

ANALIZA COMPUTAȚIONALĂ A SOLIDIFICĂRII PIESELOR TURNATE DIN ALIAJE PE BAZĂ DE ALUMINIU, SOLUȚIE ECONOMICĂ ȘI ECOLOGICĂ A CERCETĂRII

Drd. ing. Tiberiu LEHENE
Prof. univ. em. dr. ing. Mircea BEJAN

Universitatea Tehnică din Cluj Napoca
Filiala Cluj a AGIR
România

ABSTRACT

The paper analysed through computational methods, the sequence of solidification mode and intersections adjacent areas in the form of "T" in the cast aluminium alloys. By this analysis the order of solidification, and the distance from the centre of the intersection at the solidification state of the art, that the lower compactness. To obtain the results presented were performed simulations, using the program NovaFlow & Solid CV, the solidification of the alloy EN AC-Al Si₇Mg, moulded from a mixture of training wet, a total of 168 pieces shaped intersections "T" with the total mass of 575 kg. In view of the large amount of alloy cast for the experimental analysis would be just such a process evaluates the implications of material and energy consumption, it is clear opportunity of using computational embodiment.

1. Introducere

Forma constructivă a piesei care urmează a fi turnată are o influență importantă asupra procesului de solidificare și de poziționare a retasurilor. Această influență se manifestă în principal prin configurația piesei, prezența și modul de amplasare a nervurilor, raportul grosimilor pereților care se intersectează, razele de racordare dintre aceștia, înclinarea pereților pentru dirijarea solidificării etc.

De asemenea, pereții cu nervuri prezintă o rezistență mai mare la presiunea metalostatică, deci asigură un volum mai mic de retasură, dar trebuie avut în vedere faptul că prezența nervurilor influențează modul de solidificare a zonei în care sunt amplasate. Dacă acestea au grosimi mai reduse decât peretele pe care este amplasat, se solidifică mai rapid, acționând ca un răcitor în zona respectivă, dar poate în anumite condiții să determine apariția unei nod termic.

Nodurile termice, ca zone de ultimă solidificare, favorizează formarea macro și microretasurilor pieselor turnate, deci compactitatea piesei într-o anumită zonă, iar în ultimă instanță caracteristicile mecanice ale piesei. Dacă se acceptă faptul că fenomenul de contracție volumică a unui aliaj la solidificare nu poate fi evitat, înseamnă că volumul total al retasurii va fi constant, determinat de coeficientul de contracție la solidificare a aliajului respectiv, dar prin factori constructivi și tehnologici în multe situații se poate modifica raportul dintre retasura concentrată și microretasurile dispersate sau zonale. Pentru obținerea unor piese cu compactitate ridicată, concentrarea retasurilor într-o anumită zonă poate constitui un avantaj important pentru turnător, dacă prin proiectarea corespunzătoare a piesei va dirija astfel procesul încât zona de ultimă solidificare, respectiv retasurile, să fie cât mai concentrate și să se formeze într-o zonă favorabilă.

O cercetare a succesiunii solidificării pieselor turnate, în ansamblu, poate fi complexă, motiv pentru care piesele turnate pot fi analizate pe zone mai restrânse. Pentru această lucrare am adoptat studierea solidificării intersecțiilor în formă de „T”, din cadrul pieselor turnate din aliaj pe bază de aluminiu EN AC-Al Si7Mg, aliaj foarte frecvent utilizat pentru turnarea unei mari varietăți dimensionale și de complexitate a pieselor.

Un astfel de studiu presupune turnarea și analizarea unui număr mare de piese din aliajul menționat, cu un consum ridicat de material și energie.

DIRECTIVA 2012/27/UE A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 25 octombrie 2012, privind eficiența energetică, de modificare a Directivelor 2009/125/CE și 2010/30/UE și de abrogare a Directivelor 2004/8/CE și 2006/32/CE, arată că: „Uniunea se confruntă cu provocări fără precedent cauzate de dependența crescândă față de importurile de energie și de cantitatea redusă de resurse energetice, precum și de necesitatea de a limita schimbările climatice și de a depăși criza economică. Eficiența energetică reprezintă o modalitate importantă prin care pot fi abordate provocările în cauză. Aceasta îmbunătățește securitatea aprovizionării cu energie a Uniunii prin reducerea consumului de energie primară și a importurilor de energie. Eficiența energetică contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră într-o manieră rentabilă și, prin urmare, la atenuarea schimbărilor climatice. *Trecerea la o economie mai eficientă din punct de vedere energetic ar trebui, de asemenea, să accelereze difuzarea soluțiilor inovatoare în plan tehnologic și să îmbunătățească competitivitatea industriei în Uniune, favorizând creșterea economică și crearea de locuri de muncă de înaltă calitate în mai multe sectoare care au legătură cu eficiența energetică.*”

În acest context s-a abordat analiza computațională a solidificării intersecțiilor în formă de „T”, din cadrul pieselor turnate.

2. Analiza solidificării prin metoda numerică

Aplicând o simulare numerică cu ajutorul programului NovaFlow&Solid CV, a solidificării zonelor adiacente unei intersecții în formă de „T” a pereților având secțiuni și raze de racordare diferite se poate observa succesiunea solidificării acestora, deci și zona de ultimă solidificare.

Pentru toate cazurile analiza a fost făcută prin simularea solidificării unui aliaj Al Si7Mg0,3, turnat la temperatura de 710 °C în formă din amestec de formare crud având temperatura de 20 °C.

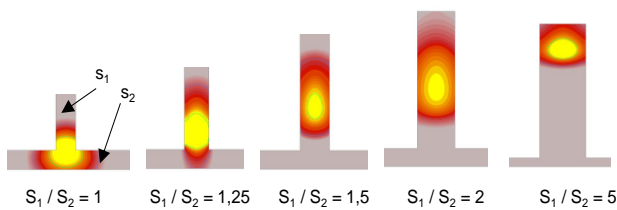


Figura 1. Zona de ultimă solidificare pentru intersecții cu raportul $S_1/S_2 \geq 1$ și $R = 0$

Locul de amplasare a zonei de ultimă solidificare în situația modificării raportului grosimilor celor doi pereți, fără rază de racordare, considerând S_1 ca fiind peretele transversal și S_2 ca peretele longitudinal, în cazul $S_1 \geq S_2$, este prezentat în figura 1.

Aceiași analiză făcută pentru cazul în care peretele transversal are o dimensiune egală sau mai mare decât cel longitudinal, respectiv $S_2 \geq S_1$, arată locurile de amplasare a zonelor de ultimă solidificare ca în figura 2.

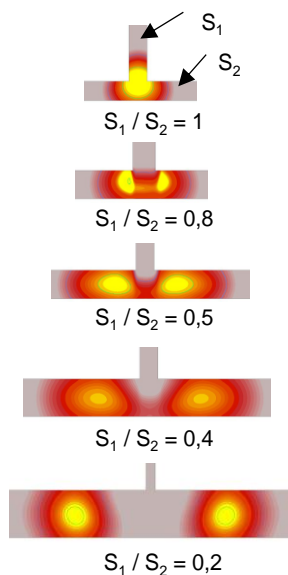


Figura 2. Zona de ultimă solidificare pentru intersecții „T” cu raportul $S_1/S_2 < 1$ și $R = 0$

Analizând rezultatele prezentate în figurile 1 și 2 se poate observa că locul ultimei solidificări, deci a zonei cu retasură sau compactitate mai redusă, se deplasează îndepărtându-se de centrul intersecției dacă diferența de grosime dintre cei doi pereți care se intersectează se mărește. Variația distanței dintre centrul intersecției în formă de „T” la locul ultimei solidificări este prezentată, pentru diferite dimensiuni ale grosimii peretelui longitudinal S_1 de 10, 20 30 și 40 mm, în funcție de grosimea peretelui transversal S_2 și în funcție de raza de racordare dintre aceștia în figura 3. Pentru raportul S_1/S_2 subunitar, respectiv pentru grosimile peretelui transversal S_2 de valorile 10, 20, 30 și 40, în funcție de grosimea peretelui S_1 și raza de racordare dintre aceștia în figura 4. Analizând diagramele realizate și prezentate se poate observa că în cazul intersecțiilor în formă de „T” a doi pereți zona

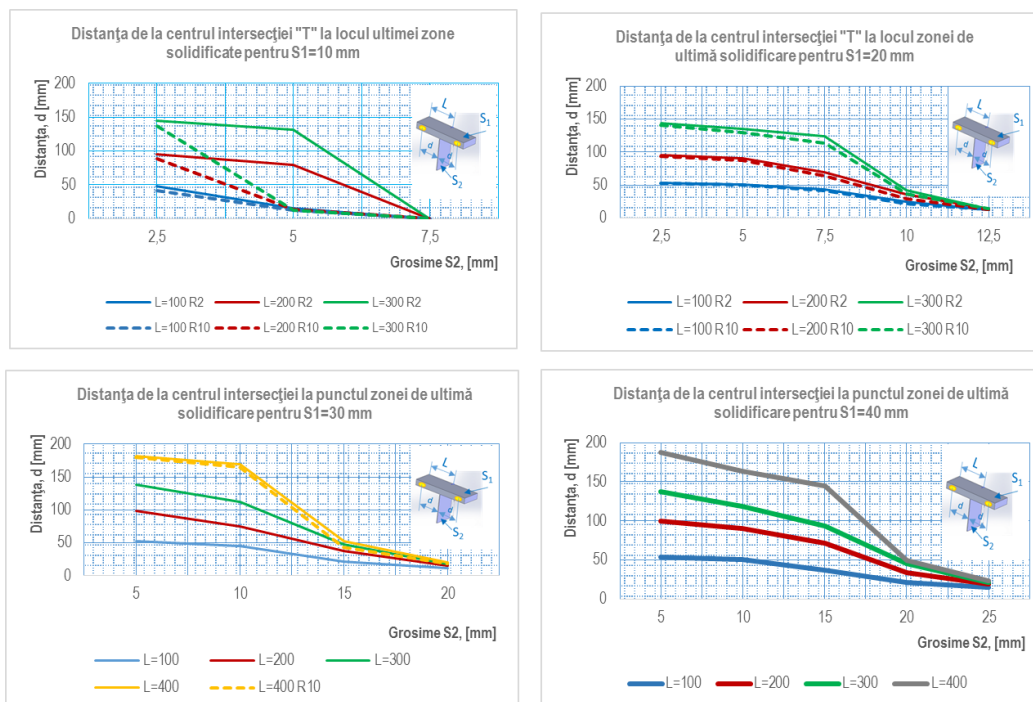


Figura 3. Variația distanței de la centrul intersecției „T”, pentru $S_1/S_2 > 1$

ultimei solidificări depinde de raportul dimensiunilor celor doi pereți și cu cât raportul grosimilor este mai mare, cu atât distanța dintre centrul intersecției și zona de ultimă solidificare este mai mare. De asemenea în cazul raportului S_1/S_2 subunitar, efectul peretelui longitudinal, de secțiune S_1 , asupra celui transversal, de secțiune S_2 este mai important, adică zona de ultimă solidificare este situată la distanță mai mare de centrul intersecției decât pentru același raport al grosimilor dar supraunitar. În ceea ce privește influența razei de racordare dintre cei doi pereți, aceasta este semnificativă doar în cazul raportului S_1/S_2 supraunitar și la dimensiuni reduse ale grosimii peretelui longitudinal, S_1 , așa cum se poate vedea în figura 3.

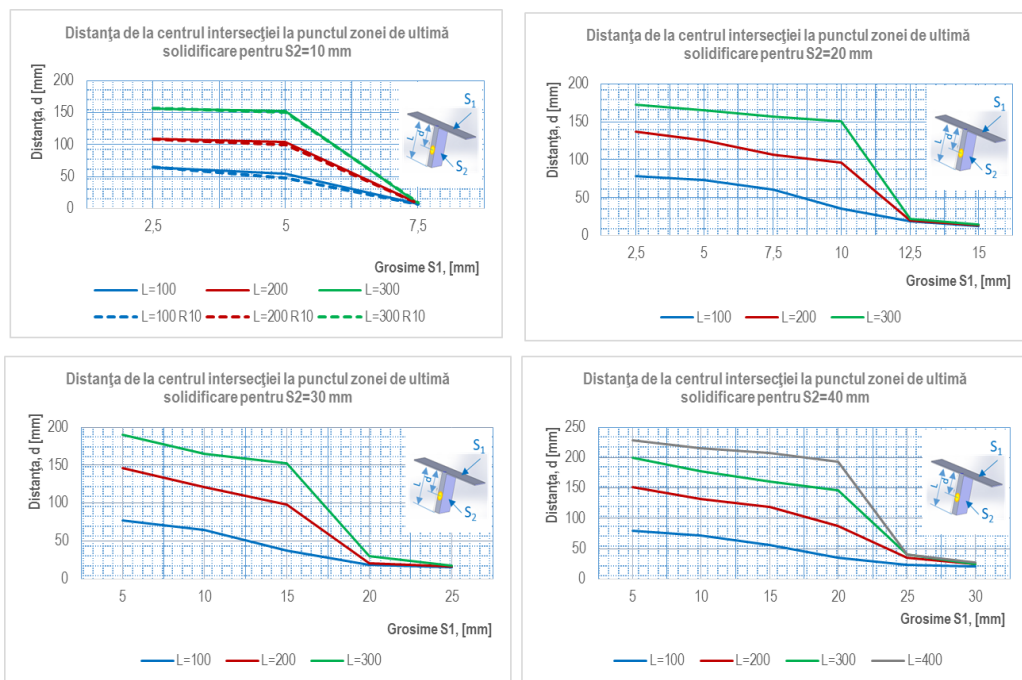


Figura 4. Variația distanței de la centrul intersecției „T”, pentru valoarea grosimii peretelui $S_2 = 10$ mm

Pentru validarea rezultatelor au fost turnate, din aliaj Al Si7Mg, cu ajutorul modelelor din polistiren, un număr de 24 de piese, câte 3 pentru fiecare dintre raporturile grosimilor de pereți analizate prin simulare. Acestea au fost secționate, așa cum se poate observa în figura 5.



Figura 5. Piese „T” turnate și secționate

Considerând că zona de ultimă solidificare este cea care are compactitatea cea mai redusă, din cauza microretasurilor care nu mai pot fi alimentate și a eventualelor microsufuri cauzate de gazele din ultimele cantități de aliaj lichid, s-a determinat masa specifică a fiecărei bucați rezultate, această valoare fiind considerată ca fiind o măsură a compactității piesei în zona respectivă.

3. Analiza ecologică a cercetării

Pentru a obține rezultatele prezentate în figurile 3 și 4 au fost realizate simulări ale solidificării a 168 de piese de forma intersecției „T”, pentru diferite dimensiuni ale celor doi pereți, atât ca grosime cât și ca lungime, pentru valori ale razelor de racordare de 2 și 10 mm.

Masele fiecărei piese și masa totală a pieselor supuse analizei computaționale se regăsesc în tabelul 1. Simbolizarea pieselor analizate și prezentate în tabelul 1, T_{S₁-S₂-L-R} reprezintă intersecție „T”, grosimile celor doi pereți care se intersectează, lungimea peretelui mai cu grosime mai mare și raza de racordare dintre cei doi pereți. Piesele care nu au specificată raza de racordare în simbolizare, au valoarea acesteia de 2 mm.

Tabelul 1

Masele pieselor în forma de „T”, kg

S 10	Masa, kg	S 20	Masa, kg	S 30	Masa, kg	S 40	Masa, kg
T_2,5-10_100	0,54	T_2,5-20_100	0,8	T_5-30_100	1,34	T_5-40_100	1,6
T_2,5-10_100_R10	0,55	T_2,5-20_200	1,34	T_5-30_200	2,14	T_5-40_100_R10	1,6
T_2,5-10_200	0,8	T_2,5-20_300	1,88	T_5-30_300	2,95	T_5-40_200	2,68
T_2,5-10_200_R10	0,82	T_5-20_100	1,07	T_5-30_300_R10	2,96	T_5-40_300	3,75
T_2,5-10_300	1,07	T_5-20_200	1,61	T_10-30_100	1,88	T_5-40_400	4,8
T_2,5-10_300_R10	1,08	T_5-20_300	2,14	T_10-30_200	2,68	T_5-40_400_R10	4,8
T_5-10_100	0,8	T_7,5-20_100	1,34	T_10-30_300	3,48	T_10-40_100	2,14
T_5-10_100_R10	0,82	T_7,5-20_200	1,88	T_10-30_300_R10	3,5	T_10-40_200	3,22
T_5-10_200	1,07	T_7,5-20_300	2,41	T_15-30_100	2,41	T_10-40_300	4,29
T_5-10_200_R10	1,08	T_10-20_100	1,61	T_15-30_200	3,22	T_10-40_400	5,36
T_5-10_300	1,34	T_10-20_200	2,14	T_15-30_300	4,02	T_15-40_100	2,69
T_5-10_300_R10	1,35	T_10-20_300	2,68	T_20-30_100	2,95	T_15-40_100_R10	2,69
T_7,5-10_100	1,07	T_12,5-20_100	1,88	T_20-30_200	3,75	T_15-40_200	3,75
T_7,5-10_100_R10	1,08	T_12,5-20_200	2,41	T_20-30_300	4,56	T_15-40_300	4,82
T_7,5-10_200	1,34	T_12,5-20_300	2,95	T_25-30_100	3,48	T_15-40_400	5,2
T_7,5-10_200_R10	1,35	T_15-20_100	2,14	T_25-30_200	4,31	T_20-40_100	3,22
T_7,5-10_300	1,61	T_15-20_200	2,68	T_25-30_300	5,09	T_20-40_200	4,29
T_7,5-10_300_R10	1,62	T_15-20_300	3,22	T_30-5_100	1,88	T_20-40_300	5,36
T_10-2,5-100	0,67	T_20-2,5_100	1,21	T_30-5_200	3,48	T_20-40_400	6,43
T_10-2,5-100_R10	0,68	T_20-2,5_100_R10	1,22	T_30-5_300	5,09	T_25-40_100	3,75
T_10-2,5-200	1,21	T_20-2,5_200	2,28	T_30-5_400	6,7	T_25-40_200	4,82
T_10-2,5-200_R10	1,22	T_20-2,5_200_R10	2,29	T_30-5_400_R10	6,71	T_25-40_300	5,9
T_10-2,5-300	1,74	T_20-2,5_300	3,35	T_30-10_100	2,14	T_25-40_400	6,97
T_10-2,5-300_R10	1,75	T_20-2,5_300_R10	3,36	T_30-10_200	3,75	T_30-40_100	4,29
T_10-5-100	0,8	T_20-5_100	1,34	T_30-10_300	5,36	T_30-40_200	5,36
T_10-5-100_R10	0,81	T_20-5_200	2,41	T_30-10_400	6,97	T_30-40_300	6,34
T_10-5-200	1,34	T_20-5_300	3,48	T_30-10_400_R10	6,98	T_30-40_400	7,5
T_10-5-200_R10	1,36	T_20-7,5_100	1,47	T_30-15_100	2,4	T_40-5_100	2,55
T_10-5-300	1,88	T_20-7,5_100_R10	1,49	T_30-15_100_R10	2,42	T_40-5_100_R10	2,56
T_10-5-300_R10	1,89	T_20-7,5_200	2,55	T_30-15_200	4,02	T_40-5_200	4,69

T_10-7,5-100	0,94	T_20-7,5_200_R10	2,56	T_30-15_300	5,63	T_40-5_300	6,83
T_10-7,5-200	1,47	T_20-7,5_300	3,62	T_30-15_400	5,64	T_40-5_400	8,98
T_10-7,5-300	2,01	T_20-7,5_300_R10	3,63	T_30-20_100	2,68	T_40-5_400_R10	9
		T_20-10_100	1,61	T_30-20_200	4,29	T_40-10_100	2,95
		T_20-10_200	2,68	T_30-20_300	5,9	T_40-10_200	5,09
		T_20-10_300	3,75	T_30-20_400	7,5	T_40-10_300	7,24
		T_20-12,5_100	1,74	T_30-20_400_R10	7,6	T_40-10_400	9,38
		T_20-12,5_100_R10	1,75			T_40-15_100	3,35
		T_20-12,5_200	2,81			T_40-15_200	5,49
		T_20-12,5_200_R10	2,83			T_40-15_300	7,64
		T_20-12,5_300	3,89			T_40-15_400	9,78
		T_20-12,5_300_R10	3,9			T_40-20_100	3,75
		T_20-15_100	1,88			T_40-20_100_R10	3,8
		T_20-15_200	2,95			T_40-20_200	5,9
		T_20-15_300	4,02			T_40-20_300	8,04
		T_20-20	2,41			T_40-20_400	10,18
						T_40-20_400_R10	10,3
						T_40-25_100	4,15
						T_40-25_200	6,3
						T_40-25_300	8,44
						T_40-25_400	10,59
Total S 10	39,16	Total S 20	108,66	Total S 30	151,86	Total S 40	274,6
						TOTAL,	
						kg	574,28

Se poate observa că pentru a realiza cercetarea propusă s-a realizat simularea turnării și solidificării unui număr însemnat de piese cu diferite caracteristici geometrice, însumând o masă considerabilă pentru un astfel de studiu, respectiv aproape 575 kg, care reprezintă doar masa pieselor, fără a ține cont de rețeaua de turnare sau alte pierderi. Trebuie precizat că acest studiu acoperă doar o mică parte din aspectele legate de solidificarea pieselor și doar pentru un singur aliaj, în ansamblu problematica fiind mult mai complexă și mai extinsă.

Se știe că aluminiul și aliajele acestuia sunt considerate energointensive, deoarece consumă cantități însemnate de energie pentru prelucrarea lor termică, astfel conform Autorizației de Mediu emise de către ARPM Dolj, unității S.C. ALRO S.A Slatina, consumul specific de energie electrică și gaz natural necesar obținerii pieselor turnate din aluminiu este de 13.313 kWh/t aluminiu turnat, respectiv 115 m³/t aluminiu turnat, iar pentru retopirea aliajelor pe bază de aluminiu în turnătorii sau laboratoare de turnătorie se ajunge la consumuri specificede peste 700 kWh/t, la topirea în cuptoare cu inducție și 1400 kWh/t la cuptoare cu creuzet cu flacăra.

Considerând aproximativ 70 kg piesele turnate și consumurile specifice precizate anterior, rezultă o economie pentru celelalte 500 kg de cel puțin 7.350

kWh și peste 60 m³ gaz, dacă se ia în considerare producerea primară a acestei cantități de aliaj și retopirea acesteia în vederea turnării, fără a se ține seama de alte consumuri legate de realizarea formelor, prelucrarea și încercarea probelor etc., care bineînțeles că implică și alte consumuri și cheltuieli materiale care pot fi însemnate ca valoare.

Realizând experimental toate aceste încercări, s-ar consuma cantități însemnate de materiale și energie, ceea ce este în contradicție cu conceptul de Dezvoltare Durabilă, concept definit de Raportul Brundtland ca: "*dezvoltarea durabilă este dezvoltarea care urmărește satisfacerea nevoilor prezentului, fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi*" [5].

Reducerea consumurilor energetice are implicații deosebite și în protecția mediului prin reducerea poluării așa cum se arată în DIRECTIVA 2012/27/UE A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 25 octombrie 2012 privind eficiența energetică: „Eficiența energetică contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră într-o manieră rentabilă și, prin urmare, la atenuarea schimbărilor climatice. Trecerea la o economie mai eficientă din punct de vedere energetic ar trebui, de asemenea, să accelereze difuzarea soluțiilor inovatoare în plan tehnologic și să îmbunătățească competitivitatea industriei în Uniune, favorizând creșterea economică și crearea de locuri de muncă de înaltă calitate în mai multe sectoare care au legătură cu eficiența energetică.” [4].

4. Concluzii

Analizând rezultatele obținute și prezentate în lucrare se stabilesc următoarele concluzii:

- în cazul intersecțiilor în formă de „T” a doi pereți zona ultimei solidificări depinde de raportul dimensiunilor celor doi pereți;
- când raportul dintre grosimile celor doi pereți este mai mic de 20 %, zona ultimei solidificări se va găsi în zona de intersecție;
- cu cât raportul grosimilor este mai mare, cu atât distanța dintre centrul intersecției și zona de ultimă solidificare este mai mare;
- în cazul raportului S_1/S_2 subunitar, efectul peretelui longitudinal, de secțiune S_1 , asupra celui transversal, de secțiune S_2 este mai important, adică zona de ultimă solidificare este situată la distanță mai mare de centrul intersecției decât pentru același raport al grosimilor dar supraunitar;
- raza de racordare dintre cei doi pereți are o influență semnificativă doar în cazul raportului S_1/S_2 supraunitar și la dimensiuni reduse ale grosimii peretelui longitudinal, S_1 , așa cum se poate vedea în figura 6;
- pentru valori mai mari de 10...15 mm ale grosimii peretelui longitudinal, indiferent de valoarea raportului dintre cei doi pereți,

mărirea razei de racordare de la 2 la 10 mm, produce un efect nesemnificativ asupra locului de ultimă solidificare;

- realizarea computațională a unor cercetări care presupun consumuri energetice ridicate poate fi oportună în multe cazuri, rezultatele obținute fiind concludente cu un număr mai redus de experimente;
- reducerea consumurilor energetice au consecințe pozitive în ceea ce privește protecția mediului, trebuind deci profitat de orice oportunitate pentru a realiza acest deziderat.

Bibliografie:

- [1] Bejan, M., Cordoș, M.A., Lehene T., *Compendii din rezistența materialelor*, Vol. 3, Editura AGIR București, 2014, Editura MEGA Cluj-Napoca, 2014.
- [2] Lehene, T., *Studii asupra solidificării intersecțiilor în formă de T, a pereților pieselor turnate*. ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, vol. 25. Editura AGIR, București, 2014, pag. 567.
- [3] Soporan, V., Lehene, T., *Introducere în teoria turnării și solidificării aliajelor*, Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca, 2001.
- [4] Soporan, V., Mărginean, I., Dan, V., Ciobanu, I., Carcea, I., Bratu, C., Firescu, L., Roman, M., Vamoș, C., Riți-Mihoc, E., Lehene, T., Pavai, C., Monescu, V., și alții: *Modelarea matematică a proceselor care au loc la turnarea pieselor metalice*, Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca, 2008.
- [5] *** DIRECTIVA 2012/27/UE A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 25 octombrie 2012.
- [6] *** http://ro.wikipedia.org/wiki/Dezvoltare_durabil%C4%83
- [7] *** http://arpmdj.anpm.ro/upload/10412_Autorizatia%201.pdf