

ON TOP RISER WORKING

ASPECTE PRIVIND FUNȚIONAREA MASELOTELOR DIRECTE

Ioan CIOBANU, Sorin Ion MUNTEANU, Tibor BEDÖ, Florin MUSTEAȚĂ

Transilvania University of Brasov, Romania

Abstract. In the case of castings that have a hotspot at the, top riser are normally used in industrial practice. It is envisaged that the hotspot is very close to the riser. It is considered that the liquid alloy flows more easily from riser in the casting. The paper shows that this view is wrong. Is analyzed by computer simulation, the part solidification with top riser and with lateral riser. The results show that for the same riser size, the top riser assure not shrinkage elimination inside the casting, while in the case of lateral is obtained the casting without shrinkage.

Key words: riser, feeder, casting, solidification simulation

1. Introduction

Casting experience shows that a hot spot is formed in the upper part of a piece. A direct riser is used to eliminate any shrinkage. The method used to eliminate shrinkage is to put the riser close to hot spot area. Experience shows that using a direct riser results in a higher percentage of defected pieces. Often shrinkage from the riser extends to the casting due to a lower yield value of the vertical direction in the area placed under the riser. Increasing riser dimensions will not lead to the removal of shrinkage from casting.

2. Development scope and work mode

The objective is to outline the disadvantage of using the direct riser by comparing the differences between the direct riser and lateral riser. A working riser is analyzed by simulating solidification on the computer. Are used SIM-3D software, produced at the Transilvania University of Brasov [9, 10]. Is studied the solidification of a piece "suport consola" (corbel support), showed in Figure 1. The piece is casted from ductile grey cast iron. To determine the position of the hot spot in casting, to view the position of the riser we simulated at the beginning of casting without riser. The ensemble mold-casting and its dimension studied for solidification and are showed in Figure 2. Table 1 shows geometric and physical characteristics values used in simulation.

Rezumat. În cazul pieselor turnate care au noduri termice la partea superioară, în practica industrială se utilizează de obicei maselele directe. Se are în vedere că nodul termic este poziționat sub maselele și aproape de aceasta. Se consideră că aliajul lichid curge mai ușor din maselele în piesa turnată. În lucrare se arată că această concepție este greșită. Este analizată prin simulare pe calculator solidificarea unei piese turnate cu maselele directă și cu maselele laterale. Rezultatele arată că la aceleași dimensiuni maselele directă nu asigură eliminarea retasurii din piesa turnată, în timp ce în cazul maselele laterale se obține o piesă fără retasură.

Cuvinte cheie: maselele, piesă turnată, simularea solidificării

1. Introducere

În practica turnării, când piesele turnate au noduri termice la partea superioară se utilizează maselele directe. Se are în vedere că nodul termic este situat sub maselele și foarte aproape de aceasta. Se consideră că aliajul lichid curge ușor din maselele în piesa turnată. Practica arată însă că în cazul acestor maselele procentul pieselor cu defecte este mai mare. Cel mai des, retasura din maselele se prelungește în piesa turnată. Cauza este gradientul de temperatură foarte mic pe direcție verticală, în zona plasată sub maselele. Mărirea dimensiunilor maselele nu conduce la eliminarea retasurii din piesa turnată.

2. Scopul lucrării și mod de lucru

Lucrarea de față urmărește să pună în evidență acest dezavantaj al maselele directe. În acest scop se face o analiză comparativă între funcționarea unei maselele directe și a unei maselele laterale. Funcționarea maselele s-a analizat prin simularea solidificării pe calculator. S-a utilizat softul SIM-3D realizat la Universitatea Transilvania din Brașov [9, 10]. S-a studiat solidificarea piesei, arătată în Figura 1. Piesa este turnată din fontă cenușie eutectică. Pentru a determina poziția nodului termic din piesa turnată în vederea poziționării maselele, s-a simulat mai întâi solidificarea piesei fără maselele. Ansamblul formă - piesă turnată fără maselele este arătat în Figura 2. În Tabelul 1 sunt date valorile caracteristicilor geometrice și fizice utilizate la simulare.

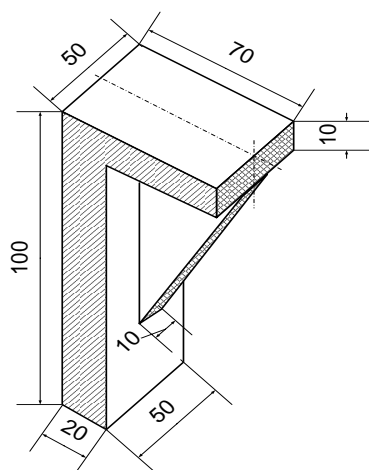


Figure 1. Casting "corbel support"
 Figura 1. Piesa turnată "suport consolă"

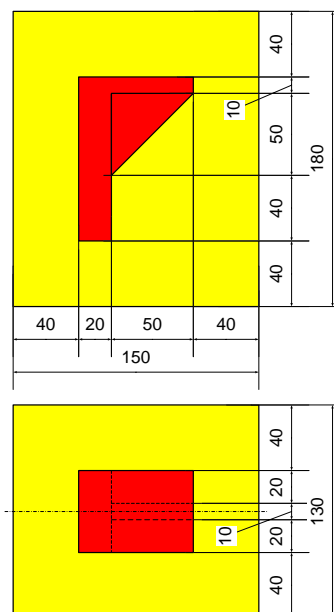


Figure 2. Ensemble "casting – mold" studied with simulation
 Figura 2. Ansamblul "piesă turnată – formă" studiat prin simulare

Table 1. The physical and geometrical characteristics for simulation
 Tabelul 1. Caracteristicile geometrice si fizice utilizate la simulare

	The characteristic / Denumirea mărimii	Symbol	Measure unit	Value
1	The step of mould mesh Pasul rețelei de divizare a formei	Δ	m	0.005
2	The time step Diviziunea de timp	τ	s	0.5
3	Temperature of the environment Temperatura mediului exterior	T_{ex}	$^{\circ}C$	20
4	The heat transfer coefficient between mould and environment Coeficient de schimb termic cu mediul exterior	α_{ex}	$W/m^2/K$	20
5	The solidification temperature of the liquid alloy Temperatura solidus a aliajului lichid	T_{sme}	$^{\circ}C$	1150
6	Thermal conductivity coefficient of the mould Coeficientul de conductivitate termică a formei	λ_{sfo}	$W/m/K$	0.8
7	Thermal conductivity coefficient of the solid alloy Coeficientul de conductivitate termică a aliajului solid	λ_{sme}	$W/m/K$	40
8	Thermal conductivity coefficient of the liquid alloy Coeficientul de conductivitate termică a aliajului lichid	λ_{lme}	$W/m/K$	30
9	The specific heat of the mould Căldura specifică a formei	C_{sfo}	$J/kg/K$	1170
10	The specific heat of the liquid alloy Căldura specifică a aliajului lichid	C_{lme}	$J/kg/K$	850
11	The specific heat of the solid alloy Căldura specifică a aliajului solidificat	C_{sme}	$J/kg/K$	750
12	The density of mould Densitatea formei	ρ_{fo}	kg/m^3	1550
13	The density of liquid alloy Densitatea aliajului lichid	ρ_{me}	kg/m^3	6,700
14	The latent heat of cast alloy solidification Căldura latentă de solidificare a aliajului turnat	L_{me}	J/kg	220,000
15	The initial temperature of the mould Temperatura inițială a formei	T_{0fo}	$^{\circ}C$	20
16	The initial temperature of the liquid alloy Temperatura inițială a aliajului lichid	T_{0me}	$^{\circ}C$	1350

3. Simulation of casting solidification without riser

In Figures 3÷6 shows graphic results obtained with simulation using the method of casting solidification without riser. Figure 3 shows the movement map of solidification front, showing that the real hot spot from casting is located in the vertical wall in the symmetry plan of the piece at 37.5 mm of the upper surface and 12.5 mm from the vertical area on left side of the piece. The solidification time of the hot spot is $t_{sol} = 162$ s.

Figure 4 shows the temperature distribution (isothermal map) at the time of solidification ($t_{sol} = 162$ s). It is noted that the difference between the movement map of solidification front and isothermal map. This explains that once solidification started there is a redistribution of temperatures in the solidified alloy. This redistribution of temperatures is caused by the transmission of heat through thermal conductivity in the solidified layers.

Figure 5 shows the distribution of temperatures in ensemble casting-mold, on the hot spot column. Figure 6 shows redistribution of temperatures on the hot spot line at an exact time ($t_{sol} = 162$ s). Figures 5 and 6 shows the maximum curves that correspond with the hot spot, showing the gradient temperatures in the cast alloy in the hot spot area at the time (end of solidification casting). The temperatures gradient in hot spot area has a high value of 6.77 °C/mm in vertical direction in upper part of the hot spot and 7.52 °C/mm on the horizontal direction on the right of hot spot. This temperature gradient allows for macroshrinkage to form, thus the total volume of piece is $V_t = 138.75$ cm³. Considering a total solidification contraction of 3 % (for ductile gray cast iron) and in the absence of supply with liquid alloy from gating system or riser in the hot spot area would get a shrinkage with a volume of $V_r = 4.6125$ cm³.

To remove the shrinkage from the casting a riser is placed at the hot spot area maintaining the piece configuration and the hot spot position. There are two methods of utilizing the riser:

- direct riser placed over hot spot (v1),
- lateral riser placed on lateral vertical wall in hot spot area (v2).

3. Simularea solidificării piesei turnate fără maselotă

În Figurile 3÷6 sunt reprezentate grafic rezultatele obținute prin simulare în cazul solidificării piesei fără maselotă. În Figura 3 este arătată harta deplasării frontului de solidificare în planul de simetrie al piesei. Aceasta arată că nodul termic real din piesă este situat în peretele vertical, în planul de simetrie al piesei, la 37,5 mm de suprafața superioară și la 12,5mm de suprafața verticală din stânga a piesei. Timpul de solidificare a nodului termic este $t_{sol} = 162$ s.

În Figura 4 este arătată distribuția temperaturilor (harta izotermelor) la momentul solidificării piesei (la momentul $t_{sol} = 162$ s). Se observă că harta izotermelor la momentul sfârșitului solidificării este diferită de harta deplasării frontului de solidificare. Aceasta se explică prin faptul că după începutul solidificării are loc o redistribuire a temperaturii în aliajul solidificat. Redistribuirea temperaturii este cauzată de transmiterea căldurii prin conductibilitate termică în straturile solidificate.

În Figura 5 este arătată distribuția temperaturii în ansamblul piesă turnată - formă, pe coloana nodului termic, iar în Figura 6 este arătată repartizarea temperaturii pe linia nodului termic la același moment ($t_{sol} = 162$ s). Maximul curbelor din Figurile 5 și 6, corespunde cu nodul termic. Aceste curbe pun în evidență gradientul de temperatură în aliajul turnat în zona nodului termic la momentul respectiv (sfârșitului solidificării piesei turnate). Gradientul de temperatură în zona nodului termic are o valoare ridicată ($6,77$ °C/mm în direcție verticală deasupra nodului termic și $7,52$ °C/mm în direcție orizontală la dreapta nodului termic). Aceste valori ale gradientului de temperatură determină condiții ca retasura să aibă aspect de macroretasură. Volumul total al piesei este $V_t = 138,75$ cm³. Considerând o contracție totală la solidificare de 3 % (pentru fontă cenușie eutectică) și în absența alimentării cu aliaj lichid din rețeaua de turnare sau dintr-o maselotă, în zona nodului termic s-ar obține o retasură cu volumul $V_r = 4,6125$ cm³. În realitate volumul retasurii este mai mic datorită alimentării parțiale din rețeaua de turnare, pe parcursul solidificării.

Eliminarea retasurii din piesa turnată impune utilizarea unei maselote plasată în apropierea nodului termic, Având în vedere configurația piesei și poziționarea nodului termic, pot fi luate în considerare două variante de maselotare:

- maselotă directă plasată deasupra nodului termic,
- maselotă laterală plasată pe peretele vertical

Geometric solidification module of piece in hot spot area is $M_{sp} \approx 10$ mm, resulting that is necessary a riser with solidification module of at least $M_{sm} = 12.5$ mm [3, 4, 12]. This correspond to a riser with diameter $D_m = 50$ mm.

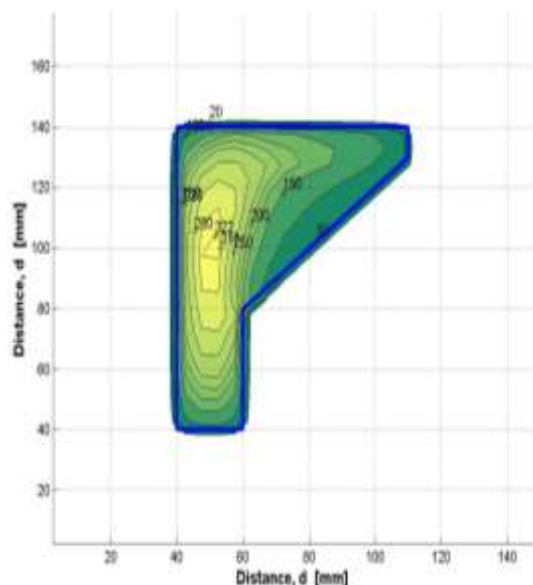


Figure 3. Map of the solidification front movement in the plane of symmetry of the piece (piece without riser)
 Figura 3. Harta deplasării frontului de solidificare în planul de simetrie al piesei (piesă fără maselotă)

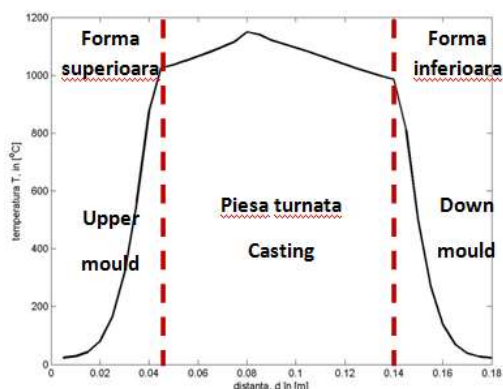


Figure 5. Vertical distribution of temperature on the hot spot where there is no riser solidification when $t_{sol} = 162$ s (hot spot solidification)
 Figura 5. Repartiția temperaturii pe verticala nodului termic în cazul solidificării piesei fără maselotă la momentul $t_{sol} = 162$ s (solidificarea nodului termic)

4. The study of solidification using direct riser

First is studied the possibility to remove the hot spot from casting using a direct riser applied on the vertical wall of a piece in the upper part of the hot

lateral în zona nodului termic.

Modulul de solidificare geometric al piesei turnate în zona nodului termic (peretele vertical cu grosimea 20 mm) este $M_{sp} \approx 10$ mm. Rezultă că este necesară o maselotă cu un modul de solidificare de cel puțin $M_{sm} = 12,5$ mm [3, 4, 12]. Aceasta corespunde unei maselote cu diametrul $D_m = 50$ mm.

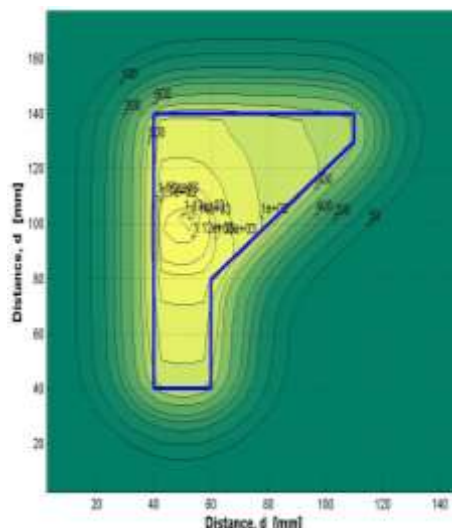


Figure 4. Isotherms map in the plane of symmetry of the piece at solidification hot spot moment $t_{sol} = 162$ s (piece without riser)
 Figura 4. Harta izotermelor în planul de simetrie al piesei la momentul solidificării nodului termic $t_{sol} = 162$ s (piesă fără maselotă)

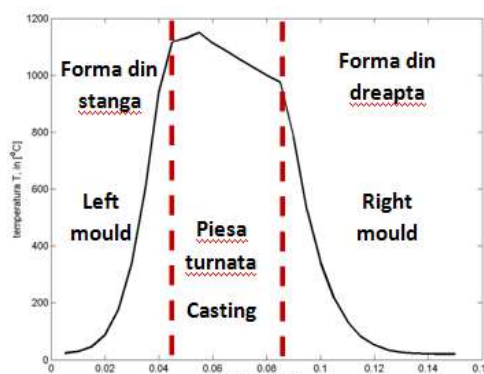


Figure 6. Temperature repartition on horizontal line from hot spot in case solidification piece without riser at moment $t_{sol} = 162$ s (solidification hot spot)
 Figura 6. Repartiția temperaturii pe linia orizontală prin nodul termic în cazul solidificării piesei fără maselotă la momentul $t_{sol} = 162$ s (solidificarea nodului termic)

4. Simularea solidificării piesei cu maselotă directă

Într-o primă etapă s-a studiat posibilitatea eliminării nodului termic din piesa turnată cu ajutorul unei maselote directe, aplicată pe peretele

spot. A cylindrical riser with dimensions $Dm \times Hm = 50 \times 80$ mm (Dm - diameter and Hm - height) was used. Solidification module of the riser section is $Msm = 12.5$ mm. Junction piece - riser is realized with a channel with section 20×20 mm. Figure 7 shows the ensemble casting-riser-mold studied with simulation solidification.

Figure 8 shows the map of solidification movement front in system casting-direct riser in addition it shows that two hot spot are formed in the casting riser system. A principal hot spot is placed in the riser and a secondary hot spot is placed in casting. The principal hot spot is placed in the riser in the symmetry plane of the system at 45 mm of the upper surface of the riser and at 2.5 mm of riser axes (12.5 mm of vertical surface from left piece). The principal hot spot is placed on same vertical as in the case of casting without riser. Alloy from the riser (principal hot spot) is solidified at a time of $t_{sol_m} = 277.5$ s. The secondary hot spot from casting is caused when contact between riser-casting (supply casting with liquid alloy from riser) is interrupted at the time of $t_{al} = 149$ s, long before solidification is completed. The secondary hot spot from of the piece is solidified at a time $t_{sol_p} = 169$ s.

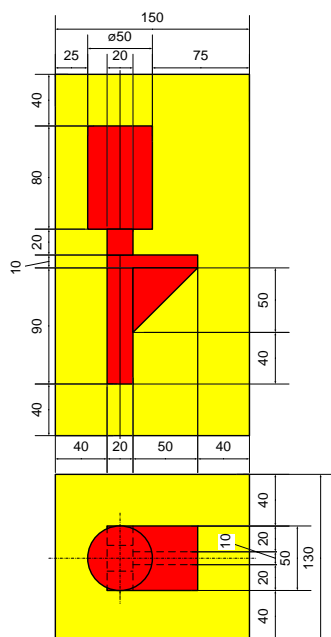


Figure 7. Ensemble "casting-direct riser-mold" studied by simulation

Figura 7. Ansamblul "piesă turnată - maselotă directă - formă de turnare" studiat prin simulare

vertical al piesei, deasupra nodului termic. S-a utilizat o maselotă cilindrică, cu dimensiunile $Dm \times Hm = 50 \times 80$ mm (Dm - diametrul și Hm - înălțimea). Modulul de solidificare geometrică a secțiunii maselotei este $Msm = 12,5$ mm. Joncțiunea piesă - maselotă se realizează printr-un canal cu secțiunea 20×20 mm. Ansamblul piesă turnată - maselotă - formă studiat prin simularea solidificării este arătat în Figura 7.

Figura 8 arată harta deplasării frontului de solidificare în sistemul piesă turnată - maselotă directă. Această figură arată că în sistemul piesă turnată - maselotă se formează două noduri termice. Un nod termic principal în maselotă și un nod termic secundar în piesa turnată. Nodul termic principal este plasat în maselotă în planul de simetrie al sistemului, la 45 mm de suprafața superioară a maselotei, la 2,5 mm de axa maselotei (respectiv la 12,5 mm de suprafața verticală din stânga a piesei). Nodul termic principal este plasat practic pe aceeași verticală ca și în cazul piesei turnate fără maselotă. Aliajul din maselotă (nodul termic principal) se solidifică la momentul $t_{sol_m} = 277,5$ s. Nodul termic secundar din piesa turnată este cauzat de faptul că legătura maselotă - piesă turnată (respectiv alimentarea piesei cu aliaj lichid din maselotă) se întrerupe la momentul $t_{al} = 149$ s, mult înainte de solidificarea completă a piesei turnate. Nodul termic secundar din piesă se solidifică la momentul $t_{sol_p} = 169$ s.

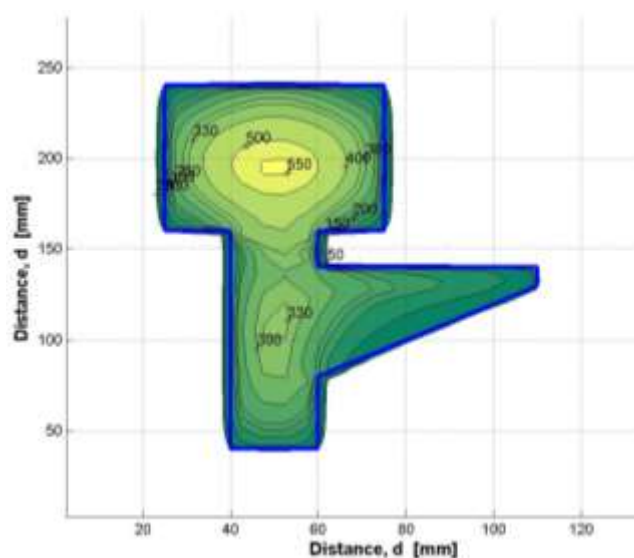


Figure 8. Map of the solidification front movement in the plane of symmetry of the piece

(piece with direct riser $Dm \times Hm = 50 \times 80$ mm)

Figura 8. Harta deplasării frontului de solidificare în planul de simetrie al piesei

(piesă cu maselotă directă $Dm \times Hm = 50 \times 80$ mm)

Figure 9 shows isothermal repartition in system casting-riser-mold at a time of $t_{al} = 149$ s (interruption contact between riser-casting). This map (isothermal at the time when supply is interrupted in the piece from riser) shows the liquid alloy that existed in the casting time to allow an estimate volume of the secondary shrinkage from the casting, thus the liquid alloy volume that is solidified in the secondary hot spot is $VLP = 3.86 \text{ cm}^3$. At a solidification concentration of 3 % results that the volume of a secondary shrinkage from piece is $VRET = 0.1158 \text{ cm}^3 = 115.8 \text{ mm}^3$. This corresponds with a spheric hole with a diameter 5.7 mm.

Figures 10 and 11 shows the repartition of temperatures on the vertical and horizontal plane of the secondary hot spot at the end of solidification of the casting ($t_{sol_p} = 169$ s). These figures shows that the temperature gradient from casting on that direction at a specific time. Figure 10 clearly the existence of a secondary hot spot in the casting and interruption of supply before solidification of the piece.

Figure 12 shows repartition temperatures on the vertical hot spot immediately after the supply from the riser is interrupted (at one second after the interrupt junction of riser-casting). These figures show that the temperature gradient on the vertical direction at the specific time is null. There is the possibility for a secondary axial shrinkage to form into the casting.

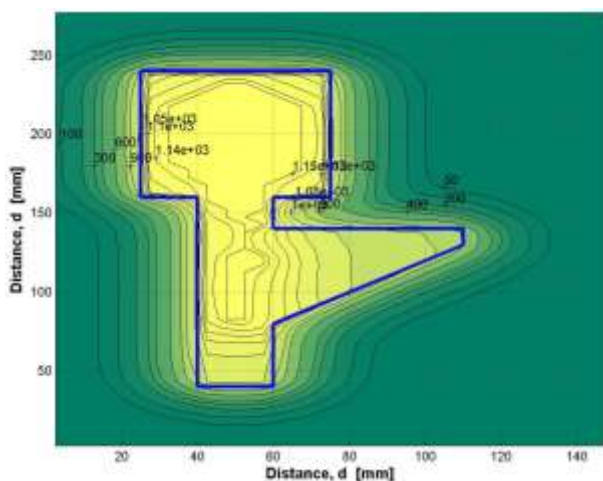


Figure 9. Isothermal map in the plane of symmetry of the piece at solidification at the time when supply is interrupted piece from riser at $t_{sol} = 162$ s (piece with direct riser $D_m \times H_m = 50 \times 80$ mm)

Figura 9. Harta izotermelor în planul de simetrie al piesei, la momentul întreruperii alimentării piesei din maselotă $t_{al} = 149$ s (piesă cu maselotă directă $D_m \times H_m = 50 \times 80$ mm)

În Figura 9 este arătată repartizarea izotermelor în sistemul piesă turnată - maselotă - formă la momentul $t_{al} = 149$ s (întreruperea legăturii maselotă - piesă turnată). Această hartă (izotermele la momentul întreruperii alimentării piesei din maselotă) arată volumul de aliaj lichid existent în piesa turnată la momentul respectiv și permite să se estimeze volumul retasurii secundare din piesa turnată. Astfel volumul aliajului lichid care se solidifică izolat în nodul termic secundar este $VLP = 3,86 \text{ cm}^3$. La un coeficient de contracție la solidificare a fontei de 3 % rezultă că volumul retasurii secundare din piesa turnată este $VRET = 0,1158 \text{ cm}^3 = 115,8 \text{ mm}^3$. Aceasta corespunde unui gol sferic cu diametrul 5,7 mm.

În Figurile 10 și 11 este reprezentată repartiția temperaturilor pe verticala și respectiv pe orizontala nodului termic secundar, la momentul solidificării complete a piesei turnate ($t_{sol_p} = 169$ s). Aceste figuri arată gradientul de temperatură din piesă pe direcțiile respective, la acest moment. Figura 10 pune în evidență, foarte clar, existența nodului termic secundar din piesă și întreruperea alimentării piesei din maselotă înainte de solidificarea piesei.

În Figura 12 este arătată repartiția temperaturii pe verticala nodurilor termice imediat după întreruperea alimentării piesei turnate din maselotă (la o secundă după întreruperii joncțiunii maselotă - piesă turnată). Această figură arată că gradientul de temperatură pe direcție verticală la acest moment este practic nul. Ca urmare există condiții ca în piesa turnată să se formeze o retasură secundară axială.

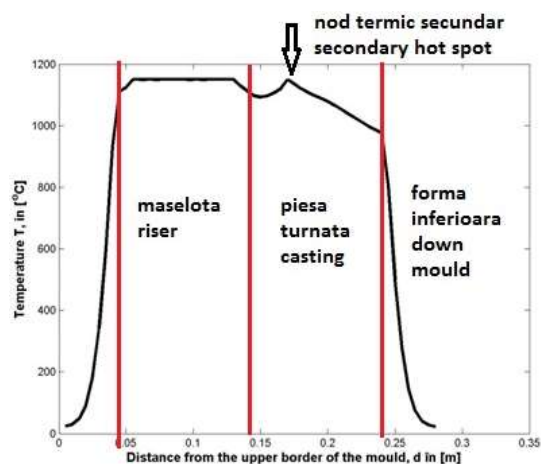


Figure 10. Vertical distribution of temperature on the hot spot in case solidified piece with direct riser at solidification time at $t_{sol_p} = 169$ s (solidification secondary hot spot from piece)

Figura 10. Repartiția temperaturii pe verticala nodurilor termice în cazul solidificării piesei cu maselotă directă la momentul solidificării piesei $t_{sol_p} = 169$ s (solidificarea nodului termic secundar din piesă)

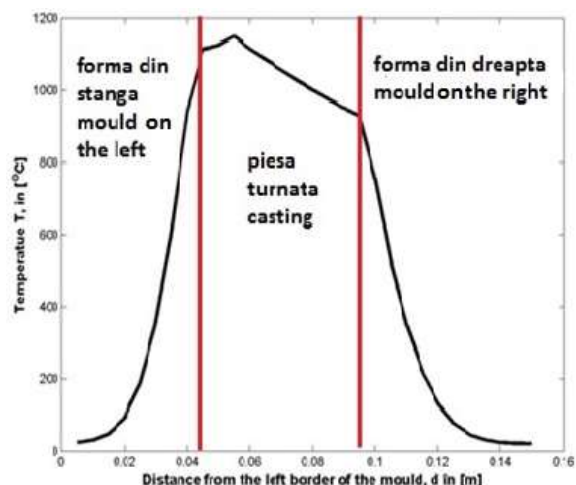


Figure 11. Temperature repartition at the time $t_{sol_p} = 169$ s (solidification secondary hot spot from casting) on the horizontal line from secondary hot spot in case of the solidification piece with direct riser

Figura 11. Repartiția temperaturii la momentul $t_{sol_p} = 169$ s (solidificarea nodului termic secundar din piesă) pe linia orizontală prin nodul termic secundar în cazul solidificării piesei cu maselotă directă

All figures show that the direct riser meets the recommended condition for solidification module ($M_m : M_p \geq 1.2 : 1$, where M_m - solidification riser module, M_p - solidification casting piece module). This process did not ensure removal shrinkage from the casting.

5. Simulation solidification piece with lateral riser

Second, are simulated the solidification casting with the lateral riser. A lateral riser was used with the dimension of $D_m \times H_m = 50 \times 90$ mm (D_m - diameter and H_m - height). The riser is applied on the lateral part of the vertical wall. The lateral riser has the same module of solidification like the direct riser ($M_{sm} = 12.5$ mm). In this case the height of the riser is $H_m = 90$ mm (with 10 mm larger than the first) to provide the pressure needed for liquid alloy to flow into the casting. The junction piece-riser is realized by a horizontal channel with a section of 20×20 mm. The channel has the same section as in the case of direct riser. Supply channel axes are placed at 20 mm under the upper surface level of the piece (at 17.5 mm above the hot spot heat appears as in the case of solidification of the piece without riser).

Figure 13 shows that the ensemble casting-lateral riser-mold studied with simulation solidification.

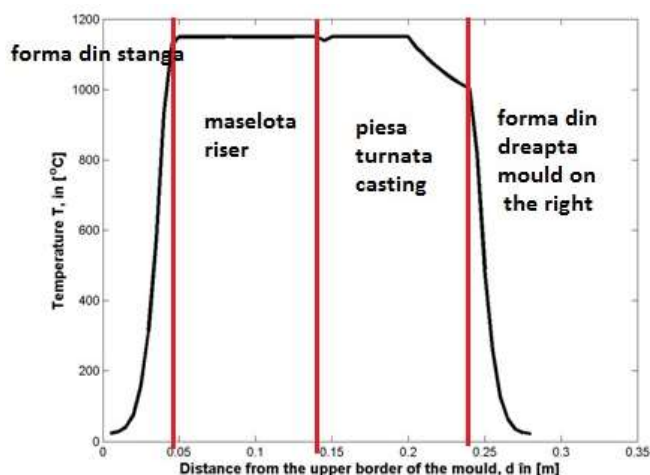


Figure 12. Temperature repartition on the vertical hot spot in the case of solidification piece with direct riser at the time $t = 150$ s (one second after supply is interrupted piece from riser)

Figura 12. Repartiția temperaturii pe verticala nodurilor termice în cazul solidificării piesei cu maselotă directă la momentul $t = 150$ s (o secundă după întreruperea alimentării piesei din maselotă)

Toate aceste figuri arată că deși maselota directă îndeplinește condiția recomandată pentru modulul de solidificare ($M_m : M_p \geq 1,2 : 1$, unde M_m - modulul de solidificare al maselotei, M_p - modulul de solidificare al piesei), aceasta nu asigură eliminarea retasurii din piesa turnată.

5. Simularea solidificării piesei cu maselotă laterală

În a doua fază a studiului s-a simulat solidificarea piesei turnate în cazul utilizării unei maselote laterale. S-a utilizat o maselotă cu dimensiunile $D_m \times H_m = 50 \times 90$ mm (D_m - diametru și H_m - înălțimea). Maselota s-a aplicat pe partea laterală a peretelui vertical al piesei. Maselota laterală are practic același modul de solidificare geometric, ca și maselota directă ($M_{sm} = 12,5$ mm). În acest caz înălțimea maselotei este $H_m = 90$ mm (cu 10 mm mai mare decât în cazul maselotei directe) pentru a se asigura presiune necesară curgerii aliajului lichid spre piesa turnată. Jonctiunea piesă - maselotă se realizează printr-un canal orizontal cu secțiunea 20×20 mm. Canalul are aceeași secțiune ca și în cazul maselotei directe. Axa canalului de alimentare este situată la 20 mm sub nivelul marginii superioare a piesei (la 17,5 mm deasupra nodului termic care apare în cazul solidificării piesei fără maselotă).

Ansamblul "piesă turnată - maselotă laterală - formă" studiat prin simularea solidificării este arătat în Figura 13.

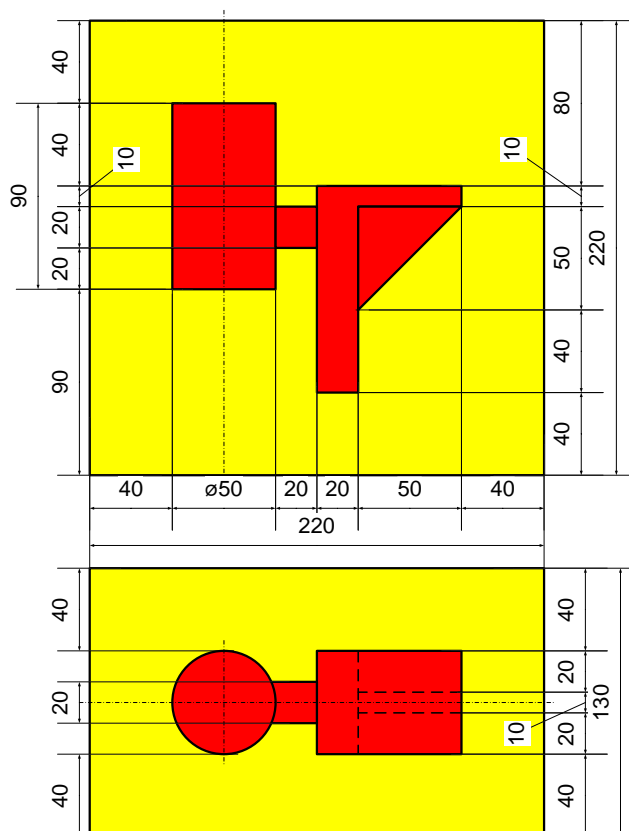


Figure 13. Ensemble casting-lateral riser-casting mold studied with simulation
 Figura 13. Ansamblul piesă turnată - maseletă laterală - formă de turnare studiat prin simulare

Figure 14 shows the movement map of the solidification front in the casting-riser system. In this case a single hot spot appears which is situated in the riser in the symmetry plane of the system close to the riser axes at (2.5 mm on the left vertical axes of the riser of the piece) just above the riser channel-piece axes at (12.5 mm above riser to channel). The time of solidification of the riser is $t_{sol_m} = 298$ s. Casting is solidified at the time of $t_{sol_p} = 186$ s and supplying time of piece from riser is $t_{al} = 190.5$ s. This data shows that supplying the piece with liquid alloy from the riser is possible at the time of solidification of the piece results that the solidification is headed in the direction riser- channel-casting. The solidification casting is completed at a point placed at the junction casting-channel, thus ensuring that the flow of liquid alloy from the riser into casting until the end of solidification. However there is a risk of an angular shrinkage to occur into the casting at a lower temperature gradient.

În Figura 14 este arătată harta deplasării frontului de solidificare în sistemul "piesă turnată - maseletă laterală". În acest caz, în aliajul turnat apare un singur nod termic. Acesta este plasat în maseletă, în planul de simetrie al sistemului, aproape de axa maseletei (la 2,5 mm spre stânga de axa verticală a maseletei spre piesă), puțin deasupra axei canalului maseletă - piesă (la 12,5 mm deasupra axei canalului). Timpul de solidificare a maseletei este în acest caz $t_{sol_m} = 298$ s. Timpul de solidificare a piesei este $t_{sol_p} = 186$ s, iar timpul de alimentare a piesei din maseletă (întreruperea comunicației maseletă - piesă) este $t_{al} = 190,5$ s. Aceste date arată că alimentarea piesei cu aliaj lichid din maseletă este posibilă pe toată durata solidificării piesei. Aceste rezultate arată că solidificarea aliajului este dirijată în sensul maseletă - canal - piesă turnată. Ca urmare sunt asigurate condițiile pentru eliminarea retasurii din piesa turnată. Solidificarea piesei turnate se termină într-un punct situat la joncțiunea piesă turnată - canal. Aceasta asigură curgerea aliajului lichid din maseletă spre piesa turnată până la sfârșitul solidificării piesei. Există totuși un risc ca din cauza gradientului mic de temperatură în punctul respectiv să apară o retasă de colț în piesa turnată.

Figure 15 shows isothermal repartition in system casting-riser at the interruption junction of lateral riser-casting. The indoor line from this map corresponds with the solidification temperature from casting alloy ($T_s = 1150\text{ }^\circ\text{C}$). These figures show that the solidification in this system is headed from piece to riser to ensure the flow of liquid alloy from the riser into casting at the solidification time.

Figura 15 surprinde repartizarea izotermelor în sistemul piesă turnată - maselotă la momentul întreruperii joncțiunii maselotă laterală - piesă turnată. Linia interioară din această hartă, corespunde temperaturii de solidificare a aliajului turnat ($T_s = 1150\text{ }^\circ\text{C}$). Această figură arată, de asemenea, că solidificarea în sistem este dirijată de la piesă spre maselotă. Este asigurată curgerea aliajului din maselotă spre piesa turnată pe tot parcursul solidificării piesei.

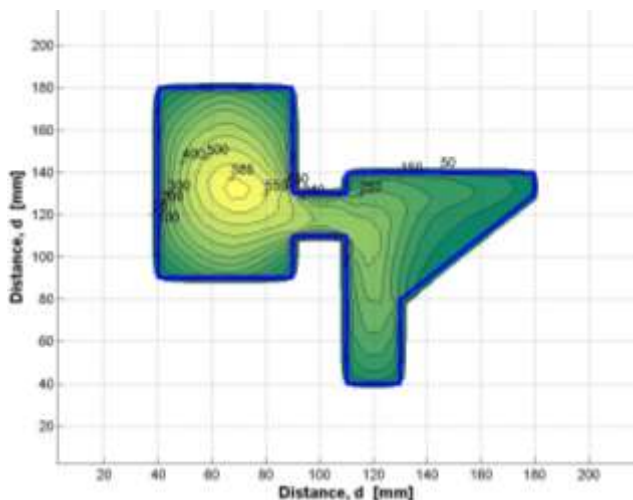


Figure 14. Movement map of solidification front in symmetry plane of piece

(piece with lateral riser $D_m \times H_m = 50 \times 90\text{ mm}$)

Figura 14. Harta deplasării frontului de solidificare în planul de simetrie al piesei

(piesă cu maselotă laterală $D_m \times H_m = 50 \times 90\text{ mm}$)

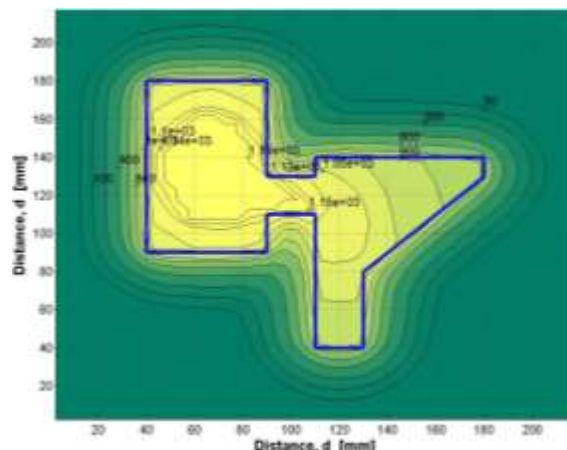


Figure 15. Isothermal map in symmetry plane of piece at moment $t_{al} = 190.5\text{ s}$ when supply is interrupted piece from riser (piece with lateral riser $D_m \times H_m = 50 \times 90\text{ mm}$)

Figura 15. Harta izotermelor în planul de simetrie al piesei, la momentul întreruperii alimentării piesei din maselotă $t_{al} = 190,5\text{ s}$

(piesă cu maselotă laterală $D_m \times H_m = 50 \times 90\text{ mm}$)

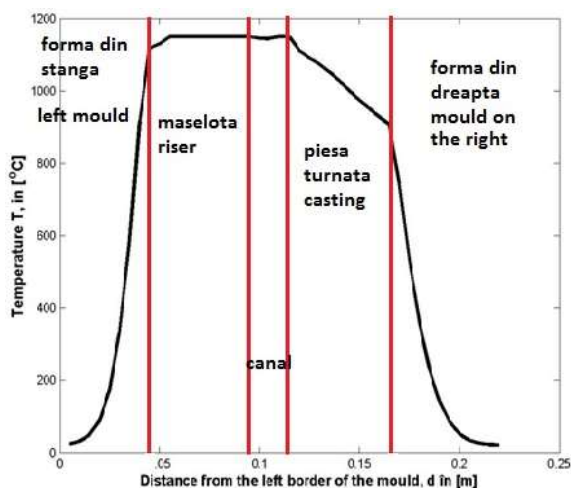


Figure 16. Repartition temperatures at the time $t_{sol_p} = 186\text{ s}$ (end of solidification piece) on the horizontal line when solidification piece is ended (piece with lateral riser)

Figura 16. Repartiția temperaturii la momentul $t_{sol_p} = 186\text{ s}$ (sfârșitul solidificării piesei) pe linia orizontală unde se termină solidificarea piesei (piesă cu maselotă laterală)

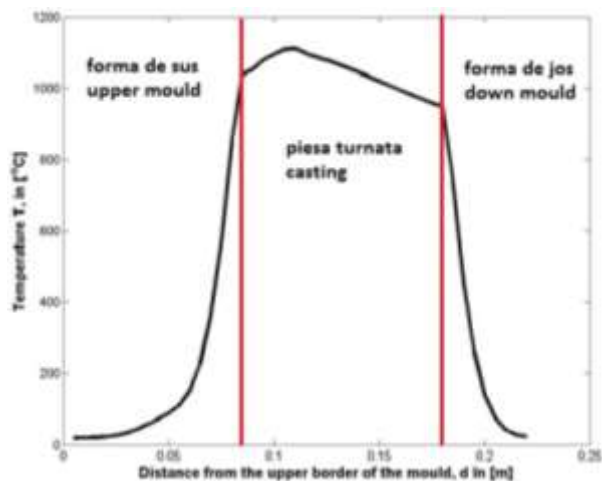


Figure 17. Repartition temperatures on the vertical point where solidification piece is ended at the end of solidification piece $t_{sol_p} = 186\text{ s}$ (casting with lateral riser)

Figura 17. Repartiția temperaturii pe verticala punctului unde se termină solidificarea piesei la momentul sfârșitului solidificării piesei $t_{sol_p} = 186\text{ s}$ (piesă turnată cu maselotă laterală)

Figure 16 shows temperature repartition on the horizontal line placed at 2.5 mm under the channel axes (the line when supply is interrupted).

Figure 17 shows the repartition of temperatures in the piece on the vertical point where solidification is completed ($t_{sol_p} = 186$ s). Both figures, 16 and 17, show that the solidification is correctly headed in the direction riser channel-piece.

Figures 13÷17 show that the lateral riser ensures the condition necessary to obtain a piece without shrinkage.

5. Results about functionality and riser yield

Tables 2, 3 and 4 present numeric results regarding the process solidification of alloy in the casting-riser system, yield and efficiencies of riser.

Table 2 shows time values of solidification time of casting, riser and supply time of piece from riser (interrupt time of communication between riser-casting). This value shows the numeric direction of solidification of alloy in the system.

Table 3 shows results given concerning yield using liquid alloy in the riser (I.U.). The yield using the liquid alloy from riser is calculated with the following equation:

$$I.U. = 100 \cdot V_p / (V_p + V_c + V_m) = 100 \cdot V_p / (V_t), \quad [\%] \quad (1)$$

where V_p is casting volume, V_m is riser volume, V_c is channel volume, and V_t is total casting alloy volume.

Table 4 contains results about volume of usage liquid alloy from riser. This represents volume liquid alloy that may flow from riser into casting until the solidification is completed. Useful liquid alloy placed in riser must be placed at a higher level piece to can flow into the casting on the static pressure principle. To obtain a casting without shrinkage this must compensate the contraction of solidification casting and the contraction from the riser which solidifies at the same time with casting. The volume of useful liquid alloy from riser is calculated with SIM-3D software [9, 10, 11]. Also table 4 contains contraction value at casting solidification which can compensate with riser (β).

În Figura 16 este arătată repartizarea temperaturii pe linia orizontală plasată la 2,5 mm sub axa canalului (linia pe care se întrerupe alimentarea piesei din canal).

În Figura 17 este arătată repartizarea temperaturii în piesă pe verticala punctului în care se termină solidificarea acesteia, la momentul când se termină solidificarea piesei (la momentul $t_{sol_p} = 186$ s). Ambele aceste figuri arată de asemenea dirijarea corectă a solidificării aliajului de la piesă spre masele. Se observă că solidificarea piesei este dirijată spre canalul masele - piesă.

Figurile 13÷17 arată că masele laterale asigură condiții pentru obținerea unei piese turnate fără retasură.

5. Rezultate privind funcționarea și randamentul maselelor

În Tabelele 2, 3 și 4 sunt prezentate rezultatele numerice privind direcționarea solidificării aliajului, randamentul și eficiența maselelor în cazurile studiate.

În Tabelul 2 sunt date valorile timpului de solidificare a piesei turnate, a masele și timpul de alimentare a piesei din masele (momentul întreruperii comunicației masele - piesă turnată). Timpul de alimentare a piesei din masele corespunde cu momentul în care se solidifică complet o primă secțiune transversală a canalului masele - piesă. Acesta este momentul când se întrerupe comunicația masele - piesă turnată.

În Tabelul 3 sunt date rezultate privind randamentul utilizării aliajului lichid în masele (I.U.). Randamentul utilizării aliajului lichid în masele s-a calculat prin relația:

unde V_p reprezintă volumul piesei turnate, V_m volumul masele, V_c volumul canalului, iar V_t volumul total de aliaj turnat.

În Tabelul 4 sunt date rezultatele privind volumul de aliaj lichid util din masele. Acesta reprezintă volumul de aliaj lichid care poate să curgă din masele în piesa turnată până la solidificarea piesei. Aliajul lichid util din masele trebuie să fie plasat la un nivel superior piesei pentru ca să poată să curgă în piesa turnată, pe principiul presiunii hidrostatice. Pentru a se obține o piesă fără retasură, acesta trebuie să compenseze contracția la solidificare a piesei turnate, dar și a aliajului din masele care se solidifică simultan cu piesa. Volumul de aliaj lichid util din masele este calculat de softul SIM-3D [9, 10, 11]. De asemenea în Tabelul 4 sunt date valorile contracției la

The value of this coefficient was calculated with following equation:

$$\beta = 100 \cdot V_{um} / (V_p + V_{ms}) = 100 \cdot V_{um} / (V_t - V_{um}), \quad [\%] \quad (2)$$

where: V_p is casting volume, V_{um} - volume of usage liquid from riser, V_{ms} - volume of solidified alloy from riser at the same time with casting solidification, $V_t = V_p + V_c + V_m$ - total volume of cast liquid.

solidificare a piesei turnate care pot fi compensate de maselote (β). Valoarea acestui coeficient s-a calculat prin relația:

unde V_p reprezintă volumul piesei turnate, V_{um} - volumul de aliaj lichid util din maselotă, V_{ms} - volumul aliajului solidificat în maselotă simultan cu solidificarea piesei, $V_t = V_p + V_c + V_m$ - volumul total de aliaj turnat.

Table 2. Results on the system casting - riser solidification
Tabelul 2. Rezultate privind solidificarea sistemului piesă turnată - maselotă

	The variant of casting solidification Varianta de solidificare a piesei turnate	t_{sol_m} [s]	t_{al} [s]	t_{sol_p} [s]
1	Without riser Fără maselotă	-	162	-
2	With top riser Cu maselotă directă	277.5	169	149
3	With lateral riser Cu maselotă laterală	298	186	190.5

t_{sol_m} = Solidification time of riser / Timp de solidificare maselotă

t_{al} = Solidification time of casting / Timp de solidificare piesă

t_{sol_p} = Feeding time of riser / Timp de alimentare din maselotă

Table 3. Yield of cast liquid alloy
Tabelul 3. Randamentul utilizării aliajului lichid la turnare

	The variant of casting Varianta de turnare	V_p [cm ³]	V_{m+c} [cm ³]	I.U. [%]
1	Without riser Fără maselotă	138.75	-	-
2	With top riser Cu maselotă directă	138.75	168.0	45.23
3	With lateral riser Cu maselotă laterală	138.75	188.0	42.46

V_p = Casting volume / Volum piesă turnată

V_{m+c} = Riser + canal volume / Volum maselotă + canal

I.U. = Yield of cast liquid alloy / Randament de utilizare aliaj lichid

Table 4. The casting contraction possible to feeding from riser
Tabelul 4. Con tracția piesei posibilă de compensat din maselotă

	The variant of casting Varianta de turnare	V_p [cm ³]	V_{um} [cm ³]	β [%]
1	Without riser Fără maselotă	138.75	-	-
2	With top riser Cu maselotă directă	138.75	43.92	16.71
3	With lateral riser Cu maselotă laterală	138.75	14.47	4.63

V_p = Casting volume / Volum piesă turnată

V_{um} = Useful liquid alloy available in riser / Volum util de aliaj lichid în maselotă

β = Casting contraction possible to feeding from riser / Con tracția piesei posibilă de compensat din maselotă

Results from Tables 2÷4 leads to the following conclusions:

- Placing risers near casting determine a slight

Rezultatele din Tabelele 2÷4 conduc la următoarele observații:

- plasarea maselotelor în apropierea piesei turnate

- increase in the solidification time of casting; in the analyzed case this increase is measured between an interval of 7 – 24 s. In the case of the lateral riser this increase is even larger. This explain that the nearness from lateral riser and casting;
- The direct riser and lateral riser have the same section and same solidification geometric module (12.5 mm). However, the lateral riser has a solidification time larger than the direct riser around 205 s. This is explaining by heating the mold mixture placed between lateral riser and casting. This heating has the effect to reduce thermal flux from the surface of the riser placed into casting;
 - Channel riser-casting has the same dimension as in the case of direct riser. The supply flow to the piece from riser is stopped before solidification, thus making a secondary hot spot and shrinkage appearing in the piece;
 - The lateral riser usually has a larger height as to guarantee metal static pressure needed to flow liquid alloy into the casting;
 - Lateral riser has a lower liquid yield of alloy;
 - Direct riser contains sufficient liquid alloy available to flow into casting;
 - Liquid alloy available in direct riser could compensate a solidification contraction of a large piece ($\beta = 26.24 \%$, enough to remove shrinkage from casting). Shrinkage from the piece is not eliminated because of premature interruption of alloy flow communication riser-casting;
 - The lateral riser contains a sufficient quantity of liquid alloy to flow from casting to compensate the solidification contraction (possible solidification contraction is $\beta = 4.63 \%$);
 - As a results of the solidification at the same section (same solidification geometric module) the lateral riser works better than direct riser;
 - More study is required to determine the optimization dimensions of lateral riser to increase usage yield of liquid alloy; to this end we can study various ways to reduce the section riser and thermal isolation.
- determină o ușoară creștere a timpului de solidificare a piesei turnate; în cazul analizat această creștere este de ordinul 7 - 24 s. Creșterea este mai mare în cazul maseletei laterale. Aceasta se explică prin vecinătatea dintre maseleta laterală și piesa turnată;
- deși maseleta directă și maseleta laterală au aceeași secțiune și practic același modul de solidificare geometric (12,5 mm). maseleta laterală are un timp de solidificare mai mare cu cca. 205 s, ceea ce arată că modulul de solidificare real al maseletei laterale este mai mare decât al maseletei directe. Aceasta se explică de asemenea prin încălzirea amestecului de formare situat între maseleta laterală și piesa turnată. Această încălzire are ca efect reducerea fluxului termic prin suprafața maseletei plasată spre piesa turnată;
 - deși canalul maselotă - piesă turnată are aceleași dimensiuni, în cazul maseletei directe alimentarea piesei din maselotă se întrerupe înainte de solidificarea piesei, ceea ce face ca în piesă să apară un nod termic secundar și deci o retasură secundară;
 - pentru a se asigura presiunea metalostatică necesară curgerii aliajului lichid în piesa turnată, este necesar ca maseletele laterale să aibă o înălțime mai mare;
 - ca urmare maseleta laterală are un randament de utilizare a aliajului lichid mai scăzut;
 - maseleta directă conține o cantitate suficientă de aliaj lichid, disponibilă să curgă în piesa turnată pe parcursul solidificării piesei mult mai mare decât maseleta laterală;
 - aliajul lichid disponibil în maseleta directă ar putea să compenseze o contracție la solidificare a piesei turnate foarte mare ($\beta = 26,24 \%$, suficientă pentru eliminarea retasurii din piesa turnată). Retasura din piesă nu este însă eliminată total datorită întreruperii premature a comunicației maselotă - piesă turnată;
 - maseleta laterală conține la rândul ei o cantitate de aliaj lichid disponibilă să curgă în piesa turnată, care este suficientă pentru compensarea contracției la solidificare a piesei (contracția la solidificare posibil de compensat este $\beta = 4,63 \%$);
 - în concluzie la aceeași secțiune (la același modul de solidificare geometric) maseletele laterale au eficiență mai bună decât maseletele directe;
 - se impune ca în continuare să se efectueze studii pentru optimizarea dimensiunilor maseletei laterale în vederea măririi randamentului de utilizare a aliajului lichid; în acest scop se pot studia variante de reducere a secțiunii maseletei sau de izolare termică.

References

1. Sofroni, L., Brabie, V., Bratu, C. (1995): *Bazale teoretice ale turnării (Theoretical Bases of casting)*. Editura Didactică și Pedagogică, București, Romania (in Romanian)
2. Soporan, V., Constantinescu, V., Crișan, M. (1995): *Solidificarea aliajelor, preliminarii teoretice (Solidification of Alloys, Theoretical Preliminaries)*. Editura Dacia, ISBN 973-97041-1-5, Cluj-Napoca, Romania (in Romanian)
3. Soporan, V., Constantinescu, V. (1995): *Modelarea la nivel macrostructural a solidificării aliajelor (Macrostructural Modeling of alloys solidification)*. Editura Dacia, Cluj-Napoca, Romania (in Romanian)
4. Soporan, V., Mărginean, I., Dan, V., Ciobanu, I., s.a. (2010): *Modelarea matematică a proceselor care au loc la turnarea pieselor metalice (Mathematical modelling of process to metallic parts cast)*. Casa Cărții de Știință, ISBN 978-973-133-059-4, Cluj-Napoca, Romania (in Romanian)
5. Soporan, V., Vamoș, C., Pavai, C. (2003): *Modelarea numerică a solidificării (Numerically modelling of solidification)*. Editura Dacia, ISBN 973-35-1645-7, Cluj-Napoca, Romania (in Romanian)
6. Ștefănescu, D. (2009): *Science and Engineering of Casting Solidification*. Springer US, ISBN 978-0-387-74609-8
7. Ștefănescu, D. (2002): *Macro-modeling of solidification. Numerical approximation methods*. Springer US, ISBN 978-1-4757-6474-1, p. 94-115
8. Szabo, C. (2011): *Reducerea consumului de aliaje lichide la turnarea pieselor prin mărirea randamentului maselotelor (The Decreasing of Liquid Alloy Consumption for Parts Casting trough increasing of Feeders Efficiency)*. Ph D. thesis, Transilvania University of Brasov, Romania (in Romanian)
9. Ciobanu, I., Monescu, V., Munteanu, S.I., Crișan, A. (2010): *Simularea 3D a solidificării pieselor turnate (3D Simulation of casting solidification)*. Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-973-598-678-0, Brașov, Romania (in Romanian)
10. Ciobanu, I., Munteanu, I.S., Crișan, A., Monescu, V., Bedö, T. (2012): *Modelarea, simularea și optimizarea solidificării pieselor turnate (Modelling, simulation, and optimization of casting solidification)*. Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-606-19-0147-0, Brașov, Romania (in Romanian)
11. Ciobanu, I., Szabo, C., Bedö, T., Crișan, A., Munteanu, S.I. (2011): *Maselote izolate termic utilizate la turnarea pieselor metalice (Thermal insulated risers used to metallic parts cast)*. Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-973-598-678-0, Brașov, Romania (in Romanian)
12. Ciobanu, I., Munteanu, S.I., Crișan, A. (2005): *Observații privind analiza solidificării pieselor turnate cu ajutorul metodelor simplificate clasice (Observations concerning the casting solidification analysis by elementary classic methods)*. Metalurgia, ISSN 0461-9579, no.10, p. 19-32

Received in August 2015

Lucrare primită în August 2015