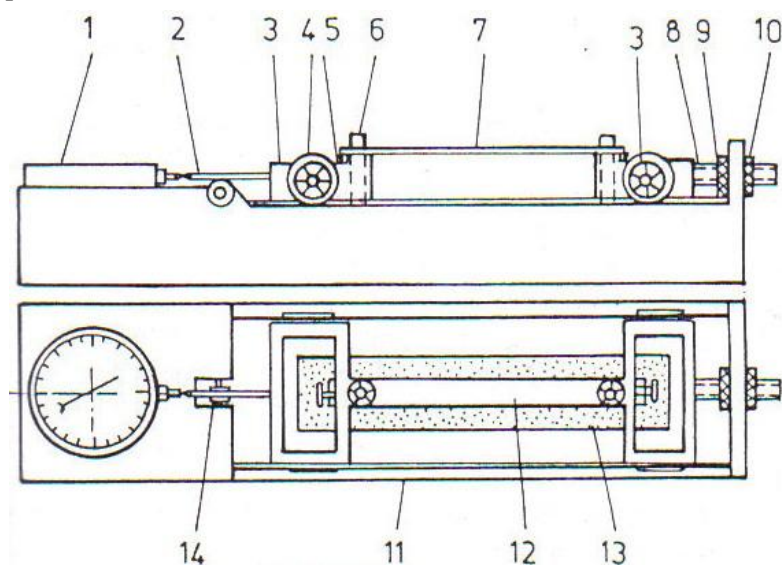


Figura nr. 1.8. Aparat pentru determinarea dinamică a constrației liniare libere: 1-comparator; 2-tijă; 3- cărucioare; 4-roată; 5-șurub prindere; 6-bolțuri; 7-riglă de control; 8-tijă filetată; 9-piuliță de reglare; 10-piuliță fixare; 11-cutie aluminiu; 12-probă turnată; 13-ramă de formare; 14-suport tijă comparator.

Aparatul se compune din cutia de aluminiu (11), pe care se fixează la un capăt comparatorul (1) cu diviziuni de 0,01 mm. În cutia (11) se așează rama de formare (13) în care se va turna proba (12) cu dimensiunile 20x20/22x300 mm. Deasupra ramei de turnare se găsesc două cărucioare (3), unul mobil și altul fix. Cel mobil (3a) vine în contact prin tija (2) cu axul palpator al comparatorului (1), în timp ce celălalt cărucior (3b) este fixat de peretele cutiei (11) cu ajutorul tejei filetate (8) și al piulițelor de reglare și fixare (9)

și (10). În fiecare din aceste cărucioare se așază bolțurile (6) care intră în formă pe o adâncime de 13-15mm. Distanța dintre centrele bolțurilor este de 200 mm și se fixează cu ajutorul riglei de control (7), care se introduce pe capetele superioare ale bolțurilor (6) cu o precizie de 0,1 mm. Înainte de scoaterea riglei de control de pe bolțuri, aparatul se pune în poziție inițială cu tija comparatorului încărcat cu 5-6 rotații. În această poziție se fixează căruciorul (3b) cu piulițele (9) și (10). Căruciorul (3a) pentru a nu fi împins înapoi de resortul comparatorului, se fixează cu două cuie înfipte în forma de turnare (13), cuie care în momentul formării crustei solidificate de aliaj, se îndepărtează pentru a elimina fenomenul de contracție frânată.

Aparatul pentru determinarea dinamică a contracției libere (Figura nr.1.8) trebuie să stea permanent în poziție orizontală. Practic aparatul începe înregistrarea fenomenului de contracție, în momentul în care crusta solidificată nu mai este zgâriată de un vârf metalic.

### **3.Modul de lucru**

Contracția aliajului se va determina la nivelul laboratorului atât prin metoda statică (liberă și frânată) cât și prin metoda dinamică.

În cazul metodei statice se va proceda în felul următor:

-se vor executa forme din amestec de formare pentru probele din Figurile nr. 1.6 și 1.7;

-se măsoară lungimile cavităților propriu-zise ale formelor, dintre fălcile scoabei și respectiv dintre flanșe;

-se toarnă probele mosurând în prealabil temperaturile de turnare;

-se dezbat probele turnate (după solidificare și răcire) și se curăță;

-se măsoară lungimile probelor solidificate.

În cazul metodei dinamice se lucrează în felul următor:

-se execută forma pentru obținerea probei cu secțiune trapezoidală (20x20/22x300 mm) din amestec de formare;

-după instalarea formei în aparat, în cutia (11), Figura nr. 1.8, se fixează cărucioarele (3a și b), și comparatorul (1) încărcat cu 5-6 rotații;

-se toarnă în formă aliajul și după formarea crustei solidificate, se scot cuiele ce fixează căruciorul (3a), pentru înregistrarea în continuare a contracției libere;

-se citesc diviziunile de pe cadranul comparatorului de patru ori pe minut până la răcirea completă a probei.

Rezultatele obținute vor fi înregistrate sub formă tabelară și, în măsura numărului de experiențe efectuate, se vor trasa grafice reprezentative pentru variația contracției în timp (ori funcție de natura aliajului turnat).

### 1.3. DETERMINAREA VOLUMULUI DE RETASURĂ

#### 1. Considerații teoretice

Retasura reprezintă o grupă concentrată de cavități (sau o singură cavitate) în corpul piesei turnate, care se formează ca rezultat al micșorării volumului aliajului la răcire în stare lichidă și în timpul solidificării. Retasura este deci una din consecințele directe ale contracției.

Astfel, contracția în stare lichidă și în intervalul de solidificare duce la formarea retasurii și la fixarea ei într-un anumit loc, pe când contracția în stare solidă dă retasurii dimensiunile definitive. S-a constatat că volumul retasurii depinde de următorii factori:

-natura aliajului (compoziția chimică, conținutul de gaze, existența procesului de grafitizare, proprietățile termofizice etc);

-natura formei (compresibilitatea pereților formei, dilatarea formei, rezistența etc);

-geometria piesei turnate (rigiditatea piesei turnate, rigiditatea pereților piesei, grosimea pereților piesei etc);

-condițiile de turnare (temperatura de turnare, locul de alimentare a piesei etc).

Din punct de vedere al dimensiunilor, formei și poziției, retasurile se clasifică astfel:

-macroretasură - deschisă -superioară principală  
-laterală principală  
-închisă -principală  
-secundară

-microretasură -zonală  
-dispersată.

Microretasurile sunt specifice aliajelor cu interval mare de solidificare, mecanismul de formare fiind prezentat în Figura nr.1.9. Cristalele dendritice cu axele lor orientate arbitrar, închid între ele, la creșterea lor, porțiuni izolate de lichid încă nesolidificat din centrul peretelui. La solidificarea acestor porțiuni izolate de lichid se formează microretasurile.

Microretasurile sunt defecte importante ale pieselor turnate, care conduc la o scădere pronunțată a rezistenței și în special a alungirii și stricțiunii, precum și la pierderea etanșeității. La aliajele la care o parte din retasură apare sub formă de microretasuri, retasura concentrată apare corespunzător mai redusă. În Figura nr.1.10 este arătată corelația între volumul total al retasurii, repartiția acestuia sub formă de retasuri concentrate și microretasuri pe diagrama de echilibru a aliajelor.

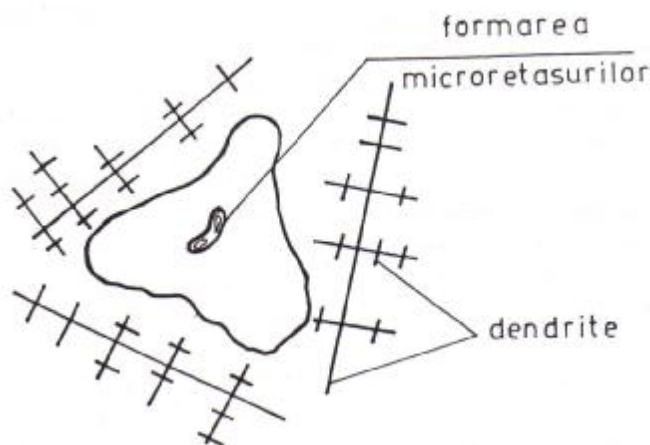


Figura nr.1.9. Formarea microretasurilor

Aliajele cu interval mare de solidificare au o retasură totală mai mare. Explicația constă în faptul că la aceeași supraîncălzire  $\Delta T$ , metalele pure și aliajele eutectice se răcesc în stare lichidă cu  $\Delta T$  până la solidificarea completă, în timp ce aliajele ce se solidifică într-un interval de temperatură se răcesc în stare lichidă cu  $\Delta T$  până la linia lichidus (începerea solidificării), iar aliajul nesolidificat continuă să se răcească până la linia solidus, care se găsește la o temperatură mult mai joasă. În medie, lichidul se răcește în acest caz cu:

$$\Delta T = \frac{T_{solidus} - T_{lichidus}}{2} \quad (1.8)$$

Corespunzător acestei răcirii mai mari scade volumul lichidului și crește retasura. În același timp, retasura apare în cea mai mare parte sub formă de microretasuri. Aliajele eutectice și metalele pure au retasura totală mai mică, iar retasura acestora apare ca retasură concentrată.

Teoretic volumul retasurii se poate calcula cu ajutorul formulei lui I.A. Nehendzi – N.G.Ghirșovici:

$$V_{ret} = [\alpha_l \cdot (\theta_{mt} - \theta_t) + \varepsilon_s - 1,5 \cdot \alpha_s \cdot (\theta_s - \theta_{ms})] \cdot \left( 1 - \frac{m \cdot \sqrt{t}}{2 \cdot R} \right) \quad (1.9)$$

în care:  $V_{ret}$  este volumul relativ al retasurii;  $\alpha_l$  -coeficientul de contracție volumică în stare lichidă a aliajului;  $\theta_{mt}$  -temperatura medie a aliajului la sfârșitul turnării, în °C;  $\theta_l$  -temperatura lichidus, în °C;  $\varepsilon_s$  -contractia la solidificare;  $\alpha_s$  -coeficientul contracției liniare în stare solidă a aliajului;  $\theta_s$  -temperatura solidus, în °C;  $\theta_{ms}$  -temperatura medie a piesei solide în momentul terminării solidificării, în °C; m-constanta de solidificare; t-durata turnării; R-grosimea medie a piesei turnate.

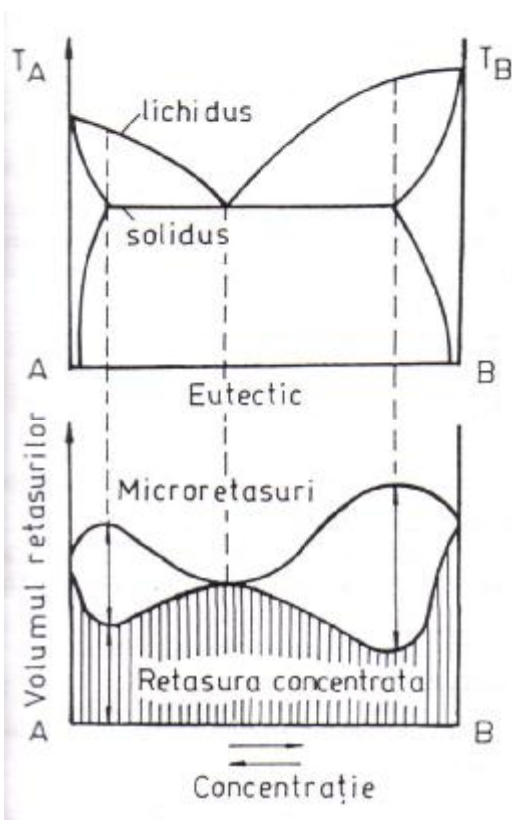


Figura nr. 1.10. Corelația dintre diagrama de echilibru și formarea retasurilor concentrate și a microretasurilor

Expresia  $\frac{m \cdot \sqrt{t}}{2R}$  reprezintă cantitatea de metal solidificată în timpul umplerii. Formula anterioară

(1.9) servește la interpretarea fenomenului de formare a retasurii, însă nu poate servi la un calcul precis al volumului retasurii, din cauza necunoașterii unora dintre termeni. Rezultă că volumul retasurii este cu atât mai mare, cu cât greutatea (deci volumul) piesei este mai mare, contracția la solidificare și temperatura de supraîncălzire sunt mai mari.

Pentru condițiile obișnuite de obținere a pieselor turnate din majoritatea aliajelor, expresia  $\frac{m \cdot \sqrt{t}}{2R}$  poate fi neglijată, iar primul și ultimul termen al ecuației astfel obținute au o importanță secundară, astfel încât formula volumului retasurii devine:

$$V_{ret} = \varepsilon_s + \frac{3}{4} \alpha_k \quad (1.10)$$

Pentru fonte, datorită procesului de grafitizare,  $\varepsilon_s$  și  $\alpha_k$  pot fi pozitive sau negative. În cazul fontelor cenușii, în funcție de cantitatea de grafit care cristalizează în timpul solidificării direct din faza lichidă, volumul retasurii poate avea valori între limite foarte largi. El se poate calcula pornind de la variația de volum cauzată de grafitizare.

Cantitatea totală de grafit, care se separă în perioada solidificării este de:

$$C_t - C_{E'S'} = C_t - 1,98 + 0,15 Si \quad (1.11)$$

$C_{E'S'} = 1,98 - 0,15 Si$  este conținutul de carbon din austenita suprasaturată din sistemul stabil, la temperatura eutectică.

Întrucât prin separarea a 1% grafit, volumul se mărește cu 2%, mărirea totală a volumului aliajului în timpul procesului cristalizării eutectice după diagrama stabilă va fi:

$$\Delta V = 2(C_t - 1,98 + 0,15 Si) \quad (1.12)$$

însemnând cu – partea de grafit care se separă direct din faza lichidă a aliajului turnat, se poate determina volumul retasurii:

$$V_r = \varepsilon_s - 2\beta(C_t + 0,15Si - 1,98) + \frac{3}{4}\varepsilon_{dil} + 2(1-\beta) \cdot (C_t - 1,98 + 0,15Si) \quad (1.13)$$

unde  $\varepsilon_s$  este contracția volumică medie a aliajului în perioada solidificării, %;  $\varepsilon_{dil}$  -dilatarea inițială a masei metalice de bază în timpul solidificării (fără a lua în considerare grafitizarea), %.

Dilatarea inițială la sfârșitul solidificării, ținând seama de grafitizare va fi:

$$\varepsilon_{dil-g} = \varepsilon_{dil} + \frac{2}{3}(1-\beta)(C_t + 0,15Si - 1,98), \quad \% \quad (1.14)$$

în care  $\beta$  se ia pentru fontele cenușii între 0,9 și 1,0 iar pentru fontele cu grafit nodular, între 0 și 0,5.

Factorii care determină formarea retasurii sunt numeroși și din această cauză determinarea prin calcul a volumului de retasură se face foarte greu. Determinarea volumului retasurii este necesară pentru a aprecia corect masa aliajului necesar pentru alimentarea suplimentară a piesei.

Pentru proiectarea procesului tehnologic este important să se determine nu numai volumul, dar și dimensiunile gabaritice și configurația retasurii.

Retasura principală este cea mai favorabilă, aceasta putând fi scoasă în afara piesei prin utilizarea de maselote. Retasura dispersată, care se obține de obicei când diferitele părți ale piesei se solidifică independent și nu pot fi alimentate cu metal, este cea mai defavorabilă.

Înlăturarea retasurilor din piesa turnată poate fi făcută prin:

- modificarea constructivă a piesei;
- maselotare;
- aplicarea de răcitori în nodurile termice și maselotare.

Deoarece determinarea prin calcul este dificilă, volumul retasurii se determină de cele mai multe ori prin metode practice.

## 2. Metode de determinare

Pentru determinarea retasurii se folosesc două metode:

- metoda indirectă;
- metoda directă.

Metoda indirectă se bazează pe compararea greutateii specifice relative a piesei turnate și cea absolută a aliajului din care se toarnă piesa. Această metodă se folosește pentru determinarea volumului total al retasurii, fie ea concentrată sau dispersată, sub formă de pori (macro și microretasuri, sufluri).

Metoda directă se bazează pe măsurarea cavității retasurii prin umplerea acesteia cu apă, benzină, ceară etc. Această metodă se folosește în cazul retasurilor concentrate, deschise.

În Figura nr. 1.11 sunt reprezentate două epruvete conice folosite pentru determinarea volumului retasurii. Cea mai utilizată este epruveta din Figura nr.1.11 a, cunoscută sub denumirea de probă conică, care folosește pentru determinarea volumului total al retasurii metoda indirectă. În acest caz baza conului,

bombată, conduce la formarea unui gol de solidificare interior (închis), care poate fi determinat cu ajutorul greutății specifice aparente și reale a aliajului solidificat. În Figura nr.1.11b se prezintă proba conică utilizată pentru determinarea directă a retasurii.

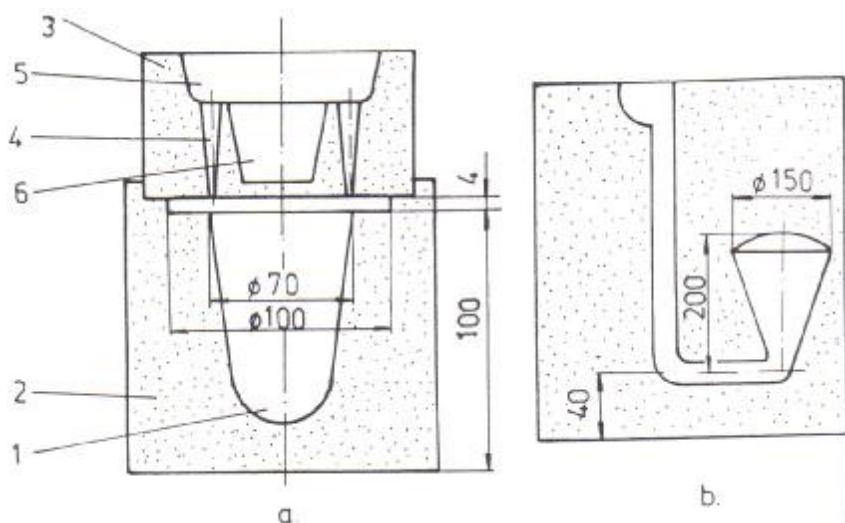


Figura nr. 1.11. Probe pentru determinarea volumului de retasură: a-indirectă; b-directă; 1-cavitate propriuzisă; 2-formă; 3-miez alimentare; 4-picioare turnare; 5-bazin; 6-buzunar deversare.

Volumul de retasură se determină cu ajutorul relației:

$$V_{ret} = \frac{V_{real} - V_{ideal}}{V_{real}} \cdot 100, \quad (\%) \quad (1.15)$$

în care  $V_{real}$  este volumul real al epruvetei determinat prin diferența dintre greutatea conului cântărit în aer și greutatea conului cântărit în apă, în  $\text{cm}^3$ , considerând greutatea specifică a apei egală cu 1;  $V_{ideal}$  -este raportul dintre greutatea conului cântărit în aer și greutatea lui specifică, în  $\text{cm}^3$ .

Pentru determinarea greutății specifice se iau probe din vârful conului, unde aliajul este cel mai compact. Dimensiunile probelor pentru determinarea greutății specifice sunt 10x10 mm. Cu cât probele sunt mai mici, cu atât este mai mică posibilitatea existenței unor defecte (incluziuni, mici goluri) care denaturează valoarea greutății specifice. Greutatea specifică este media a trei determinări. Probele trebuie să fie prelevate din locurile cele mai compacte și nu trebuie să prezinte defecte (incluziuni, crăpături, fisuri, sufluri). Greutatea specifică se determină cu ajutorul unei balanțe, la care unul din talere este înlocuit cu un plutitor, ca la balanța Mohr-Westphal. Pentru aliajele cunoscute, greutatea specifică se poate lua din tabele.

Pentru fonte, greutatea specifică se ia ținând cont de conținutul de grafit. Valoarea acestui conținut se apreciază pornind de la conținutul total de carbon, dat de analiza chimică și de structură (la structura perlitică, circa 0,8% din totalul conținutului de carbon se găsește sub formă legată).

### 3.Modul de lucru

Se va determina volumul retasurii unui aliaj de aluminiu și siliciu folosind o probă conică pentru metoda indirectă, Figura nr. 1.11 a.

Se va lucra practic în felul următor:

- se execută forma;
- se vor turna minimum trei probe la temperaturi de turnare diferite;
- se vor dezbrata probele, îndepărtându-se rețelele de turnare;
- se vor cântări probele în aer și apă;
- se taie probe (minim trei) din vârful conului pentru determinarea greutății specifice;
- se determină greutatea specifică prin cântărire în aer și apă;
- se calculează volumul retasurii.

Datele experimentale obținute vor fi interpretate funcție de condițiile desfășurării lor.

## 1.4. DETERMINAREA TENSIUNILOR CE APAR LA RĂCIREA PIESELOR TURNATE

### 1. Considerații teoretice

La răcirea pieselor turnate, ca urmare a procesului de contracție în pereții pieselor pot să apară tensiuni.

În funcție de durata de existență, tensiunile din pereții pieselor turnate pot fi de două tipuri:

-*tensiuni temporare*, care determină deformații elastice, care după răcirea piesei și uniformizarea temperaturilor se anulează complet;

-*tensiuni remanente*, care determină deformații plastice în peretele piesei turnate și care după uniformizarea temperaturilor nu pot fi îndepărtate.

În funcție de cauzele care provoacă apariția tensiunilor interne acestea pot fi:

-*tensiuni termice*, care apar datorită valorilor diferite ale contracției la un moment dat, în diferite zone ale piesei ca urmare a grosimilor diferite de perete;

-*tensiuni mecanice*, care apar ca urmare a frânării procesului de contracție de către materialul de formare sau elemente ale rețelei de turnare;

-*tensiuni fazice*, datorate diferenței de timp la care au loc transformările fazice pe secțiuni și în diferite părți ale piesei turnate.

Studiul apariției tensiunilor termice se poate face considerând două bare turnate de secțiuni diferite,  $S_1$  și  $S_2$ , legate solidar între ele, Figura nr. 1.12.

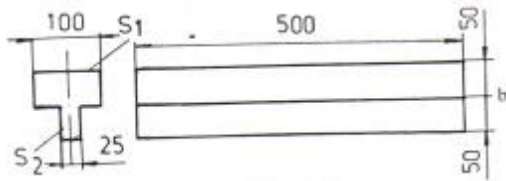


Fig. 1.12. Sistem de două bare de secțiuni diferite.

La răcirea aliajului, cele două bare vor trece la momente diferite din starea plastică în starea elastică, Figura nr. 1.13.

Urmărind răcirea barelor se disting următoarele etape:

- $t < t_1$  (ambele bare se găsesc în stare plastică);

- $t_1 < t < t_2$  (bara 1 se găsește în stare plastică iar bara 2 în stare elastică);

- $t > t_2$  (ambele bare se găsesc în stare elastică).

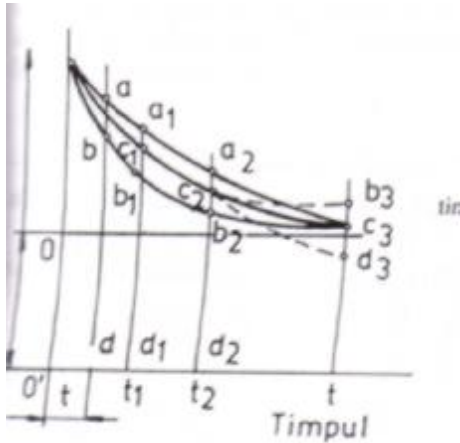


Figura nr. 1.13. Alungirea specifică în timpul răcirii barelor legate solidar.

În prima etapă, dacă barele nu ar fi legate între ele, prima bară ar avea lungimea  $ab$ , iar a doua lungimea  $db$ . Deoarece, barele sunt solidare între ele, prima se va scurta, deformându-se plastic cu lungimea  $ac$ , iar a doua se va lungi cu  $bc$ , lungimea lor comună fiind  $dc$ . Nu apar tensiuni, deoarece ambele bare se deformează plastic.

În a doua etapă, bara 2 se găsește în domeniul elastic. Bara 1 fiind în domeniul plastic își adaptează lungimea după bara (2), lungimea comună la sfârșitul etapei fiind  $d_2c_2$ .

În cea de-a treia etapă, ambele bare se găsesc în domeniul elastic și se scurtează împreună după linia  $c_2c_3$ . Deci, bara (1) se va lungi elastic cu lungimea  $a_3c_3$ , rămânând cu tensiuni de întindere, iar bara (2) se va scurta elastic cu lungimea  $b_3c_3$  și va avea tensiuni de compresiune.

Valoarea totală a deformațiilor elastice  $\varepsilon$  în sistemul barelor (1) și (2) ( $\varepsilon_1$  și  $\varepsilon_2$ ) va fi:

$$\varepsilon = c_3a_3 + c_3b_3 = a_2c_2 + b_2c_2 = b_3a_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (1.16)$$

Dacă se consideră că barele rămân rectilinii, între tensiuni și secțiunile barelor se poate scrie relația:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (1.17)$$

Admițând că modulul de elasticitate  $E$  are aceeași valoare pentru întindere și compresiune, se poate scrie:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \quad (1.18)$$

$$\text{dar } \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \alpha(T_1 - T_2), \quad (1.19)$$

în care:  $\alpha$  este coeficientul specific de contracție liniară;  $T_1, T_2$  - temperatura barei 1 și temperatura barei 2 în momentul trecerii barei 1 în stare elastică.

Deci, tensiunea de întindere ( $\sigma_1$ ) și cea de compresiune ( $\sigma_2$ ) se pot determina cu relațiile:

$$\sigma_1 = E\alpha(T_1 - T_2) \frac{S_2}{S_1 + S_2}; \quad (1.20)$$

$$\sigma_2 = E\alpha(T_1 - T_2) \frac{S_1}{S_1 + S_2}, \quad (1.21)$$

sau :

$$\sigma_1 = E \frac{S_2}{S_1 + S_2} c_1 c_2 \alpha T_1 \left[ 1 - \left( \frac{T_1}{T_t} \right)^{\frac{k_2 - 1}{k_1}} \right] \quad (1.22)$$

$$\sigma_2 = E \frac{S_1}{S_1 + S_2} c_1 c_2 \alpha T_1 \left[ 1 - \left( \frac{T_1}{T_t} \right)^{\frac{k_2 - 1}{k_1}} \right] \quad (1.23)$$

în care:  $c_1$  și  $c_2$  sunt coeficienți subunitari, care se introduc ținând seama de faptul că trecerea din domeniul plastic în cel elastic se face într-un interval de temperatură și de faptul că temperaturile din cele două bare tind să se egalizeze;  $T_t$  - temperatura de turnare;  $k_1$  și  $k_2$  - coeficienți de proporționalitate, ce caracterizează cele două bare (raportul dintre volum și suprafață, conductivitatea termică etc.).

## 2. Metoda de determinare

Măsurarea rapidă a tensiunilor de turnare se face cu ajutorul unei probe tehnologice cunoscută sub denumirea de proba celor trei bare, Figura nr. 1.14.

Barele, dintre care cele exterioare au secțiunea mai mică decât bara centrală, sunt legate rigid între ele. Din cauza acestei particularități constructive, după turnare, barele se vor răci neuniform. Ca urmare, în barele subțiri vor apărea tensiuni de comprimare, iar în bara centrală, tensiuni de întindere, Figura nr. 1.15.



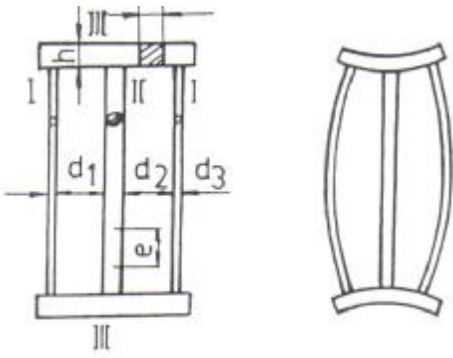


Figura nr.1.14. Proba tehnologică pentru determinarea tensiunilor de turnare.

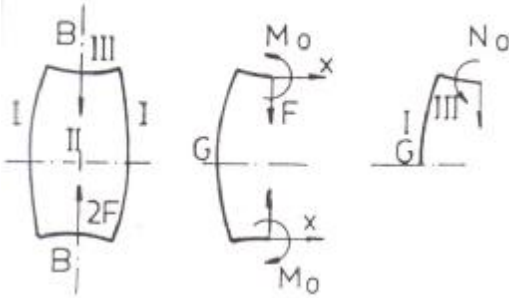


Figura nr. 1.15. Schema deformațiilor în sistemul de trei bare.

Calculul tensiunilor interne se face prin aplicarea teoremei lui Castigliano. Astfel, între forța  $F$  și momentul  $M_0$ , se scrie relația:

$$F \left( \frac{l_1^3}{2I_3} + \frac{l_3 \cdot l_1}{I_1} \right) - M_0 \left( \frac{l_3}{I_3} + \frac{l_1}{I_1} \right) = 0 \quad (1.24)$$

Dacă se secționează bara din mijloc, aceasta se lungeste cu mărimea  $\Delta l$ , care se poate calcula cu relația:

$$\Delta l = 2 \frac{F}{E} \left( \frac{l_3^3}{3I_3} + \frac{l_1 \cdot l_3^2}{I_1} + 2 \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \right) - M_0 \left( \frac{l_3^2}{2I_3} + \frac{l_3 l_1}{I_1} \right) \quad (1.25)$$

în care  $2l_3$  este lungimea barei III;  $2l_1$  - lungimea barei I;  $I_1$  - momentul de inerție al barei I;  $I_3$  - momentul de inerție al barei III;  $S_1$  - aria secțiunii barei I;  $S_2$  - aria secțiunii barei II;  $E$  - modulul de elasticitate.

Cu valorile  $F$  și  $M_0$  determinate pe baza relațiilor anterioare se pot calcula tensiunile în bare:

$$\sigma_I = \left( \frac{F}{S_1} + \frac{F \cdot l_3 - M_0}{w_1} \right) \quad (1.26)$$

$$\sigma_{II} = \frac{2F}{S_2} \quad (1.27)$$

$$\sigma_{III} = \frac{M_0}{w_3} \quad (1.28)$$

în care:  $w_1$  și  $w_3$  sunt modulele de rezistență ale barelor.

$I_1$ ,  $I_2$ ,  $w_1$  și  $w_3$  se calculează cu relațiile:

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64}; \quad (1.29)$$

(1.30)

$$w_1 = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32}; \quad (1.31)$$

(1.32)

în care:  $d_1$  este diametrul barei I;  $b$  - lățimea secțiunii barei III;  $h$  - înălțimea barei III.

$$I_3 = \frac{b \cdot h^3}{12};$$

$$w_3 = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

### 3. Modul de lucru

Cu ajutorul unui model metalic se realizează două forme din amestec pentru turnarea probei cu trei bare. Cele două probe se vor turna la temperaturi diferite.

După răcire și dezbateri, pe bara II, cu ajutorul unui poanson se marchează două puncte la distanța  $e=100$  mm și se secționează bara între aceste repere. Prin această secționare bara groasă se eliberează de tensiunile de întindere și se scurtează, distanța  $e$  dintre reperele marcate inițial crescând cu valoarea  $\Delta l$ , iar barele subțiri se eliberează de tensiunile de comprimare și se întind. Se determină  $\Delta l$  prin diferența dintre distanța dintre cele două repere după secționarea barei groase și înainte.

Datele obținute experimental se vor trece în următorul tabel:

Aliajul	Temperatura de turnare, în K	$\Delta l$ , în mm
Aluminiu	$T_{11} =$	
	$T_{12} =$	
Oțel	$T_{13} =$	
	$T_{14} =$	

Pe baza valorilor lui  $\Delta l$  trecute în tabel se vor determina prin calcul valorile  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{II}$ ,  $\sigma_{III}$ . Se vor trage concluzii privitoare la valorile tensiunilor interne  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{II}$ ,  $\sigma_{III}$ , în funcție de natura aliajului și de temperatura de turnare și se vor arăta care sunt principalele măsuri care se pot lua în vederea prevenirii apariției tensiunilor interne.

Aplicații. Să se calculeze tensiunile interne din bara groasă și cea subțire a sistemului de bare prezentat în Figura nr. 1.12, cunoscând următoarele:

-proba se toarnă din OT 500, la temperatura de 1773 K;  $c_1=0,8$ ;  $c_2=0,6$ ;  $T_1=893$  K;  $E =21.000$  daN/mm<sup>2</sup>;  $\alpha=15 \cdot 10^{-6}$

## 1.5. DETERMINAREA TENDINȚEI DE FORMARE A CRĂPĂTURILOR ÎN PIESELE TURNATE

### 1. Considerații teoretice

Crăpăturile reprezintă defecte de turnare de tip discontinuitate, care apar în piesele turnate atunci când tensiunile interne depășesc rezistența aliajului la temperatura respectivă. După momentul în care apar, pot fi la cald sau la rece.

Crăpăturile la cald apar în intervalul de solidificare și imediat sub linia solidus și sunt determinate de frânarea contracției. Ele se produc la limita grăunților primari și de aceea, prezintă o suprafață de ruptură intercristalină, au deschidere mare și întindere mică, sunt mereu oxidate și nu au tendința de a se propaga.

Crăpăturile la rece se formează la temperaturi la care aliajul se găsește în stare elastică, sunt intracristaline, drepte, puțin deschise, neoxidate, cu întindere mare și tendința de a se propaga.

Dintre zonele caracteristice unde apar crăpături la cald se pot menționa:

- locurile de îmbinare ale pereților groși cu pereții subțiri;
- zonele de aplicare a maselotelor;
- zonele din vecinătatea răcitorilor exteriori etc.

Exemple de piese la care pot apărea crăpături la cald sunt prezentate în Figurile nr. 1.16 și 1.17.

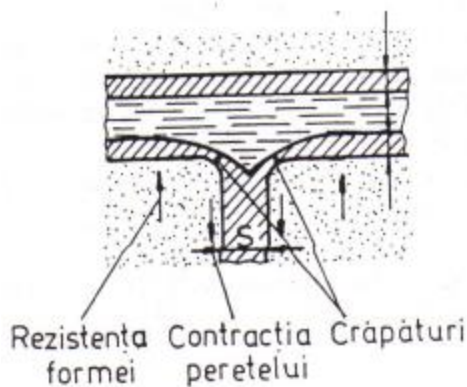


Figura nr.1.16. Crăpături apărute ca urmare a frânării contracției la îmbinarea a doi pereți cu grosimi diferite.

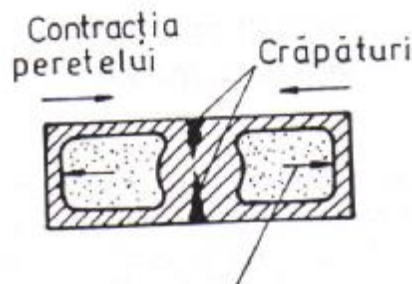


Figura nr.1.17. Crăpături apărute în zonele masive ale îmbinărilor pereților de grosimi diferite, care formează un contur închis și la care miezul are compresibilitate insuficientă.

Asupra tendinței de formare a crăpăturilor la cald influențează următorii factori:

- natura aliajului: coeficientul de contracție în stare solidă, proprietățile mecanice ale aliajului la temperaturi ridicate, geometria frontului de solidificare, proprietățile termofizice;
- natura formei: compresibilitate, temperatura formei, modul de îndesare etc;
- influența geometriei piesei turnate, care influențează tendința de formare a crăpăturilor la cald mai ales prin intermediul vitezei de răcire;
- condițiile de turnare: temperatura de turnare, viteza de turnare, poziția maselotelor și a rețelilor de turnare.

### 2. Metode de determinare

Deoarece tendința de apariție a crăpăturilor la cald este determinată de o serie de parametri ai aliajului cât și ai formei sau ai procesului de turnare, greu de separat fiecare în parte, se apelează la diferite probe tehnologice, care dau indicații destul de exacte asupra acestei tendințe.

Pentru determinarea tendinței de apariție a crăpăturilor se pot folosi următoarele metode:

-metoda bazată pe frânarea contracției unor probe inelare, Figura nr.1.18; frânarea diferită a procesului de contracție realizându-se cu ajutorul unui miez cu grosime variabilă;

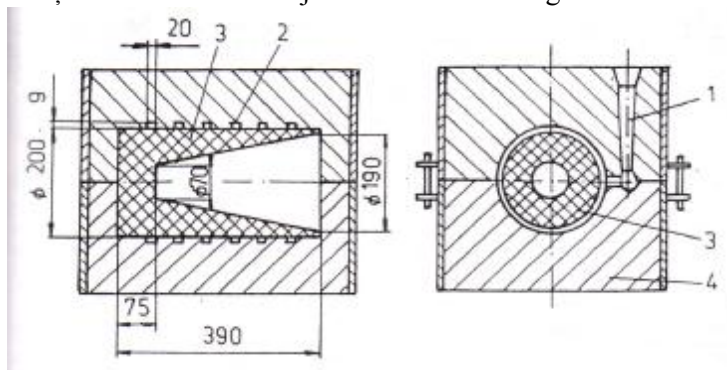


Fig.1.18. Formă asamblată pentru turnarea probelor inelare: 1-rețea de turnare; 2-inel; 3-miez cu grosime variabilă realizat din amestec; 4-formă.

-metoda probei cu flanșe, Figura nr.1.19, care constă în determinarea crăpăturilor ce apar ca urmare a frânării contracției de către amestecul de formare dintre flanșe;

-metoda probei cu miez excentric etc.

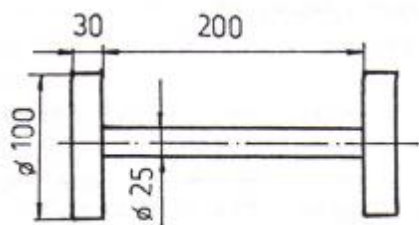


Figura nr.1.19. Proba cu flanșe.

### 3. Modul de lucru

În scopul determinării tendinței de apariție a crăpăturilor, se folosesc metodele probelor inelare și a celor cu flanșe.

Se vor turna trei probe, a câte șase inele fiecare, la trei temperaturi de turnare diferite. După răcirea aliajului și dezbatere se analizează aspectul probelor și se numără crăpăturile (vizibile cu ochiul liber) apărute pe fiecare inel în parte. Datele obținute se vor trece într-un tabel ca mai jos.

Tipul probei	Temperatura de turnare, în K	Nr. inel	Grosimea miezului, mm	Nr. crăpături
Cu inele	T <sub>1</sub>	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
Cu flanșe	Formă metalică	-	-	
	Formă din amestec	-	-	

La utilizarea metodei probei cu flanșe se folosesc două forme: una metalică și una din amestec de formare în care se toarnă câte o probă la aceeași temperatură de turnare. La fiecare probă se numără crăpăturile apărute la îmbinarea dintre flanșă și cilindrul de legătură.

Se va trasa graficul de variație a numărului de crăpături cu grosimea miezului pentru fiecare temperatură de turnare.

Se vor trage concluzii referitoare la influența temperaturii de turnare și a naturii formei asupra procesului de apariție a crăpăturilor, arătând măsurile care se pot lua în vederea prevenirii apariției acestora.

Aplicație. Să se determine dacă în proba cu flanșe turnată din OT 500 și Fc 200 apar crăpături în cazul în care contracția este frânată cu 30%, știind că:

-modulul de elasticitate:  $E_{OT}=22000 \text{ daN/mm}^2$

$E_{Fc}=10500 \text{ daN/mm}^2$

-contracția liberă:  $\varepsilon_{OT}=2\%$ ;  $\varepsilon_{Fc}=1,1\%$ .

## 1.6. DETERMINAREA TENDINȚEI DE DEFORMARE A PIESELOR TURNATE

### 1.Considerații teoretice

Tensiunile interne remanente duc în majoritatea cazurilor la deformarea pieselor turnate. Acest lucru se datorează faptului că aliajele tensionate tind să se relaxeze prin pierderea energiei conținute în ele sub formă de tensiuni:

$$E = \frac{1}{2} \int \sigma^2 dV \quad (1.33)$$

Tensiunile se reduc sau chiar dispar prin deformarea piesei, astfel că părțile piesei supuse la întindere se scurtează, iar cele supuse la compresiune se lungesc.

Luând în considerare piesa prezentată în Figura nr.1.20 și presupunând că are temperatura  $T_0$ , la răcirea piesei, suprafața exterioară atinge temperatura  $T_1$ , iar cea interioară  $T_2$ .

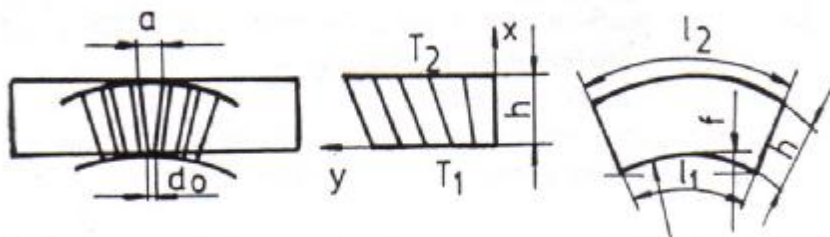


Figura nr. 1.20. Schema utilizată la calculul încovoierii barei.

Dacă temperatura este repartizată liniar pe secțiunea barei, existând un gradient  $\varphi$ , atunci valoarea temperaturii la distanța „X” de suprafața interioară va fi:

$$T = \varphi X + T_1 \quad (1.34)$$

Luând în considerare un element dreptunghiular din secțiunea barei cu grosimea inițială  $d_0$ , după răcire, lungimea fiecărui element va fi:

$$d = d_0 \{ [1 + \alpha_s(T_0 - T)] - \alpha_s \varphi X \} \quad (1.35)$$

Conform acestei egalități lățimea fiecărei fibre la răcire va crește proporțional cu distanța de la suprafața inferioară și cu coeficientul de contracție  $\alpha_s$ . Presupunând că lungimea părții inferioare este  $l_1$  și lungimea părții exterioare este  $l_2$  atunci se poate scrie:

$$l_2 = l_1 [1 + \alpha_s(T_0 - T)] \quad (1.36)$$

sau considerând că  $T = T_0$  și  $X = h$ :

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha_s \varphi h) \quad (1.37)$$

Din condițiile de asemănare se poate scrie:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{l_1 (1 + \alpha_s \varphi h)}{l_1} = \frac{\rho + h}{\rho}, \quad (1.38)$$

în care  $\rho$  este raza curburii suprafeței interioare a barei.

În acest caz rezultă că:

$$r = \frac{1}{\alpha_s \varphi}. \quad (1.39)$$

Pentru determinarea săgeții de încovoiere se folosește relație:

$$f = \rho - \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}, \quad (1.40)$$

în care  $l$  este lungimea medie a barei și se obține:

$$f = \frac{h}{\alpha_s(T_2 - T_1)} - \sqrt{\left[\frac{h}{\alpha_s(T_2 - T_1)}\right]^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} \quad (1.41)$$

În Figura nr.1.21 este prezentată o grîndă încovoiată datorită tensiunilor interne.

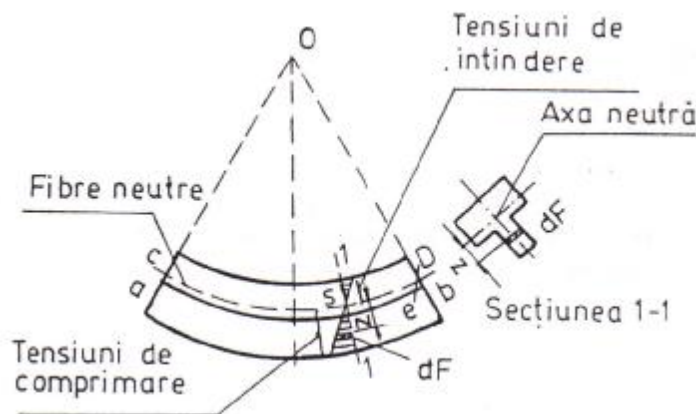


Figura nr.1.21. Schema pentru calculul razei de încovoiere a unei grinzi în formă de T.

Partea grinzii din exteriorul axei neutre este supusă la tensiuni de comprimare, iar partea din interior la tensiuni de întindere, adică invers decât în cazul când încovoierea s-ar face sub acțiunea unor forțe (momente încovoietoare) exterioare.

Notând cu  $dF/A$  un element de suprafață a secțiunii, la distanța  $Z$  de axa neutră și cu  $\sigma$ , tensiunea care acționează în această suprafață elementară, forța corespunzătoare va fi:

$$dF = \sigma \cdot dA, \quad (1.42)$$

iar momentul încovoietor corespunzător

$$dM = Z \cdot dF = \sigma \cdot Z \cdot dA. \quad (1.43)$$

Momentul încovoietor pentru toată secțiunea va fi:

$$M = \int \sigma \cdot Z \cdot dA. \quad (1.44)$$

Din Figura nr. 1.21 se observă că triunghiul OCD este asemenea cu triunghiul Deb (De este trasată paralel cu OC). Se poate scrie:

$$\frac{eb}{CD} = \frac{De}{OC}, \quad (1.45)$$

$$\text{însă } OC = \rho \text{ și } ae = CD \quad (1.46)$$

în care  $CD$  este fibra neutră a cărei lungime nu se schimbă la încovoiere.

Pe de altă parte, încovoierea fiind mică, se poate scrie aproximativ că  $De \approx Z$ , și:

$$\frac{eb}{CD} = \frac{Z}{\rho} = \varepsilon \quad (1.47)$$

în care  $\varepsilon$  este alungirea specifică, deoarece  $eb$  este alungirea fibrei  $ae$ , egală cu lungimea fibrei neutre, deci cu lungimea inițială a barei. Mai departe rezultă:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = E \cdot \frac{Z}{\rho}, \quad (1.48)$$

în care  $\rho$  este raza de curbura.

$$M = \int_A E \frac{Z^2}{\rho} dA \quad (1.49) \quad \text{sau}$$

$$M = \frac{E}{\rho} \cdot \int_A Z^2 dA = \frac{E}{\rho} I \quad (1.50)$$

în care  $I$  este momentul de inerție al secțiunii în raport cu axa neutră.

Se poate determina raza de curbura:

$$\rho = \frac{E}{M} \cdot I \quad (1.51)$$

Deoarece valorile lui  $M$  și  $I$  sunt constante, atunci și  $\rho = \text{ct}$ . Și deci bara se va deforma după un arc de cerc ceea ce permite determinarea grafică a săgeții, Figura nr. 1.22.

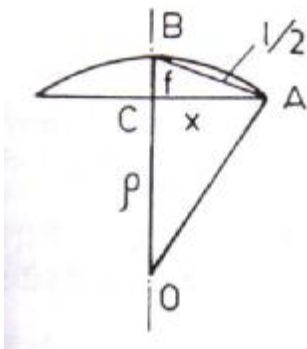


Figura nr. 1.22. Construcția grafică pentru determinarea săgeții.

Din triunghiurile OAC și ABC se poate scrie:

$$\rho^2 = x^2 + (\rho - f)^2 \quad (1.52)$$

$$\left(\frac{l}{2}\right)^2 = x^2 + f^2 \quad (1.53)$$

$$\text{de unde rezultă: } f = \frac{l^2}{8 \cdot \rho} \quad (1.54)$$

Pentru prevenirea pe cât posibil a deformării pieselor turnate trebuie luate măsuri de evitare a cauzelor care produc aceste deformări adică de evitare a apariției tensiunilor de turnare.

Evitarea apariției tensiunilor de turnare și a efectelor lor se poate face prin mai multe metode dintre care amintim:

- solidificarea dirijată a pieselor turnate;
- degajarea din amestecul de formare a anumitor părți ale piesei (evitarea contracției frâmate);
- construirea modelelor cu curbura inversă;
- detensionarea pieselor turnate etc.

## 2. Metode de determinare

Pentru determinarea experimentală a săgeții  $S$  apărută la deformarea unei grinzi în formă de T cu pereți de grosimi diferite se folosește proba din Figura 1.12 cu posibilitatea modificării valorii raportului  $S_1 / S_2$ .

Datorită tensiunilor care apar, proba se deformează apărând în zona mai groasă o suprafață concavă. Gradul de deformare este, în principal, în funcție de natura aliajului și raportul dintre secțiunile pereților.

Raportul dintre secțiunile celor două bare ale probei va avea următoarele valori:  $S_1/S_2=1/2$ ;  $1/3$ ;  $1/4$ .

## 3. Modul de lucru

Pentru determinarea tendinței de deformare a grinzii se vor turna câte trei probe la aceeași temperatură pentru fiecare tip de aliaj. Cele trei probe vor avea rapoartele secțiunilor diferite.

După răcirea probelor și dezbatere se măsoară săgeata  $f$  și lungimea  $l$ .



Datele obținute experimental se vor trece în următorul tabel:

Aliajul	Temperatura de turnare, în K	$S_1/S_2$	Lungimea l, în cm	Săgeata f, în cm
		1/2		
		1/3		
		1/4		

Pe baza datelor din tabel se va calcula raza de curbură r pentru fiecare probă și aliaj.

Se va trasa graficul de variație  $\rho=f(S_1/S_2)$  pentru fiecare aliaj în parte.

Se vor trage concluzii referitoare la tendința de deformare a pieselor în funcție de natura aliajului și de raportul secțiunilor pereților pieselor.

Se vor preciza câteva măsuri care se pot lua în vederea prevenirii apariției deformațiilor.

## 1.7. DETERMINAREA CÂMPULUI DE TEMPERATURĂ ÎN PERETELE FORMEI DE TURNARE

### 1. Considerații teoretice

Prin câmp de temperatură se înțelege repartiția temperaturii pe secțiunea peretelui formei de turnare în timpul procesului de solidificare și răcire a aliajului. O mare importanță prezintă câmpul de temperatură în timpul procesului de solidificare deoarece influențează direct calitatea piesei turnate.

Câmpul de temperatură în peretele piesei și respectiv în peretele formei este influențat direct de intensitatea schimbului de căldură dintre aliaj și forma de turnare. La rândul său intensitatea schimbului de căldură între aliaj și forma de turnare depinde de proprietățile termofizice ale aliajului și formei de turnare, precum și de temperatura de turnare și geometria piesei turnate.

Ecuția câmpului de temperatură este o funcție de forma:

$$T=f(x,y,z,t), \quad (1.55)$$

adică, câmpul de temperatură în peretele piesei și respectiv în peretele formei de turnare este nestaționar.

Ecuția câmpului de temperatură se scrie sub forma:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1.56)$$

în care  $a = \frac{\rho}{c \cdot \lambda}$  este coeficientul de difuzivitate termică, în  $m^2/s$ .

Ecuția (1.56) reprezintă ecuația fundamentală a conductivității sau ecuația lui Fourier și ea permite determinarea repartizării temperaturilor în orice punct dintr-un corp.

Soluția ecuației (1.56) se bazează pe următoarele ipoteze simplificatoare:

- peretele formei este un corp semiinfini;
- temperatura la interfața aliaj-formă rămâne constantă;
- caracteristicile termofizice ( $\lambda, c, \rho$ ) nu variază în timp;
- transmiterea căldurii între piesă și formă are loc prin conducție, unidirecțional.

Soluția ecuației (1.56) în cazul câmpului de temperatură din peretele formei este:

$$T_f = T_c - (T_c - T_{if}) \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{a_f t}}, \quad (1.57)$$

în care  $T_f$  este temperatura în peretele formei, în  $^{\circ}C$  (K);  $T_c$ -temperatura de contact, în  $^{\circ}C$  (K);  $T_{if}$ -temperatura inițială a formei,  $^{\circ}C$  (K);  $x$ -distanța la care se determină temperatura, în m;  $a_f$ -coeficientul de difuzivitate termică a peretelui formei, în  $m^2/s$ ;  $t$ -timpul, în s;  $\operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{a_f t}}$ -funcția erorilor a lui Gauss.

### 2. Metode de determinare

Pentru determinarea câmpului de temperatură în peretele formei de turnare se folosesc mai multe metode:

- metode experimentale directe care se bazează pe măsurarea temperaturii în peretele formei, în diferite puncte, în timpul procesului de solidificare a piesei;
- metode experimentale indirecte care se bazează pe modelarea fizică a procesului cum sunt: modelarea electrică, modelarea hidraulică etc.
- metode teoretice care se bazează pe rezolvarea ecuației câmpului de temperatură (1.56), utilizând relația (1.57).

În cadrul lucrării se utilizează atât metoda experimentală directă cât și metoda teoretică de calcul analitic al câmpului de temperatură. Pentru metoda directă se folosește instalația din Figura nr. 1.23.

### 3. Modul de lucru

Se montează cele trei termocupluri la distanțe diferite în peretele formei: termocuplul I la circa 1 mm de suprafața piesei, termocuplul II la jumătatea peretelui formei iar termocuplul III la suprafața exterioară a peretelui formei. La fel se montează și termocuplurile în peretele formei din amestec.

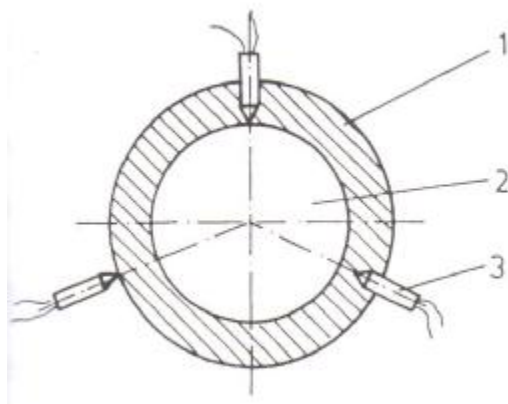


Figura nr.1.23. Instalația pentru determinarea câmpului de temperatură în peretele formei: 1-formă metalică; 2-piesă turnată; 3-termocuple.

Se toarnă aliajul lichid, la o temperatură măsurată cu ajutorul termocuplului de imersie, atât în forma metalică cât și în forma din amestec. Se înregistrează variația temperaturii cu ajutorul potențimetrului.

Datele experimentale obținute se vor trece în următorul tabel:

Aliaj	Tipul formei folosite	Timpul, s	Temp. în K					
			I	II	III	I'	II'	III'
	Metalică							
	Amestec							

Se trasează variația câmpului de temperatură în peretele formei metalice și respectiv în peretele formei din amestec.

Cu ajutorul relației (1.57) se calculează câmpul de temperatură în peretele formei metalice și respectiv în peretele formei din amestec, considerând că temperatura inițială a formei  $T_{ir} = 293$  K, iar temperatura de contact se calculează cu relația :

$$T_c = \frac{b_m}{b_m + b_f} T_t, \quad (1.58)$$

în care  $b_m$  este coeficientul de acumulare a căldurii al peretelui piesei, în  $Ws^{1/2}/(m^2K)$ ;  $b_f$  – coeficientul de acumulare a căldurii al peretelui formei, în  $Ws^{1/2}/(m^2K)$ ;  $T_t$  – temperatura de turnare, în °C (K).

Se adoptă următoarele valori :

-pentru aliajul pe bază de aluminiu :  $b_m = 23000 Ws^{1/2}/(m^2K)$  ;

-pentru aliajul pe bază de zinc :  $b_m = 17000 Ws^{1/2}/(m^2K)$  .

Pentru peretele formei :

-din fontă :  $b_f = 14000 Ws^{1/2}/(m^2K)$  ;

-din amestec:  $b_f = 1500 Ws^{1/2}/(m^2K)$  ;

-din fontă:  $a_f = 2,7 \cdot 10^{-6} m^2/s$ ;

-din amestec  $a_f = 7 \cdot 10^{-7} m^2/s$ .

Se vor trage concluzii referitoare la :

-compararea câmpului de temperatură obținut pe cale experimentală cu cel obținut prin calcul ;

-compararea câmpurilor de temperatură în cazul celor două forme de turnare ;

-influența temperaturii de turnare asupra câmpului de temperatură.

Aplicație. Să se calculeze temperatura în peretele formei metalice (fontă) și peretele formei din amestec după 60 s la distanțele :  $X = 5, 10, 15, 20, 25, 30$  mm știind că se toarnă un aliaj de aluminiu la 1000K.

Se va trasa grafic corelația :  $T = f(X)$  la 60 s pentru cele două tipuri de forme.

## 1.8. STUDIUL PROCESULUI DE SOLIDIFICARE CU AJUTORUL MODELULUI FIZIC

### 1. Considerații teoretice

Modelul fizic se poate folosi pentru studierea procesului de solidificare a pieselor turnate simple (lingouri, piese cilindrice, piese cu plane de simetrie etc). Cu acest model se pot determina parametrii procesului de solidificare (viteza de solidificare și durata de solidificare) precum și modul de formare a retaturii.

Folosirea studiului pe model a procesului de solidificare, prezintă avantajul unei metode simple de determinare a parametrilor de solidificare și anulează dificultățile create de studiul procesului pe un caz real.

De exemplu, pentru a urmări solidificarea unui lingou se poate construi un model la o scară convenabilă, înlocuind oțelul cu un material ușor fuzibil (parafina).

Pentru studierea pe model a procesului de solidificare se utilizează teoria similitudinii, la baza căreia stau trei teoreme formulate astfel:

-procesele fizice sunt similare atunci când sunt calitativ aceleași, adică sunt reprezentate de aceeași formulare matematică, iar criteriile determinate corespunzător sunt numeric egale;

-expresiile matematice care reprezintă procesele fizice, să poată fi scrise sub formă de relații funcționale între criterii de similitudine;

-la procese fizice asemănătoare, criteriile respective de similitudine să fie numeric egale.

Pentru realizarea modelului fizic și stabilirea condițiilor de experimentare trebuie determinate mai întâi criteriile principale de asemănare din natură și de pe model.

a. Criteriul de similitudine geometrică ( $m_x$ )

$$m_x = \frac{\tilde{X}^M}{\tilde{X}^N}, \quad (1.59)$$

în care  $\tilde{X}^M$  este dimensiunea caracteristică a modelului;  $\tilde{X}^N$  -dimensiunea reală (din natură).

b. Criteriul de similitudine pentru timp ( $m_t$ )

Se determină din condiția:

$$F_0^M = F_0^N, \text{ unde } F_0 = \frac{a \cdot t}{\tilde{X}^2}, \text{ (criteriul Fourier),} \quad (1.60)$$

$$m_t = \frac{t^M}{t^N} = \frac{a^N \cdot (\tilde{X}^2)^M}{a^M \cdot (X^2)^N} = m_x^2 \frac{a^N}{a^M}, \quad (1.61)$$

$$\text{în care } a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}. \quad (1.62)$$

c. Criteriul de similitudine pentru temperatură ( $m_T$ )

Se determină din condiția:

$$\theta^M = \theta^N, \text{ în care } \theta = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (1.63)$$

$$m_T = \frac{T_{\max}^M - T_{\min}^M}{T_{\max}^N - T_{\min}^N} = \frac{L^M \cdot c^N}{L^N \cdot c^M} \quad (1.64)$$

d. Criteriul de similitudine a fluxului termic ( $m_q$ )

$$m_q = \frac{q^M}{q^N} = \frac{m_T}{m_x} \cdot \frac{\lambda^M}{\lambda^N} \quad (1.65)$$

e. Criteriul de alegere a materialului de modelare:

Se aleg materiale care au unele caracteristici apropiate cu caracteristicile aliajului real.

### 2. Metode de determinare

Metode experimentale directe (măsurarea câmpului de temperatură, scurgerea restului de aliaj lichid la diferite intervale de timp).

Metode experimentale indirecte de:

- modelare fizică, folosind substanțe cu temperatură joasă de topire;
- modelare electrică;
- modelare hidraulică.

Studiul procesului de solidificare a unei piese cilindrice din oțel se realizează cu ajutorul modelului fizic prezentat în Figura nr. 1.24.

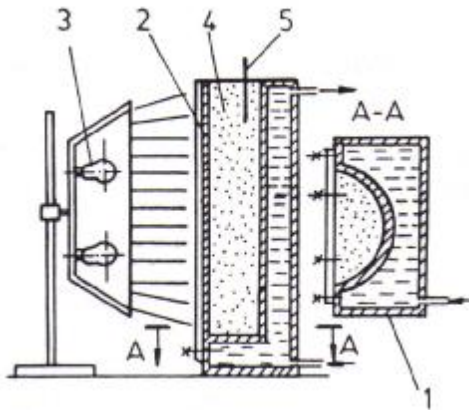


Figura nr.1.24. Model fizic pentru studiul procesului de solidificare a unui cilindru: 1-formă din tablă de oțel răcită cu apă; 2-placă din material transparent; 3-sursă de încălzire; 4-parafină; 5-termometru.

Deoarece piesa cilindrică are planuri de simetrie, modelul se poate confecționa numai parțial, planul de secționare fiind un plan de simetrie.

Modelul piesei cilindrice se execută cu pereți dubli din tablă de oțel pentru a putea fi răcit cu apă.

Perețele transparent se realizează din plexiglas și se menține mereu cald cu ajutorul unor surse de căldură (becuri cu filament).

Ca material de modelare se folosește parafina, deoarece are coeficient de contracție apropiat de cel al oțelului (3-5% față de 2-5% la oțel).

### 3. Modul de lucru

Parafină topită la 57°C și supraîncălzită la 75-80°C se toarnă în forma (1) al cărei perete (2) a fost încălzit la temperatura de 60°C cu ajutorul sursei (3).

Imediat după turnare se dă drumul la apa de răcire care circulă de jos în sus prin pereții dubli ai formei, (1).

Pentru a putea urmări înaintarea frontului de solidificare în timp, pe perețele transparent al modelului se fixează scări milimetrice plasate pe axa longitudinală și perpendicular pe aceasta la 3 nivele.

Pentru a putea urmări avansarea frontului de solidificare de la perete spre interior, placa transparentă (2) trebuie menținută permanent la o temperatură de 58-60°C, pentru a-i asigura transparența.

Cu ajutorul termometrului (5) se măsoară temperatura parafinei în funcție de timp, din 5 în 5 minute. În aceleași intervale de timp se măsoară și grosimea stratului solidificat cu ajutorul scărilor milimetrice de pe placa transparentă.

Se calculează criteriile de similitudine a, b, c, d cu ajutorul relațiilor (1.59), (1.61), (1.64) și respectiv (1.65).

Studiul procesului de solidificare pe model se face pentru o piesă cilindrică din oțel cu dimensiunile  $\Phi 360 \times 1000$ , folosind datele rezultate din măsurători, pe cele din tabelul de la aplicații și dimensiunile rezultate din Figura nr. 1.24.

Rezultatele experimentale se vor înregistra în tabelul de mai jos:

Timpul $t$ , în s	Grosimea stratului solidificat, $X$ , în mm	Temp.de turnare a parafinei, $T_t$ , în °C	Temp. parafinei la mom. $t$ în °C	Viteza de înaintare a frontului de solidificare, $v_s$ , în mm/s	Durata de solidificare $t^M$ , în s

Pentru piesa cilindrică parametrii procesului de solidificare se determină cu relațiile:

$$t^N = \frac{t^M}{m_t} \quad (1.66)$$

în care  $m_t$  se calculează cu relația (1.61).

-viteza de solidificare la momentul  $t$ :

$$V = \frac{X^N}{t^N} \quad (1.67)$$

Se vor trasa diagramele de variație a grosimii stratului solidificat  $X=f(t)$ , a temperaturii  $\theta=f(t)$  și a vitezei de solidificare  $v_s=f(t)$ , pentru model și pentru piesa reală.

Se vor trage concluzii referitoare la variația parametrilor procesului de solidificare și la mecanismul de formare a retaturii precum și forma și poziția acesteia.

Aplicație. Să se stabilească durata de solidificare și viteza medie de solidificare a unei piese cilindrice turnate din oțel folosind metoda de modelare fizică cu parafină. Se cunosc:

- diametrul piesei este de 100 mm și lungimea de 300 mm;
- proprietățile termofizice ale oțelului și parafinei (vezi tabelul de mai sus);
- temperatura de turnare a oțelului este  $1.560^{\circ}\text{C}$ ;
- piesa se toarnă într-o formă crudă ale cărei proprietăți termofizice se cunosc;
- pentru modelare s-a ales un cilindru cu diametrul de 60 mm și lungimea de 180 mm;
- timpul de solidificare a modelului din parafină  $t^M=97$  min.

Proprietățile termofizice ale oțelului și parafinei sunt:

Materialul	$T_K,$ $^{\circ}\text{C}$	$\lambda,$ $\text{W/mK}$	$\rho$ $\text{kg/m}^3$	$c,$ $\text{J/kgK}$	$a,$ $\text{m}^2/\text{s}$	$L,$ $\text{J/kg}$	Coefficientul de contractie
Oțel	1450-1500	33	7200	753	$6,11 \cdot 10^{-7}$	272.000	2-5
parafină	57	0,244	900	3230	$0,84 \cdot 10^{-7}$	150.000	3-5

Să se determine de asemenea temperatura de turnare a parafinei.

## 1.9. INFLUENȚA CONFIGURAȚIEI FORMEI ASUPRA IZOTERMELOR DE SOLIDIFICARE

### 1. Considerații teoretice

Procesul de solidificare este influențat în mare măsură de capacitatea de acumulare a căldurii de către formă și de configurația acesteia. Pentru a determina cantitatea de căldură transmisă de către aliaj formei ( $Q_f$ ) se admit următoarele ipoteze simplificatoare:

- întreaga cantitate de căldură se transmite numai prin conducție;
- temperatura de contact  $T_c$  de la interfața metal-formă rămâne constantă în timpul solidificării;
- proprietățile termofizice ale aliajului și formei rămân constante în timp.

$$Q_f = \frac{2}{\sqrt{\pi}} b_f (T_c - T_0) \sqrt{t}, \quad (1.68)$$

în care:  $b_f$  este coeficientul de acumulare a căldurii de către formă;  $T_0$ -temperatura inițială a formei;  $t$ -timpul.

Dacă se consideră o distribuție parabolică a temperaturii, cantitatea de căldură acumulată de către formă este proporțională cu suprafața de sub parabola de gradul  $n$ , Figura nr. 1.25:

$$T_f - T_0 = (T_c - T_0) \left(1 - \frac{X}{X_1}\right)^n \quad (1.69)$$

în care:  $T_f$  este temperatura formei la distanța  $X$  de interfață;  $X_1$ -adâncimea de pătrundere a căldurii în formă.

Din proprietățile parabolei rezultă că suprafața de sub curbă,  $S_1$ , este egală cu  $1/(n+1)$  din suprafața dreptunghiului care cuprinde parabola:

$$S_1 = \frac{S + S_1}{n + 1}, \quad (1.70)$$

$$\text{de unde, gradul parabolei va fi: } n = \frac{S}{S_1}. \quad (1.71)$$

Suprafețele  $S$  și  $S_1$  se determină experimental.

Pentru încălzirea volumului  $V_x$  din formă de la  $T_0$  la  $T_c$  este necesară o cantitate de căldură  $Q_x$ .

$$Q_x = V_x \cdot \rho_{\text{formă}} \cdot c_{\text{formă}} \cdot (T_c - T_0) \quad (1.72)$$

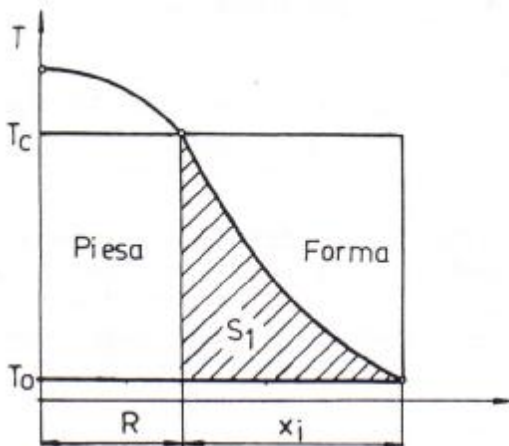


Figura nr.1.25. Câmpul de temperatură în piesă și în forma de turnare.

În cazul unei distribuții parabolice a temperaturii;

$$Q_x = \frac{1}{n + 1} V_x \cdot \rho_{\text{formă}} \cdot c_{\text{formă}} \cdot (T_c - T_0) \quad (1.73)$$

Pentru o piesă de tip placă semilimitată, dacă se notează cu  $F$  suprafața de contact piesă-formă, cantitatea de căldură acumulată de formă se determină cu relația:

$$Q_f = \frac{1}{n + 1} \cdot F \cdot x_f \cdot \rho_f \cdot c_f \cdot (T_c - T_0) \quad (1.74)$$

Cantitatea de căldură acumulată în timp de formă se poate determina calculând adâncimea de încălzire din ecuația care exprimă egalitatea dintre cantitatea de căldură transmisă de aliaj și cea acumulată de formă:

$$n \cdot \lambda_f \cdot \frac{T_c - T_0}{x_f} \cdot F \cdot dt = \frac{1}{n+1} \cdot F \cdot \rho_f \cdot c_f \cdot (T_c - T_0) dx_f \quad (1.75)$$

$$\text{de unde } x_f = \sqrt{2n(n+1)a_f t} \quad (1.76)$$

în care  $a_f$  este coeficientul de difuzivitate termică.

$$\text{Deci: } Q_f = \sqrt{\frac{2n}{n+1}} F b_f (T_c - T_0) \sqrt{t} \quad (1.77)$$

O metodă de stabilire a configurației nodurilor termice constă în trasarea izotermelor (izosolidus). La piesele complexe turnate se are în vedere că la colțurile interioare sau exterioare condițiile de cedare a căldurii spre peretele formei nu sunt aceleași ca în cazul pereților plani.

În Figura nr. 1.26 se prezintă izotermele în peretele piesei și în peretele formei în cazul muchiilor exterioare (a,b,c,d) și al muchiilor interioare (e,f,g,h).

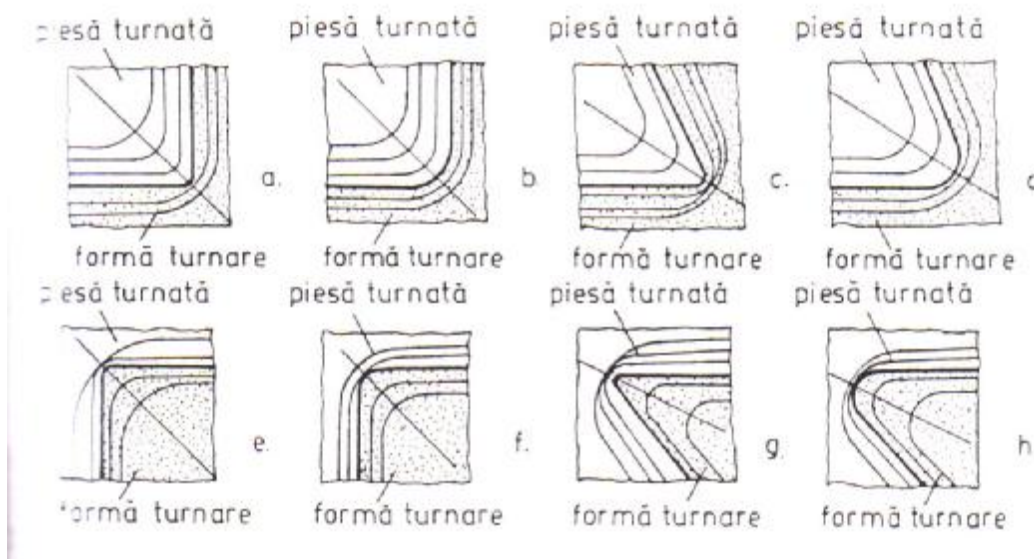


Figura nr.1.26. Efectul termic al muchiilor exterioare și al muchiilor interioare

La muchii exterioare izotermele câmpului de temperatură în piesă sunt mai îndepărtate, pe când în peretele formei sunt mai apropiate deoarece răcirea aliajului în zona colțului este

mai intensă.

La muchii interioare distanța dintre izotermele câmpului în peretele piesei este mai mică, viteza de răcire fiind redusă, în schimb izotermele din formă sunt mai îndepărtate.

## 2. Metoda de determinare

Pentru a studia influența configurației formei asupra izotermelor de solidificare se utilizează miezul și forma prezentată în Figura nr. 1.27.

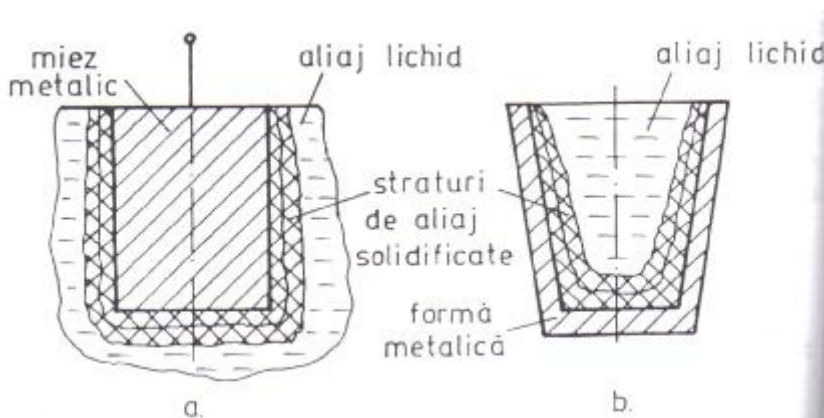


Figura nr.1.27. Miezul (a) și forma (b) metalice folosite pentru determinarea izotermelor de solidificare.

Metoda constă în realizarea unor straturi de grosimi diferite de aliaj solidificat prin metoda scurgerii de aliaj lichid. Configurația geometrică a acestor straturi reprezintă izotermele de solidificare.



### 3.Modul de lucru

Pentru a studia influența muchiilor interioare asupra configurației izotermelor de solidificare se scufundă miezul metalic într-o topitură de aliaj în care se menține 5 s. Operația se repetă de cinci ori, de fiecare dată introducând miezul mai puțin în aliaj, în așa fel încât să se obțină șase straturi distincte de aliaj solidificat.

În scopul studierii influenței muchiilor exterioare asupra izotermelor de solidificare se folosește instalația prezentată în Figura nr. 1.28.

În cavitatea formei metalice (1) se toarnă aliaj care se menține timp de cinci secunde după care, restul de aliaj nesolidificat se îndepărtează prin bascularea ansamblului cu ajutorul mânerului (3). Operația se repetă de încă cinci ori menținând temperatura de turnare constantă la timpi din ce în ce mai mari (10, 15, 20, 25 și 30 s), obținând șase cruste de aliaj cu grosimi diferite.

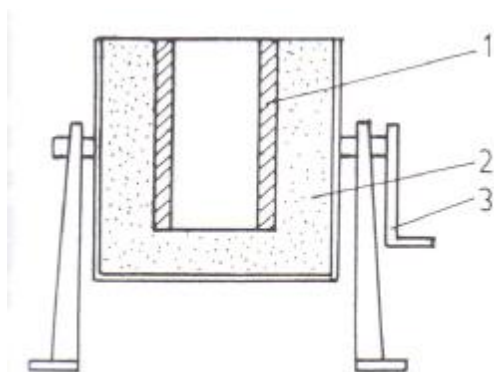


Figura nr.1.28. Modul de fixare a forme metalice: 1-forma metalică; 2-formă din amestec; 3-mâner pentru basculare.

Cu ajutorul unui șubler se măsoară grosimile fiecărui strat în opt puncte: la colțuri (c) și la jumătatea fiecărei laturi (L).

Datele obținute experimental se vor trece în următorul tabel:

Tipul muchiilor analizate	Nr. strat	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
Muchii interioare (miez metalic)	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
Muchii exterioare (formă metalică)	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								

Se desenează în secțiune transversală la scara 1:1 conturul miezului și conturul interior al forme și se fixează punctele corespunzătoare grosimilor măsurate, pe direcțiile diagonale și perpendiculare pe mijlocul laturilor. Se unesc punctele corespunzătoare fiecărui strat obținând astfel izotermele de solidificare.

Se vor trage concluzii privind influența în timp a configurației forme asupra izotermelor de solidificare, arătând importanța practică a rezultatelor obținute.

**Aplicație.** Să se determine cantitatea de căldură cedată de aliaj forme de turnare, știind că se toarnă o piesă cu dimensiunile  $\Phi 300 \times 500$  mm, după 10, 20, 40, 60, 100 s de la turnare. Piesa se toarnă din oțel carbon la temperatura 1830K într-o formă din amestec de formare cu  $b_f = 1650 \text{ W s}^{1/2} / \text{m}^2 \text{K}$ , iar temperatura de contact  $T_c = 1625 \text{ K}$ .

## 1.10. STUDIUL (CU AJUTORUL MODELULUI FIZIC) VARIAȚIEI VITEZEI DE UMLERE A CAVITĂȚII FORMEI ÎN FUNCȚIE DE CONFIGURAȚIA CANALULUI DE ALIMENTARE, LA TURNAREA INDIRECTĂ

### 1. Considerații teoretice

Umplerea formei cu aliaj lichid se face prin intermediul unei rețele de turnare, care reprezintă un ansamblu de canale orizontale și verticale.

Rețeaua de turnare are următoarele trei roluri principale:

- să asigure umplerea rapidă, dar liniștită a cavității formei, fără formare de stropi, vârtejuri și fără distrugerea pereților formei sub acțiunea jetului de aliaj lichid;
- să rețină zgura și alte incluziuni nemetalice și să nu permită absorbția aerului în jetul de aliaj lichid;
- să asigure o repartizare corectă a temperaturii în aliajul din cavitatea formei în vederea realizării unei solidificări dirijate.

După oxidabilitatea aliajelor care se toarnă, rețelele se împart în două categorii:

- rețele convergente, folosite la turnarea aliajelor cu oxidabilitate redusă cum ar fi fontele, oțelurile, alamele (cu excepția alamelor cu siliciu și aluminiu) și a bronzurilor (cu excepția bronzurilor cu siliciu, aluminiu, beriliu și mangan). Notând cu  $S_p$ ,  $S_c$  și  $S_a$  ariile secțiunii piciorului (la bază) a colectorului și alimentatorului, se poate scrie:

$$S_p > S_c > S_a. \quad (1.79)$$

- rețele divergente, folosite la turnarea aliajelor oxidabilitate ridicată, cum sunt aliajele grele: bronzurile și alamele care conțin ca elemente de aliere Si, Al, Be, Mn și aliajele ușoare pe bază de aluminiu și magneziu. În cazul acestor rețele se poate scrie:

$$S_p < S_c \leq S_a. \quad (1.80)$$

Calculul rețelilor de turnare constă în determinarea secțiunii minime a rețelei (secțiunea alimentatorului la rețelele convergente și secțiunea piciorului la bază la rețelele divergente) și se face astfel încât să se asigure un timp optim de umplere a formei.

Timpul optim de umplere a formei este determinat de un debit optim al aliajului lichid în alimentatoare, iar acest debit depinde de viteza jetului la ieșirea din alimentator și de secțiunea acestuia.

Forma secțiunii transversale a alimentatorului are de asemenea o influență importantă asupra debitului. Astfel cu cât această secțiune este mai apropiată de un cerc, cu atât debitul va fi mai mare (la aceeași suprafață a secțiunii) deoarece pierderile de presiune sunt mai mici și gradul de utilizare a secțiunii alimentatorului este mai mare.

Pentru determinarea vitezii medii de umplere a cavității formei în cazul turnării indirecte se pornește de la legea continuității (Figura nr. 1.29):

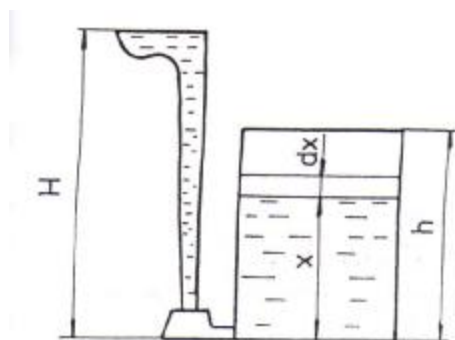


Figura nr. 1.29. Schema metodei de alimentare indirectă.

$$F dx = S_a v dt, \quad (1.81)$$

în care:  $F$  este secțiunea medie a piesei;  $x$  - înălțimea curentă de umplere;  $S_a$  - secțiunea alimentatorului;  $v$  - viteza jetului de aliaj la intrarea în cavitatea formei.

Dar: 
$$v = \mu \sqrt{2g(H - x)}, \quad (1.82)$$

în care:  $\mu$  este coeficientul de pierdere de viteză;  $g$  - accelerația gravitațională;  $H$  - înălțimea piciorului și a pâlniei de turnare.

Astfel, legea continuității devine:

$$Fdx = S_a \mu \sqrt{2g(H-x)} dt, \quad (1.83)$$

$$dt = \frac{F}{S_a} \cdot \frac{dx}{\mu \sqrt{2g(H-x)}}. \quad (1.84)$$

Prin integrare se obține timpul necesar pentru umplere:

$$t = \frac{F}{S_a} \frac{1}{\mu} \int_0^h \frac{dx}{\sqrt{2g(H-x)}}, \quad (1.85)$$

$$t = \frac{F}{S_a} \frac{1}{\mu g} \left( \sqrt{2g(H-h)} \right) - \sqrt{2gH}. \quad (1.86)$$

Având în vedere că viteza medie se poate determina cu relația:

$$v_m = \frac{F}{S_a} \frac{h}{t}, \quad (1.87)$$

se ajunge în final la expresia:

$$v_m = \frac{\mu \sqrt{2g(H-h)} + \mu \sqrt{2gH}}{2}. \quad (1.88)$$

## 2. Metoda de determinare

Pentru studiu se utilizează un model (Figura nr.1.30) realizat din plexiglas, care are marcate pe generatoare diferite nivele cuprinse între 0 și 32 dm<sup>3</sup>, o rețea de turnare demontabilă și trei alimentatoare cu următoarele caracteristici:

- secțiune rotundă,  $S_a = 4,9 \text{ cm}^2$ ;
- secțiune dreptunghiulară,  $S_a = 4,9 \text{ cm}^2$ ;
- secțiune trapezoidală,  $S_a = 4,9 \text{ cm}^2$ .

Ca lichid de modelare se utilizează apa.

## 3. Modul de lucru

Pentru efectuarea determinărilor se montează pe rând cele trei alimentatoare, utilizând pentru aceasta garnituri de cauciuc, la partea inferioară a modelului.

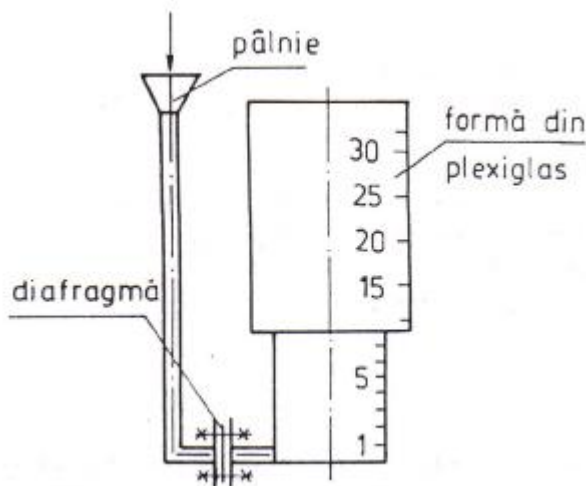


Figura nr.1.30. Modelul utilizat pentru experimentări

În continuare, se introduce apa în rețeaua de turnare, astfel încât nivelul din pâlnia de turnare să rămână constant. Se cronometrează timpul de umplere a modelului de la o diviziune la alta pentru fiecare tip de alimentare.

Datele obținute se trec în tabelul următor :

Diviziuni	Timpul de umplere, pentru secțiunea alimentatorului		
	rotundă	dreptunghiulară	Trapezoidală
1			
2			
.			
.			
32			

Pentru fiecare tip de alimentator se trasează grafic corelația dintre viteza de umplere și timpul de alimentare.

Se va analiza care tip de secțiune asigură o umplere mai rapidă a formei, explicându-se cauza variației vitezei de umplere în funcție de configurația alimentatorului.

#### Aplicații

a. Să se calculeze coeficientul de pierdere de viteză pentru cele trei tipuri de alimentatoare folosite în lucrare ;

b. Să se determine diametrul piciorului de turnare al rețelei la turnarea unei piese din oțel de 600 kg prin alimentare indirectă, cunoscând :

-timpul optim de umplere a cavității formei,  $t_0=30$  s ;

-coeficientul de pierdere de viteză  $\mu=0,8$  ;

-densitatea oțelului lichid  $\rho_0=7 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup> ;

-înălțimea piesei,  $h=0,6$  m;

- $S_p:S_a=1,5$ .

## 1.11. MODELAREA FIZICĂ A DISTRIBUȚIEI ALIAJULUI LICHID ÎN ALIMENTATOARELE REȚELEI DE TURNARE

### 1. Considerații teoretice

La determinarea condițiilor optime de turnare, o problemă de bază o constituie distribuția uniformă a aliajului lichid în alimentatoarele rețelei de turnare. Această problemă se justifică mai ales în cazul folosirii unor rețele de turnare cu multe alimentatoare, la piesele cu gabarit mare și cu grosime de perete relativ mică.

Neglijarea acestui lucru duce la apariția unor defecte de turnare cum ar fi: margini dure, deformări, pori de gaze, cruste, incluziuni etc.

Repartizarea corectă a debitelor în alimentatoare depinde de presiunea statică din dreptul fiecărui alimentator. Deci, echilibrarea debitelor se realizează numai atunci când presiunea imediat în amonte și imediat în avalul fiecărui alimentator este aceeași.

Pentru studiu se aplică teorema lui Bernoulli între secțiunea canalului imediat în amonte primului alimentator (presiunea  $P$  și viteza medie  $v_c$ ) și secțiunea canalului imediat în avalul ultimului alimentator (presiune  $P_2$  și viteza medie nulă).

$$\text{Deci: } \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_c}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \Delta H, \quad (1.89)$$

$$\text{în care: } \Delta H = \xi \frac{v_c^2}{2g}, \quad (1.90)$$

în care  $\xi$  reprezintă coeficientul de pierdere a presiunii datorită frecării de-a lungul canalului colector și a lărgirii jetului de lichid în dreptul fiecărui alimentator.

Înlocuind relația (1.90) în relația (1.89) se obține:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \xi \frac{v_c^2}{2g} \quad (1.91)$$

$$\text{sau: } \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_c^2}{2g} (\xi - 1), \quad (1.92)$$

$$\text{Pe de altă parte, se poate scrie: } H - \Delta H_c = \frac{v_a^2}{2g}, \quad (1.93)$$

În care  $H$  este presiunea în amonte canalului colector;  $\Delta H_c$  – pierderea de presiune totală a canalului colector;  $v_a$  – viteza medie pentru toate alimentatoarele.

$$\text{Deoarece: } \Delta H = \xi \frac{v_c^2}{2g}, \quad (1.94)$$

Rezultă conform legii continuității:

$$v_a = v_c \frac{S_c}{S_a}, \quad (1.95) \quad \text{în care: } \xi_c \text{ este coeficientul total}$$

de pierdere a presiunii în canalul colector;  $S_c$  - aria secțiunii canalului colector;  $S_a$  – aria secțiunii alimentatoarelor.

Înlocuind relațiile (1.94) și (1.95) în relația (1.93) se obține:

$$H = \frac{v_c^2}{2g} \left[ \left( \frac{S_c}{S_a} \right)^2 + \xi_c \right] \quad (1.96)$$

Eliminând raportul  $\frac{v_c^2}{2g}$  între relațiile (1.96) și (1.92) se obține:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = H \frac{\xi - 1}{\xi_c + \left( \frac{S_c}{S_a} \right)^2}. \quad (1.97)$$

În expresia (1.97)  $P_1 = P_2$  dacă partea din dreapta egalității tinde către zero.

Deci, în concluzie, uniformitatea debitelor va fi cu atât mai mare cu cât:  
-presiunea va fi mai scăzută;

- coeficientul  $\xi$  va fi mai apropiat de 1;
- coeficientul  $\xi_c$  va fi mai ridicat;
- raportul  $\frac{S_c}{S_a}$  va fi mai mare.

## 2. Metoda de determinare

Pentru cercetarea distribuției aliajului lichid în alimentatoarele rețelei de turnare se poate folosi metoda de modelare fizică, care are la bază teoria similitudinii. Se utilizează o rețea de turnare cu cinci alimentatoare transparente, din plexiglas, cu pereți netezi, având avantajul că permite observarea directă a proceselor de curgere care au loc. Ca lichid de modelare se folosește apa.

În Figura nr. 1.31 este prezentată rețeaua de turnare din plexiglas utilizată pentru determinări.

Secțiunile canalelor rețelei de turnare au următoarele valori:

$$S_p = 306 \text{ mm}^2; S_c = 306 \text{ mm}^2; S_a = 5 \times 102 \text{ mm}^2$$

Gradul de convergență sau de divergență al sistemului se poate regla cu ajutorul unor dopuri din cauciuc, cu care se obturează diferite canale de evacuare (alimentatoare). Tot cu ajutorul acestora se poate varia distanța dintre alimentatoare, sau distanța dintre alimentatoare și piciorul pâlniei de turnare. Astfel se pot studia următoarele sisteme:

- I.  $S_p : S_c : S_a = 3 : 3 : 1$  (un alimentator);
- II.  $S_p : S_c : S_a = 1,5 : 1,5 : 1$  (două alimentatoare);
- III.  $S_p : S_c : S_a = 1 : 1 : 1$  (trei alimentatoare);
- IV.  $S_p : S_c : S_a = 1 : 1 : 1,34$  (patru alimentatoare);
- V.  $S_p : S_c : S_a = 1 : 1 : 1,7$  (cinci alimentatoare).

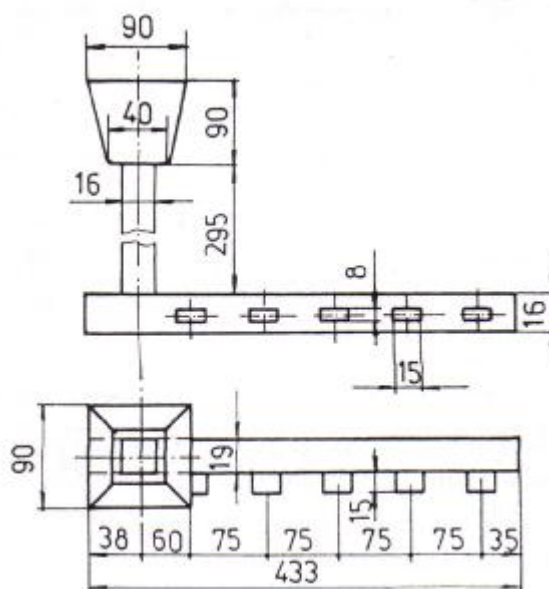


Figura nr.1.31. Modelul din plexiglas utilizat la studiul repartiției debitelor în alimentatoare

## 3. Modul de lucru

Cu ajutorul dopurilor de cauciuc se astupă câte patru alimentatoare, astfel încât alimentatorul activ să ocupe pe rând toate cele cinci poziții. Pentru fiecare poziție a alimentatorului se introduce apă în rețea (menținând nivelul din pâlnie constant) și se determină debitul prin măsurarea volumului de apă scurs în unitatea de timp.

Se află debitul fiecărui alimentator la funcționarea următoarelor perechi: 1,2; 1,3; 1,4; 1,5.

Se determină debitele alimentatoarelor:

$$1+2+3; 1+2+3+4; 1+2+3+4+5.$$

Datele obținute experimental se trec în următorul tabel:

Alimentatoarele care funcționează	Debitul, Q, cm <sup>3</sup> /s	
1		
2		
3		
4		
5		
1-2	Q <sub>1</sub> =	Q <sub>2</sub> =
1-3	Q <sub>1</sub> =	Q <sub>3</sub> =
1-4	Q <sub>1</sub> =	Q <sub>4</sub> =
1-5	Q <sub>1</sub> =	Q <sub>5</sub> =
1+2+3		
1+2+3+4		
1+2+3+4+5		

Se calculează mai întâi gradul de neuniformitate a debitelor (pentru perechile de alimentatoare 1,2; 1,3; 1,4; 1,5) cu ajutorul formulei:

$$N = \frac{Q_M - Q_m}{\frac{Q_t}{2}}, \quad (1.98)$$

în care Q<sub>M</sub> este debitul maxim; Q<sub>m</sub> – debitul minim; Q<sub>t</sub> – debitul total.

Folosind datele din tabel și valorile obținute prin calcul se vor trasa următoarele grafice:

- variația debitului la îndepărtarea alimentatorului de piciorul de turnare;
- variația gradului de neuniformitate a debitelor la creșterea distanței dintre două alimentatoare;
- variația debitului cu numărul de alimentatoare.

Se vor arăta cauzele care determină variația mărimilor studiate.

Pe baza rezultatelor obținute se vor face câteva recomandări practice legate de construcția rețelei de turnare.

#### Aplicații.

a. Să se determine presiunea statică și dinamică a unui aliaj de aluminiu ( $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) în piciorul de turnare, la o înălțime h de 0,4 m de la nivelul canalului colector, dacă înălțimea piciorului de turnare H este 0,9 m.

b. Să se determine gradul minim de convergență ( $S_p : S_a$ ) al unei rețele de turnare, astfel încât canalul de alimentare să rămână plin în timpul umplerii cavității unei forme pe la partea superioară. Coeficientul de pierdere a vitezei pe porțiunea: baza piciorului de turnare – restul rețelei este egal cu 0,6.

## 1.12. MODELAREA FIZICĂ A PROCESULUI DE REȚINERE A INCLUZIUNILOR NEMETALICE ÎNTR-UN CANAL COLECTOR ZIMȚAT

### 1.Considerații teoretice

Incluziunile nemetale au de obicei greutatea specifică mai mică decât a aliajului lichid. Ca urmare, sunt supuse unei forțe ascensionale,  $F_a$  (forța arhimedică):

$$F_a = \frac{4\pi}{3} gr^3 (\rho_{al} - \rho_i) \quad (1.99)$$

în care:  $r$  este raza particulei, în m;  $\rho_{al}$  – densitatea aliajului lichid, în  $\text{kg/m}^3$ ;  $\rho_i$  – densitatea incluziunilor, în  $\text{kg/m}^3$ .

Sub acțiunea forței ascensionale, incluziunile nemetale tind să se ridice la suprafață. Datorită viscozității aliajului lichid, în mișcarea ascensională incluziunile întâmpină o rezistență,  $F_r$ , care în conformitate cu legea lui Stokes, este proporțională cu vâscozitatea aliajului lichid,  $\eta$ , cu viteza de deplasare,  $v$  și cu raza particulei,  $r$ :

$$F_r = 6\pi r v \eta \quad (1.100)$$

La o anumită valoare a vitezei de deplasare forța de rezistență ajunge să fie egală cu forța de ascensiune și ca urmare particula se va mișca în continuare cu o viteză constantă egală cu:

$$6\pi r v \eta = \frac{4\pi}{3} gr^3 (\rho_{al} - \rho_i) \quad (1.101)$$

$$v = \frac{2}{9} gr^2 \frac{\rho_{al} - \rho_i}{\eta} \quad (1.102)$$

Pentru modelarea procesului de curgere a aliajelor lichide prin rețeaua de turnare se au în vedere următoarele criterii de similitudine:

1. Criteriul Reynolds, care caracterizează aliajul lichid aflat în mișcare prin canale, unde acționează forțe de inerție și de frecare.

$$Re_r = Re_m \quad (1.103)$$

$$\text{sau: } \frac{d_r v_r}{\nu_r} = \frac{d_m v_m}{\nu_m} \quad (1.104)$$

în care:  $d_r$  este diametrul hidraulic real al canalului, în cm;  $v_r$  – viteza de curgere a aliajului în canalul luat în considerare, în m/s;  $\nu_r$  – vâscozitatea cinematică a aliajului, în  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $d_m$  – diametrul hidraulic al canalului modelat, în m;  $v_m$  – viteza de curgere a lichidului de modelare, în m/s;  $\nu_m$  – vâscozitatea cinematică a lichidului de modelare, în  $\text{m}^2/\text{s}$ .

2. Criteriul Froude, care caracterizează aliajul lichid aflat sub acțiunea forței de gravitație. În acest caz condiția de asemănare:

$$Fr_r = Fr_m \quad (1.105)$$

$$\text{se scrie: } \frac{v_r^2}{g_r l_r} = \frac{v_m^2}{g_m l_m}, \quad (1.106)$$

în care  $l$  este mărimea liniară caracteristică, iar  $g$  este accelerația gravitațională.

Dacă se ține seamă în același timp de forțele de frecare și de greutate, trebuie respectată condiția:

$$\frac{v_m}{v_r} = \left( \frac{l_m}{l_r} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (1.107)$$

Într-un jet puternic turbulent, rezistențele datorate vâscozității reprezintă câteva procente din rezistența totală, iar la numere Reynolds destul de mari, pierderile de presiune nu depind de viscozitate.

Se poate deci asigura o asemănare dinamică numai în condițiile unei asemănări geometrice și cinematice.



## 2. Metoda de determinare

Se folosește modelul prezentat în Figura nr. 1.32, realizat din plexiglas, care se compune dintr-o pâlnie de turnare, un picior, un canal orizontal de secțiune trapezoidală (care are la partea superioară patru zimți) și două canale de alimentare (evacuare) așezate înspre capătul canalului colector. Aceste canale se pot obtura mai mult sau mai puțin cu ajutorul unor dopuri, reglându-se în acest mod viteza de curgere prin colector.

În scopul determinării eficacității colectorului de zgură, în cazul turnării fontelor, este necesară găsirea unor înlocuitori pentru fontă și pentru impurități. În locul fontei se poate folosi apa, iar în locul impurităților, particule de plută.

Într-un curent turbulent, viteza  $v$  de ieșire la suprafața apei a particulelor de plută, care sunt mai ușoare decât apa, este proporțională cu rădăcina pătrată din raportul  $(\rho_f - \rho_i)/\rho_f$ :

$$v = e \left( \sqrt{\frac{\rho_f - \rho_i}{\rho_f}} \right), \quad (1.108)$$

în care  $\rho_f$  este densitatea fontei lichide;  $\rho_i$  – densitatea incluziunilor.

$$\text{Se poate defini mărimea: } e = \sqrt{\frac{\frac{\rho_a - \rho_p}{\rho_a}}{\frac{\rho_f - \rho_i}{\rho_f}}}, \quad (1.109)$$

în care  $\rho_a$  este densitatea apei, egală cu  $10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho_p = 0,2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho_f = 6,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho_i$  – densitatea incluziunilor de zgură =  $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

Cu aceste valori se obține pentru  $e$  valoarea 1,12.

Rezultă că ieșirea la suprafață a bucăților de plută se realizează mai ușor cu 12% decât ieșirea la suprafață a incluziunilor din zgură. Pe de altă parte, viteza maximă de ridicare a unei particule mai ușoare decât fluidul în care se află,  $v_{\max} = e(\sqrt{r})$ , în care  $r$  este raza particulei. Astfel, asemănarea se realizează când  $r_i = 1,25 r_p$ , în care  $r_i$  este raza incluziunilor de zgură, iar  $r_p$  raza particulelor de plută

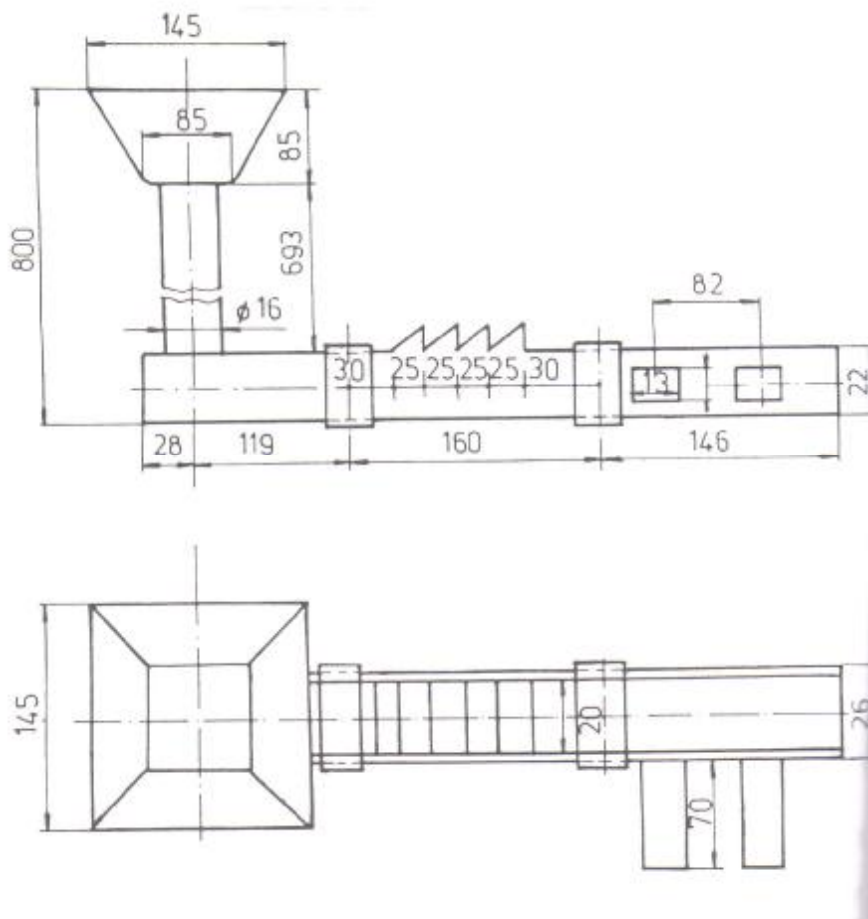


Figura nr.1.32. Modelul din plexiglas folosit la studiul reținerii zgurei într-un canal colector zimțat.

### 3. Modul de lucru

Se obțin prin tăiere câte 10 bucăți de plută cu diametrul de 2; 3 și 4 mm.

Se toarnă apă prin model, menținând nivelul lichidului din pâlnie constant, după care se introduc pe rând cele 10 bucăți de plută din fiecare dimensiune.

Pentru fiecare tip de particule se determină numărul bucăților reținute de fiecare zimț.

Experiențele se efectuează pentru două viteze de curgere a apei prin canalul colector. Cele două viteze se obțin prin obturarea diferită a alimentatoarelor cu ajutorul unor dopuri de cauciuc.

Stabilirea vitezei de curgere se face prin calcularea debitului de apă scursă prin cele două alimentatoare și prin aplicarea legii continuității.

Rezultatele obținute în urma determinărilor efectuate se trec în următorul tabel:

Viteza de curgere prin colector	Diametrul particulei	Numărul de particule reținute				
		I	II	III	IV	V
V <sub>1</sub>						
V <sub>2</sub>						

Pe baza datelor trecute în tabel se vor trasa următoarele grafice:

-numărul de particule reținute = f (numărul de ordine al zimților), pentru fiecare tip de particule;

-numărul total de particule, de fiecare tip, reținute = f(viteza apei din colector).

Se vor interpreta cauzele care determină variațiile ilustrate de cele două grafice și se va explica în ce mod rezultatele obținute în laborator se pot folosi în practică.

Aplicație. Să se determine lungimea colectorului de zgură pe porțiunea picior – primul alimentator (L), astfel încât să nu apară pericolul pătrunderii în cavitatea formei a zgurei, la turnarea unei piese din fontă. Se cunosc:

-înălțimea sistemului picior +pâlnie de turnare,  $H=0,4$  m;

-înălțimea alimentatorului,  $h=0,02$  m;

-densitatea fontei lichide,  $\rho_f=7 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>;

-densitatea zgurei,  $\rho_z=2,4 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>;

-vâscozitatea dinamică a fontei  $\eta = 4 \cdot 10^3$  Ns/m<sup>2</sup>;

-raza particulelor de zgură,  $r=3 \cdot 10^{-4}$  m;

-viteza aliajului în canalul colector este de două ori mai mică decât cea din piciorul de turnare.