

OPTIMIZAREA PROIECTĂRII MASELOTELOR LA TURNAREA REPERULUI „SUPPORT”

OPTIMIZATION OF FEEDER DESIGN FOR THE CASTING OF A “SUPPORT”

Ciprian SZABO, Ioan CIOBANU, Daniel FERARU, Aurel CRIȘAN

„Transilvania” University of Brașov, Romania

Rezumat. Proiectarea optimizată a maselotelor la turnarea pieselor se bazează pe compararea mai multor variante tehnologice. Varianta optimizată se stabilește având în vedere calitatea piesei și costul de fabricație. Trebuie să se acorde prioritate aspectelor calitative. Se exemplifică analiza comparativă a trei variante de maselotare la turnarea unui reper. Pentru analiza tehnologiilor din punct de vedere al solidificării piesei se aplică metoda modulului de solidificare real. Pentru analiza din punct de vedere economic se calculează randamentul (indicele) de utilizare a aliajului lichid la turnare.

Cuvinte cheie: turnare, solidificare, simulare, maselotă

1. Introducere

Optimizarea tehnologiei de turnare a unui reper impune o analiză comparativă a mai multor variante tehnologice. Analiza comparativă trebuie să aibă în vedere în primul rând calitatea pieselor, dar și factorul economic (consum de materiale, de manoperă și energie). Calitatea piesei este primordială. La fabricația unei piese procedeul de turnare se alege în primul rând în funcție de dotarea atelierului de turnare. După stabilirea procedurii de turnare, optimizarea tehnologiei de turnare se implică stabilirea poziției piesei la turnare, alegerea suprafeței de separație a formelor, stabilirea miezurilor necesare, proiectarea rețelei de turnare și a sistemului de maselotare. Dintre acestea o importanță mare o are optimizarea sistemului de maselotare. Maselotele influențează solidificarea pieselor și prin aceasta compactitatea pieselor, dar au de asemenea o influență mare asupra consumului de aliaj lichid la turnare și deci asupra costului de fabricație.

2. Obiectivul lucrării

Lucrarea exemplifică modul de efectuare a unei analize comparative asupra sistemelor de maselotare posibile de aplicat în cazul turnării unei piese din oțel (piesa “support”) în vederea stabilirii variantei celei mai bune din punct de vedere tehnic și economic.

3. Mod de lucru

Piesa turnată supusă analizei este arătată în figura 1. Aceasta are o geometrie relativ simplă, dar grosimea de perete este relativ mare. Ca urmare piesa

Abstract. Optimized design of feeders in the casting of parts is based on the comparison of several technological variants. The optimized variant is established by taking into consideration part quality and manufacturing cost. Priority needs to be assigned to qualitative aspects. The paper exemplifies the compared analysis of three variants of feeder design for the casting of a given part. The method of the real solidification modulus was applied for the analysis of technologies from the viewpoint of part solidification. The efficiency (index) of liquid alloy utilization in casting was calculated in view of economic analysis.

Keywords: casting, solidification, simulation, feeder

1. Introduction

Optimizing the casting technology of a part requires the compared analysis of several technological variants. Compares analysis needs to consider firstly the quality of parts, but also the economic factor (consumption of materials, work and energy). Priority comes to part quality. In manufacturing of a part the casting procedure is selected mainly by the endowment of the foundry. Upon establishing the casting procedure, optimization of the casting technology concerns establishing part position during casting, selecting the separation surface of the moulds, establishing the required cores, designing the gating and the feeder system. Of these, major importance comes to optimizing the feeder system. Feeders influence part solidification and consequently part compactness, but also have a significant bearing on liquid alloy consumption in casting, and thus on manufacturing costs.

2. Aim of the paper

The paper exemplifies a compared analysis of possible feeder systems applicable in the casting a steel part (“support”), in view of establishing the technically and economically best variant.

3. Work method

Figure 1 shows the analyzed cast part. While of simple geometry, wall thickness is relatively great. Consequently the part tends to generate shrinkage

k_i – coeficient de răcire aferent suprafeței „ i ” (acesta ține cont de transmisia reală a căldurii prin suprafața respectivă în timpul solidificării piesei); „ i ” – numărul de ordine al suprafețelor, n – numărul total de suprafețe ale piesei turnate.

Termenul de la numitorul relației (1) se mai numește suprafață echivalentă de răcire.

Coeficienții specifici de răcire k_i pot avea valori subunitare sau supraunitare după cum răcirea prin suprafața respectivă este încetinită sau accelerată prin construcția formei de turnare [3 ÷ 10].

4. Rezultate privind analiza solidificării

Înainte de proiectarea sistemului de maselotare pentru turnarea unei piese este necesar să se efectueze o analiză a solidificării acesteia în absența maselotelor și a rețelei de turnare. O astfel de analiză dă o primă informație despre influența geometriei piesei asupra succesiunii solidificării și asupra poziției și mărimii nodurilor termice.

La o privire superficială asupra piesei din figura 1, există tentația să afirme că această piesă prezintă două noduri termice în zonele de la capete, deoarece acestea au o grosime mai mare decât zona mijlocie. Fără a calcula modulul real de solidificare există tentația să se afirme că zonele de capăt (zonele 1 și 3) au modulul de solidificare cel mai mare. Așa cum se va arăta în continuare această afirmație este falsă, deoarece nu ține cont de condițiile reale de răcire ale piesei.

În tabelul 1 sunt date valorile modulului de solidificare real, calculat pentru cele trei zone ale piesei din figura 1. Aceste valori sunt calculate în absența unor maselote și a rețelei de turnare. La calculul modulului real de solidificare al acestei piese s-a avut în vedere că răcirea piesei prin unele suprafețe este încetinită datorită supraîncălzirii rapide a amestecului de formare. Acest lucru se întâmplă în zona colțurilor calde și în zona găurilor înfundate, care au un diametru mic în raport cu grosimea pereților piesei. Notarea zonelor și a suprafețelor piesei este arătată în figura 1. Valorile coeficienților de răcire pentru suprafețele respective sunt date în tabelul 1. Aceste valori s-au stabilit având în vedere că în zona colțurilor calde răcirea este afectată de obicei pe o distanță egală cu grosimea pereților piesei, iar în zona găurilor cu diametru mic răcirea este afectată în funcție de raportul dintre diametrul orificiilor și grosimea peretelui [3 ÷ 10].

Valorile modulului de solidificare din tabelul 1 arată că în absența unor maselote și a rețelei de turnare, solidificarea piesei este ușor dirijată dinspre zonele de capăt (zonele 1 și 3) spre centrul piesei

coeficient de suprafață „ i ” taking into account real heat transmission through the respective surface during part solidification; „ i ” – current number of surfaces, n – total number of surfaces of the cast part.

The term at the denominator of equation (1) is also known as equivalent cooling surface.

The specific cooling coefficients k_i can have values smaller or greater than the unit, as cooling through the respective surface is slowed down or accelerated by the construction of the casting mould [3 ÷ 10].

4. Results concerning solidification analysis

Prior to designing the feeder system for the casting of a given part, an analysis is required of its solidification in the absence of feeders and gating. Such an analysis provides information on the influence of part geometry of the sequence of solidification and on the positioning and size of the hot spots.

At a superficial glance at the part of figure 1 the observer may be tempted to identify two hot spots in the end zones, given their significantly larger thickness that that of the central area. Without calculating the real solidification modulus it may be stated that the end zones (zones 1 and 3) have the highest solidification modulus. As will be shown further on, such statement would be false, as the real cooling conditions of the part had not been taken into consideration.

Table 1 shows the values of the real solidification modulus, computed for the three zones of the part of figure 1. These values were calculated in the absence of feeders and gating. The calculation of the real solidification modulus of the part took into consideration that part cooling through some of the surfaces is slowed down due to rapid overheating of the moulding sand. This phenomenon occurs in the area of hot spots (corners) and of blind holes of small diameter compared to wall thickness. Figure 1 shows the denoting of part zones and surfaces. The values of the cooling coefficients for these surfaces are given in table 1. The values were established considering that in the area of the hot spots (corners) cooling is typically affected on a distance equal to wall thickness, while in the area of small diameter holes cooling is affected depending on the whole diameter to wall thickness ratio [3 ÷ 10].

The values of the solidification modulus featured in table 1 show that in the absence of feeders and gating part solidification is easily directed from the end zones (zones 1 and 3) towards

(zona 2) deoarece între modulele de solidificare există relația:

$$Mr_2 = 10.02 > 8.94 = Mr_1. \quad (2)$$

Acest rezultat contrazice faptul că zonele de la capete piesei, care sunt mai groase, se solidifică ultimile. În concluzie desfășurarea reală a solidificării individuale a piesei determină o tendință de apariție a unei retasuri în zona centrală a acesteia.

Pentru a preveni apariția unor retasuri în piesă este necesar să se recurgă la utilizarea unor maselote la tumare. Evident că soluția optimă va consta în utilizarea unei maselote în zona care se solidifică ultima (zona 2). Totuși într-o primă fază vom analiza ce se întâmplă dacă se va adopta o tehnologie de tumare cu două maselote laterale plasate la capetele piesei, adică în zonele 1 și 3. Există posibilitatea ca în practică să se adopte o astfel de soluție dacă se pornește de la analiza solidificării piesei pe baza grosimii geometrice a pereților.

the centre of the part (zone 2) as the solidification module are related by equation (2):

This result contradicts the assumption of the thicker end zones of the part solidifying last. Consequently the real individual solidification process of this part causes the tendency of shrinkhole generation in its central area.

Feeders have to be used in casting in order to prevent shrinkhole generation in the part. Evidently the optimum solution will consist in using a feeder in the area to solidify last (zone 2). In a first step, however, we will analyze the possibility of a technology involving two lateral feeders located at the ends of the part, namely in zones 1 and 3, as in practice this solution may be adopted following solidification analysis based on geometrical thickness of the walls.

Tabelul 1. Modulul de solidificare real al piesei fără maselote

Table 1. The real solidification module of parts cast without a feeder

Zona / Zone	Modulul de solidificare real / The real solidification module		
	Relația de calcul / Equation	Coeficienți de răcire / Cooling coefficients	Valoare / Value
<i>z</i>		k_i	Mr [mm]
1 or 3	$V_1 / \sum_{k=1}^{k=7} k_i S_i$	$k_1 \div k_5 = 1$ $k_6 = k_7 = 0.5$	8.94
2	$V_2 / \sum_{k=8}^{k=13} k_i S_i$	$k_8 = 0.95; k_9 = 0.90$ $k_{10} = k_{11} = 1$ $k_{12} = k_{13} = 0.5$	10.02
Calculul volumelor și al suprafețelor / Volume and surface calculations:			
Volumul zonei 1 / Volume of zone 1 = $V_1 = 40 \cdot 44 \cdot 52 = 91520 \text{ mm}^3$			
Volumul zonei 2 / Volume of zone 2 = $V_2 = 88 \cdot 44 \cdot 40 - 2\pi \cdot 100 \cdot 12 = 147344 \text{ mm}^3$			
$S_1 = 44 \cdot 52 = 2288 \text{ mm}^2; S_2 = S_3 = 40 \cdot 52 = 2080 \text{ mm}^2; S_4 = S_5 = 40 \cdot 44 = 1760 \text{ mm}^2; S_6 = S_7 = 44 \cdot 6 = 264 \text{ mm}^2;$			
$S_8 = 88 \cdot 44 = 3872 \text{ mm}^2; S_9 = 88 \cdot 44 - 2\pi \cdot 100 = 3244 \text{ mm}^2; S_{10} = S_{11} = 40 \cdot 88 = 3520 \text{ mm}^2;$			
$S_{12} = 2\pi \cdot 100 = 628 \text{ mm}^2; S_{13} = 2\pi \cdot 20 \cdot 12 = 1507.2 \text{ mm}^2$			

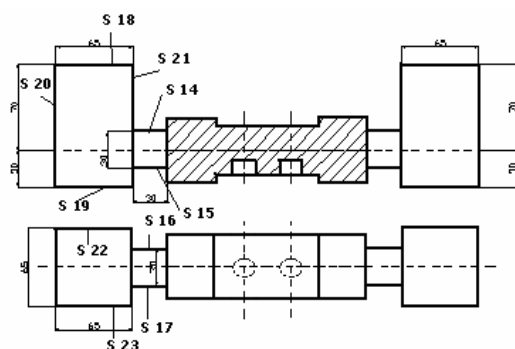
Tehnologia de turnare cu două maselote la capetele piesei este arătată în figura 2. Având în vedere valorile modulului de solidificare real al zonelor 1 și 3 (tabelul 1), s-au adoptat două maselote laterale cu diametru de 65 mm și înălțime totală de 100 mm. Dimensiunile maselotelor în această variantă de turnare sunt date în figura 2.

Plasarea maselotelor determină schimbarea valorii modulului de solidificare real al zonelor 1 și 3, deoarece suprafața de răcire a piesei S_1 se micșorează ca urmare a canalului de legătură piesă – maselotă, cât și datorită plasării în apropiere a maselotelor, care încetinește transmisia căldurii prin această suprafață. Valorile coeficienților de răcire și ale modulelor de solidificare ale piesei, ale maselotei și ale canalului de legătură piesă – maselotă, în cazul acestei variante de tumare, sunt date în tabelul 2. Notarea suprafe-

Figure 2 shows the casting technology with two feeders. Considering the values of the real solidification modulus of zones 1 and 3 (table 1) two lateral feeders of 65 mm diameter and 100 mm height were adopted. Feeder dimensions in this casting variant are shown in figure 2.

The positioning of the feeders determines a change in the value of the real solidification modulus of zones 1 and 3, as the cooling surface S_1 of the part diminishes due to the channel linking the part and feeder, as well as due to the vicinity of the feeders slowing down heat transmission through this surface. Table 2 shows for this casting variant the values of the cooling coefficients and of the solidification module of part, feeder and part-feeder channel. Figure 2 shows the denoting of the feeder

țelor maselelor este arătată în figura 2.



surfaces.

Figura 2. Varianta de turnare cu două masele laterale plasate la capetele piesei (varianta 1)

Figure 2. Casting variant with two lateral feeders positioned at the ends of the part (variant 1)

Analiza valorilor modulelor reale de solidificare din tabelul 2 arată că datorită plasării maselelor în dreptul zonelor 1 și 3, modulul de solidificare al acestor zone s-a mărit la valoarea 10,95 mm și este mai mare decât modulul de solidificare real al zonei de mijloc (zona 2).

The analysis of the values of the real solidification module listed in table 2 shows that the positioning of the feeders in zones 1 and 3 has caused an increase of the solidification modulus of these zones to 10.95 mm, thus being higher than that of the central area (zone 2).

Tabelul 2. Modulul de solidificare real al piesei și maselelor în cazul utilizării a două masele laterale la capetele piesei (varianta 1).

Table 2. The real solidification modulus for part and feeders in the case of casting with two lateral feeders positioned at the ends of the part (variant 1).

Zona / simbolul modulului Zone / modulus symbol	Modulul de solidificare real / The real solidification module		
	Relația de calcul / Equation	Coefficienți de răcire Cooling coefficients	Valoare / Value
z / Mr_i		k_i	Mr [mm]
1 or 3 / Mr_1 or Mr_3	$V_1 / \sum_{k=1}^{k=7} k_i S_i$	$k_1 = 0.3$ $k_2 \div k_5 = 1$ $k_6 = k_7 = 0.5$	10.95
2 / Mr_2	$V_2 / \sum_{k=8}^{k=13} k_i S_i$	$k_8 = 0.95; k_9 = 0.90$ $k_{10} = k_{11} = 1$ $k_{12} = k_{13} = 0.5$	10.02
Canal maselelor-piesă Feeder-part channel Mr_4 (or Mr_{canal})	$V_4 / \sum_{k=14}^{k=17} k_i S_i$	$k_{14} \div k_{17} = 0.3$	25.00
Masele / Feeder Mr_5 (or Mr_m)	$V_5 / \sum_{k=18}^{k=23} k_i S_i$	$k_{18} \div k_{20} = 1$ $k_{22} \div k_{23} = 1$ $k_{21} = 0.75$	13.14

Calculul volumelor și suprafețelor care s-au modificat față de tabelul 1

Calculation of volumes and surfaces modified in relation to table 1:

Volumul canalului / Channel volume = $V_4 = 30 \cdot 30 \cdot 30 = 27000 \text{ mm}^3$,

Volumul maselelor / Feeder volume = $V_5 = 65 \cdot 65 \cdot 100 = 422500 \text{ mm}^3$

$S_1 = 44 \cdot 52 - 30 \cdot 30 = 1388 \text{ mm}^2$; $S_{14} = S_{15} = S_{16} = S_{17} = 30 \cdot 30 = 900 \text{ mm}^2$; $S_{20} = S_{22} = S_{23} = 65 \cdot 100 = 6500 \text{ mm}^2$;

$S_{21} = 65 \cdot 100 - 30 \cdot 30 = 5600 \text{ mm}^2$; $S_{18} = S_{19} = 65 \cdot 65 = 4225 \text{ mm}^2$

Se observă că modulele de solidificare reale sunt în relația:

It can be noticed that the relationship of the solidification module is the following:

$$Mr_2 \leq Mr_1 \leq Mr_{canal} \geq Mr_m. \quad (3)$$

Ca urmare în acest caz solidificarea aliajului lichid este ușor dirijată de la centrul piesei spre masele. Aceasta este favorabil pentru eliminarea retasurilor din piesă. Canalul de legătură maselelor-piesă are modulul de solidificare real cel mai mare. Acest lucru este favorabil de asemenea, deoarece permite alimen-

Consequently in this case solidification of the liquid alloy is easily directed from the centre of the part towards the feeders, thus favouring shrinkhole elimination from the part. The feeder-part linking channel has the highest real solidification modulus. This too is favourable, as it allows part feeding

tarea piesei din maselotă până solidificarea completă a piesei. Se observă de asemenea că se respectă condiția recomandată de lucrările de specialitate privind raportul dintre modulul real de solidificare al maselotei (Mr_m) și modulul de solidificare real al nodului termic alimentat (Mr_1).

$$Mr_m = 13.14 \geq 1.2 \cdot Mr_1 = 1.2 \cdot 10.95 = 13.14 \text{ mm.} \quad (4)$$

Această analiză a solidificării arată că o astfel de soluție tehnologică asigură obținerea unei piese sănătoase, fără retasuri. În cazul dimensiunilor adoptate pentru maselote această condiție este îndeplinită la limită ($Mr_m = 13,14 = 1,2 \cdot Mr_1$). Pentru a se mări siguranța prevenirii retasurilor din piesă s-ar impune mărirea dimensiunilor maselotelor. Această soluție ar conduce la un consum mai mare de aliaj lichid la turnare.

În figura 3 este arătată varianta de turnare a piesei cu o singură maselotă plasată în zona de mijloc a piesei, care este mai subțire din punct de vedere geometric. În acest caz se utilizează o maselotă laterală cu diametru 75 mm și cu înălțimea 105 mm. Înălțimea și diametrul maselotei s-au mărit pentru a se asigura cantitatea de metal lichid necesar alimentării piesei în timpul solidificării. Plasarea maselotei la mijlocul piesei determină modificarea condițiilor de răcire în zona 2. Se modifică suprafața de răcire S_{10} și intensitatea răcirii prin această suprafață. Ca urmare se modifică modulul de solidificare real al acestei zone. Valorile modulului de solidificare real al piesei, al maselotei și al canalului de legătură piesă – maselotă pentru această variantă de turnare sunt date în tabelul 3.

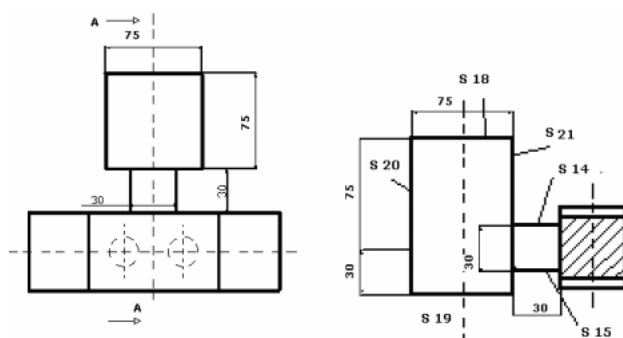


Figura 3. Piesa turnată cu o maselota laterală (varianta 2)

Figure 3. Casting variant with a single lateral feeder (variant 2)

Se observă că în acest caz solidificarea piesei este dirijată în sens invers, adică de la capetele piesei spre traversă și spre maselotă existând relația:

$$Mr_1 \leq Mr_2 \leq Mr_{canal} \geq Mr_m. \quad (5)$$

Această dirijare a solidificării asigură condiții mai favorabile pentru obținerea unei piese sănătoase, fără retasură. Dirijarea solidificării spre maselotă este mai accentuată decât în varianta 1. Condiția privind

through the feeder until complete solidification. It can also be noticed that the condition recommended in literature concerning the ratio of feeder to fed hot spot real solidification module (Mr_m/Mr_1) is met.

This analysis of solidification shows that such a technological solution ensures the achievement of a healthy, shrinkage-free part. In the case of the dimensions adopted for the feeders, this condition is met at its limit ($Mr_m = 13.14 = 1.2 \cdot Mr_1$). An increase of feeder dimensions appears to be necessary in order to increase the reliability of shrinkhole prevention. This solution would, however, cause higher liquid alloy consumption in casting.

Figure 3 shows the casting variant of the part with a single feeder located in its central, geometrically thinner area. In this case a lateral feeder is used of 75 mm diameter and 105 mm height. Feeder height and diameter were increased in order to ensure the quantity of liquid metal necessary to be fed during solidification. Positioning the shrinkhole in the middle of the part causes modifications in the cooling conditions of zone 2. Cooling surface S_{10} as well as cooling intensity through this surface is changed. Consequently the real solidification modulus of this zone is modified too. Table 3 shows the values of the real solidification modulus of the part, the feeder and the feeder-part linking channel.

It can be noticed that in this case part solidification is directed in the reverse sense, namely from the part ends towards the traverse and the feeder, the following relationship being met:

This directing of solidification ensures more favourable conditions for achieving a healthy, shrinkhole-free part. Directing solidification towards the feeder is more intense than in variant 1.

raportul dintre modulul de solidificare al maseleii și al traversei este asigurată mult mai bine:

The condition of the ratio of feeder to traverse solidification module is achieved at improved level:

$$Mr_m = 14.60 \geq 1.2 \cdot Mr_2 = 1.2 \cdot 11.72 = 14.06 \text{ mm.} \quad (6)$$

Tabelul 3. Modulul de solidificare real al piesei și al maseleii în cazul unei singure maseleii în zona 2 a piesei (varianta 2)
Table 3. The real solidification module for part and feeder in the case of using a single feeder in zone 2 of the part (variant 2)

Zona / simbolul modulului Zone / modulus symbol	Modulul de solidificare real / The real solidification module		
	Relația de calcul / Equation	Coefficienți de răcire Cooling coefficients	Valoare / Value
z / Mr_i		k_i	Mr [mm]
1 or 3 / Mr_1 or Mr_3	$V_1 / \sum_{k=1}^{k=7} k_i S_i$	$k_1 \div k_5 = 1$ $k_6 = k_7 = 0.5$	8.94
2 / Mr_2	$V_2 / \sum_{k=8}^{k=13} k_i S_i$	$k_8 = k_9 = 0.9$; $k_{10} = 0.6$ $k_{11} = 1$ $k_{12} = k_{13} = 0.5$	11.72
Canal maseleii-piesă Feeder-part channel Mr_4 (or Mr_{canal})	$V_4 / \sum_{k=14}^{k=17} k_i S_i$	$k_{14} \div k_{17} = 0.3$	25.00
Maseleii / Feeder Mr_5 (or Mr_m)	$V_5 / \sum_{k=18}^{k=23} k_i S_i$	$k_{18} \div k_{19} = 1$ $k_{20} \div k_{21} = 0.85$ $k_{22} = k_{23} = 1$	15.69

**Calculul volumelor și suprafețelor care s-au modificat față de tabelul 1:
Calculation of volumes and surfaces modified in relation to table 1:**

$$\begin{aligned} \text{Volumul maseleii / Feeder volume: } V_m &= V_5 = 75 \cdot 75 \cdot 105 = 590625 \text{ mm}^3 \\ S_{10} &= 40 \cdot 88 - 30 \cdot 30 = 2620 \text{ mm}^2; S_{20} = S_{22} = S_{23} = 75 \cdot 105 = 7875 \text{ mm}^2; \\ S_{21} &= 75 \cdot 105 - 30 \cdot 30 = 6975 \text{ mm}^2; S_{18} = S_{19} = 75 \cdot 75 = 5625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

În plus această ultimă soluție tehnologică are avantajul unui consum mai mic de aliaj lichid la turnare deoarece se utilizează o singură maseleii.

În figura 4 este arătată a treia variantă de maseleii care a fost analizată. În acest caz se utilizează o maseleii care alimentează două piese. Maseleii alimentează zona centrală a piesei ca în varianta 2.

In addition the latter technological solution has the advantage of a smaller consumption of liquid alloy during casting, due to the utilization of a single feeder.

Figure 4 shows the third analyzed variant of feeder design. This is the case of one feeder supplying two parts. The feeders supply the central area of the part, like in variant 2.

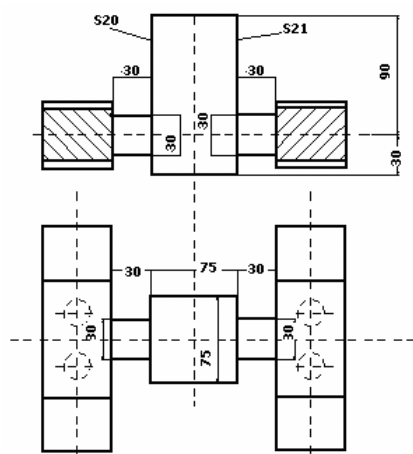


Figura 4. Varianta de turnare cu două piese alimentate dintr-o maseleii laterală (varianta 3)

Figure 4. Casting variant with a single lateral feeder for two parts (variant 3)

Maseleii are același diametru (grosime) 75 mm. Înălțimea maseleii s-a mărit însă la 120mm, pentru ca aceasta să poată asigura cantitatea de aliaj lichid necesară pentru a alimenta două piese. În acest caz modulul de solidificare real al maseleii se

Also, the feeder has the same diameter (thickness) 75 mm. Feeder height has been however increased to 120 mm, in order to ensure the quantity of liquid metal required for two parts. In this case the real solidification modulus of the feeder changes

schimbă față de cazul 2, deoarece maselota are două suprafețe calde (S_{20} și S_{21}). Valorile modulului de solidificare real sunt date în tabelul 4.

in comparison to variant 2, as the feeder has two hot surfaces (S_{20} and S_{21}). Table 4 shows the values of the real solidification module.

Tabelul 4. Modulul de solidificare real al piesei și al maselotei în cazul unei maselote care alimentează două piese (varianta 3)
Table 4. The real solidification module for part and feeder in the case of using a single feeder for two parts (variant 3)

Zona / simbolul modulului Zone / modulus symbol	Modulul de solidificare real / The real solidification module		
	Relația de calcul / Equation	Coefficienți de răcire Cooling coefficients	Valoare / Value
z/Mr_i		k_i	Mr [mm]
1 or 3 / Mr_1 or Mr_3	$V_1 / \sum_{k=1}^{k=7} k_i S_i$	$k_1 \div k_5 = 1$ $k_6 = k_7 = 0.5$	8.94
2 / Mr_2	$V_2 / \sum_{k=8}^{k=13} k_i S_i$	$k_8 = k_9 = 0.9$; $k_{10} = 0.6$ $k_{11} = 1$ $k_{12} = k_{13} = 0.5$	11.72
Canal maselotă-piesă Feeder-part channel Mr_4 (or Mr_{canal})	$V_4 / \sum_{k=14}^{k=17} k_i S_i$	$k_{14} \div k_{17} = 0.3$	25.00
Maselotă / Feeder Mr_5 (or Mr_m)	$V_5 / \sum_{k=18}^{k=23} k_i S_i$	$k_{18} \div k_{19} = 1$ $k_{20} \div k_{21} = 0.85$ $k_{22} = k_{23} = 1$	15.69
Calculul volumelor și suprafețelor care s-au schimbat față de tabelul 1: Calculation of volumes and surfaces modified in relation to table 1:			
Volumul maselotei / Feeder volume: $V_m = V_5 = 75 \cdot 75 \cdot 120 = 675000 \text{ mm}^3$			
$S_{10} = 40 \cdot 88 - 30 \cdot 30 = 2620 \text{ mm}^2$; $S_{22} = S_{23} = 75 \cdot 120 = 9000 \text{ mm}^2$;			
$S_{20} = S_{21} = 75 \cdot 120 - 30 \cdot 30 = 8100 \text{ mm}^2$; $S_{18} = S_{19} = 75 \cdot 75 = 5625 \text{ mm}^2$			

Relația între modulele de solidificare reale este:

The relationship of the real solidification module is:

$$Mr_m = 15.69 \leq 1.2 \cdot Mr_2 = 1.2 \cdot 11.72 = 14.06 \text{ mm.} \quad (7)$$

Se observă că în acest caz solidificarea este dirijată ca și în cazul 2, dinspre capetele piesei spre maselotă. Dirijarea solidificării este mult mai accentuată decât în variantele 1 și 2. Acest caz asigură condițiile cele mai bune pentru o solidificare compactă a pieselor.

It can be noticed that similarly to variant 2, in this case too solidification is directed from the ends of the part towards the feeder. Directing of solidification is significantly more intense than in variants 1 and 2. This case ensures the best conditions for a compact solidification of parts.

5. Rezultate privind analiza economică

La analiza economică a celor trei variante de turnare a pieselor s-a avut în vedere că maselotele reprezintă un consum suplimentar aliaj lichid la turnare. Pentru analiza economică s-au avut în vedere următorii indicatori:

- V_{mp} - volumul maselotelor aferent turnării unei piese;
- IU - randamentul de utilizare a aliajului lichid la turnare (indicele de utilizare a aliajului lichid);
- FS - indicele (factorul) de scoatere a pieselor la turnare;
- ΔV_{mp} - reducerea volumului de aliaj lichid necesar la turnarea unei piese în raport cu varianta care are cel mai mare consum de aliaj lichid (varianta 1).

5. Results concerning economic analysis

The economic analysis of the three variants of casting took into consideration that feeder use involves an additional consumption of liquid alloy in casting. The following indicators were used in economic analysis:

- V_{mp} - volume of feeders corresponding to the casting of one part;
- IU - utilization efficiency of liquid alloy in casting (liquid alloy utilization index);
- FS - part removal index (factor) in casting;
- ΔV_{mp} - Reduction of the volume of liquid alloy required during the casting of a part in comparison to the variant with the highest consumption of liquid alloy (variant 1).

Pentru calculul acestor indicatori s-au utilizat următoarele relații de calcul:

$$V_{mp} = \frac{n_m \cdot V_m}{n_p}; \quad IU = \frac{n_p \cdot V_p}{n_p \cdot V_p + n_m \cdot V_m} \cdot 100; \quad (8); (10)$$

$$FS = \frac{1}{\left(\frac{(n_p \cdot V_p + n_m \cdot V_m)}{n_p \cdot V_p} \right)}; \quad \Delta V_{mp_i} = \frac{V_{mp_i} - V_{mp_1}}{V_{mp_1}} \cdot 100, \quad (11); (12)$$

unde V_m reprezintă volumul maselotei, n_m – numărul maselotelor din formă, n_p – numărul pieselor alimentate de maselote, V_p – volumul piesei, i – indicele variantei.

Rezultatele analizei economice privind consumul de aliaj lichid la turnare sunt date în tabelele 5 și 6. Acestea arată că varianta 3 care utilizează o maselotă pentru două piese, asigură și cel mai redus consum de aliaj lichid. Tabelul 5 arată că volumul de maselotă raportat la o piesă se reduce de la 845 cm³ în varianta 1 la 309,37 cm³ în varianta 3. Randamentul utilizării aliajului lichid la turnare crește la 41% în varianta 3, față de 22 % în varianta 1 (tabelul 6). Aceasta reprezintă o creștere a randamentului utilizării aliajului lichid la turnare de 1,75 ori.

The following equations were used for computing these indicators:

where V_m represents feeder volume, n_m – the number of feeders in the mould, n_p – the number of parts fed by the feeders, V_p – part volume, i – index of the variant.

The results of the economic analysis concerning liquid alloy consumption in casting are given in tables 5 and 6. It is evident that variant 3, involving a feeder supplying two parts, ensures the smallest liquid alloy consumption in casting. Table 5 shows that in variant 3 the feeder volume related to one part is reduced to 309.37 cm³ in comparison to 845 cm³ in variant 1. The efficiency of liquid alloy utilization in casting increases to 41% in variant 3, in comparison to only 22 % in variant 1 (table 6). This represents a 1.75 times increase of the efficiency of liquid alloy utilization in casting.

Tabelul 5. Volumul maselotei aferent turnării unei piese
Table 5. Feeder volume corresponding to the casting of one part

Nr. crt. No.	Varianta de Turnare Casting variant	Nr de maselote No of feeders in mould	Volumul unei maselote Volume of one feeder	Volumul total al maselotelor în formă Total volume of feeders in mould	Nr de piese alimentate de o maselotă No. of parts fed by one feeder	Volumul Maselotei/ piesă Feeder volume / part
-	-	$n_m = n_5$	$V_m = V_5$	$V_{Tm} = V_{T5}$	-	V_{mp}
-	-	-	cm ³	cm ³	-	cm ³
1	Variant 1	2	422.50	845.00	1	845.00
2	Variant 2	1	618.75	618.75	1	618.75
3	Variant 3	1	675.00	675.00	2	309.375

Tabelul 6. Rezultate privind consumul de aliaj lichid la turnare
Table 6. Results concerning the consumption of liquid alloy in casting

Nr. crt. / No.	Varianta de turnare Feeder volume:	Volumul unei piese Volume of one part	Volumul total al pieselor în formă Total volume of parts in mould	Volumul total al aliajului în formă Total volume of alloy in mould	Indice de utilizare al metalului lichid Utilization index of liquid alloy	Indice de scoatere a pieselor la turnare Part removal index in casting	Reducerea volumului de aliaj lichid / piesă, față de varianta 1 Reduction of liquid alloy volume/part
-	-	V_p	V_{Tp}	V_L	IU	FS	ΔV_{mp}
-	-	cm ³	cm ³	cm ³	%	-	%
1	Variant 1	330.4	330.4	1175.4	28,1	1/3.56	0
2	Variant 2	330.4	330.4	949.1	34,8	1/2.87	26.8
3	Variant 3	330.4	660.8	1335.8	49,5	1/2.02	63.4

6. Concluzii

Rezultatele pun în evidență că aplicarea corectă a metodei modulului real de solidificare pentru analiza solidificării pieselor turnate permite să se efectueze o optimizare a proiectării sistemelor de maselotare. Alegerea soluției celei mai avantajoase din punct de vedere al calității piesei, cât și din punct de vedere economic, trebuie să se bazeze pe analiza mai multor variante. Trebuie studiate chiar și variante care la o analiză sumară par să nu fi viabile. Exemplul prezentat pune în evidență că utilizarea unor maselote care alimentează simultan mai multe piese reprezintă o soluție avantajoasă atât din punct de vedere al calității solidificării pieselor cât și din punct de vedere al consumului de aliaj lichid.

6. Conclusions

The results highlight that correct application of the method of the real solidification modulus in the analysis of cast part solidification allows an optimized design of the feeder systems. In order to select the most advantageous solution from the viewpoints of part quality and economic efficiency, analysis needs to be based on several variants. Even variants that at first glance appear as not feasible need to be analyzed. The presented example highlights that the utilization of feeders supplying several parts simultaneously represents a beneficial solution from the viewpoint of part solidification quality, as well as from that of liquid alloy consumption.

References

1. Sofroni, L., Brabie, V., Bratu, C.: *Theoretical basis of casting (Bazele teoretice ale turnării)*. “Didactică și Pedagogică” Publishing House, Bucharest, Romania, 1980 (in Romanian)
2. Soporan, V., Constantinescu, V.: *Solidification modelling at macrostructural level (Modelarea solidificării la nivel macrostructural)*. “Dacia” Publishing House, Cluj-Napoca, Romania, 1995, ISBN 973-35-0526-9 (in Romanian)
3. Soporan, V., Constantinescu, V., Crișan, M.: *Alloys solidification (Solidificarea aliajelor)*. “Transilvania Press” Publishing House, Cluj-Napoca, Romania, 1995, ISBN 973-9704-1-5 (in Romanian)
4. Munteanu, S.I., Ciobanu, I., Crișan, A.: *The use of the real solidification module as an indicator for castings macro-solidification analysis*. **RECENT**, nr. 1(13), March 2005, p. 43-49, ISSN 1582-0246, Brasov, Romania
5. Ciobanu, I., Munteanu, S.I., Crișan, A.: *Aspects Concerning the Real Solidification Conditions of Cast Parts (Aspecte privind condițiile reale de solidificare a pieselor turnate)*. Revista de turnătorie, nr. 11-12, 2005, p. 11-16, ISSN 1224-21-44, Bucharest, Romania (in Romanian)
6. Ciobanu, I., Munteanu, S.I., Crișan, A.: *The influence of the mould walls temperature on the real solidification module of castings (Influența temperaturii pereților formei de turnare asupra modulului de solidificare real al pieselor turnate)*. Metalurgia, nr. 12, 2005, p. 12-23, ISSN 0461/9579, Bucharest, Romania (in Romanian)
7. Holly, A.: *Mathematical Models of Analysis, Only Way to Emancipation Design Technologies in Foundry – part II (Modelele matematice de analiză, singura cale de emancipare a proiectării tehnologiilor în turnătorie – partea a II-a)*. Revista de turnătorie, nr. 9-10, 2008, p. 11-14, ISSN 1224-21-44, Bucharest, Romania (in Romanian)
8. Holly, A.: *Mathematical Models of Analysis, Only Way to Emancipation Design Technologies in Foundry – part I (Modelele matematice de analiză, singura cale de emancipare a proiectării tehnologiilor în turnătorie – partea a I-a)*. Revista de turnătorie, nr. 5-6, 2008, p. 3-5, ISSN 1224-21-44, Bucharest, Romania (in Romanian)
9. Ciobanu, I., Munteanu, S.I., Crișan, A.: *A New Concept in Foundry. The Real Solidification Module for Castings (Un nou concept în turnătorie: modulul de solidificare real al pieselor turnate)*. Revista de turnătorie, nr. 1-2, 2005, p. 27-33, ISSN 1224-21-44, Bucharest, Romania (in Romanian)

Lucrare primită în Februarie 2009

Received in February 2009