A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

STUDII ASUPRA SOLIDIFICĂRII INTERSECȚIILOR ÎN FORMĂ DE T, A PEREȚILOR PIESELOR TURNATE

Tiberiu LEHENE

SOLIDIFICATION STUDIES T JUNCTIONS, WALLS CASTINGS

This paper aims to make a numerical and experimental analysis of the succession of solidification zones of T-shaped intersection walls of cast aluminium alloys. The idea of this study started with the observation that these areas solidification thru dedicated method of cooling modules analysis does not fully correspond to numerical analysis using a simulation solidification program. By using the simulation software NovaCast it was studied the succession of solidification process of T - shaped intersection of the walls of aluminium alloy castings En AC-Al Si7Mg0,3 in several versions of ratio between the two intersecting walls. Subsequently were made casts of this form examining their solidification by determining the compactness of intersection and surrounding areas. In interpreting the results obtained it can be concluded that the T-shaped intersection of two walls, in most cases, doesn't act as a heat node, as it would be presumed at first glance.

Keywords: aluminum alloys, solidification, cast
Cuvinte cheie: aliaje, aluminiu, solidificare, turnate

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.

2. Analiza solidificării prin metoda modulelor de răcire

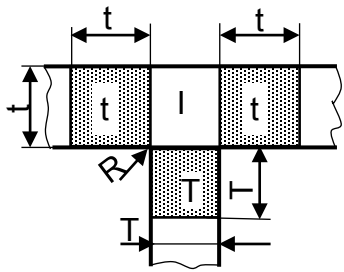

Fig. 1 Intersecție în formă de T

Considerând o intersectare de pereți în formă de T, ca cea din figura 1, se poate observa că are următorii parametri: T, t și R. Analiza succesiunii solidificării unei astfel de situații a fost realizată cu ajutorul regulii Chvorinov, care inițial a fost utilizată pentru a compara timpii de solidificare a formelor simple de turnare, pentru metale pure și aliaje cu un interval de solidificare foarte îngust. Această regulă are însă o aplicabilitate mult mai largă și prevede că timpul de solidificare totală a unei piese turnate sau a unui nod termic al acesteia este proporțională cu pătratul modulului de răcire (raportul dintre volumul piesei sau zonei și suprafața prin care se face schimbul termic) a piesei sau zonei analizate.

Această regulă poate fi exprimată matematic, după cum urmează:

$$t_s = K\left(\frac{V}{A}\right)^2 \quad (1)$$

unde: t_s – durata solidificării piesei sau zonei analizate, s;
K – constantă care depinde de natura aliajului și a formei;
V – volumul piesei sau zonei, m^3;
S – suprafața prin care se face schimbul termic, m^2.

Factorii care se referă la constanta K, numită și constantă de solidificare, sunt parametri termofizici ai aliajului și materialului formei de turnare: temperatura în momentul turnării, conductivitatea termică, căldura specifică etc., factori care implică specificul unei anumite piese turnată într-o anumită formă de turnare. Pentru o formă dată, confecționată dintr-un singur material, acești factori pot fi considerați constanți pe toată suprafața de contact cu aliajul turnat, situație în care regula lui Chvorinov devine o ecuație proporțională în care durata de solidificare este proporțională cu pătratul modulului de răcire. În această situație, rezultatele ecuației sunt independente de tipul formei și aliajului turnat, cu condiția să fie identice cu cele ale zonei piesei la care urmează să fie aplicată. Mai mult decât atât, în scopul de a oferi o privire de ansamblu adecvată asupra succesiunii solidificării unei zone a piesei, nu este necesară cunoașterea timpului efectiv pentru solidificarea unei anumite porțiuni din piesa turnată ci, este mai importantă determinarea succesiunii în care se solidifică fiecare componentă în raport cu celelalte componente studiate. Prin urmare, ecuația proporționalității asociată regulii lui Chvorinov, prezentată mai sus este suficientă pentru a studia succesiunea solidificării diferitelor secțiuni comparativ cu altele.

Au fost astfel stabilite o serie de grafice care descriu succesiunea solidificării pentru a fi în sprijinul proiectantului de piese turnate în stabilirea formei optime pentru realizarea acesteia în condiții de calitate corespunzătoare și la costuri minime. Aceste grafice prezintă succesiunea de solidificare în funcție de parametrii de proiectare care constituie secțiunile în formă de **T.** Solidificarea poate fi descrisă prin compararea modulelor de răcire, respectiv de solidificare a celor trei zone definite de cei trei parametri amintiți: t, T și I.

Presupunând din punct de vedere termic, că plăcile care formează secțiunea sunt infinite în direcția perpendiculară pe secțiune, deci nu influențează solidificarea secțiunii sau plăcilor), volumul poate fi considerat ca aria elementelor iar secțiunea ca perimetru. O astfel de ipoteză este valabilă în cazul în care grosimea secțiunii în direcția perpendiculară secțiunii este de cel puțin cinci ori grosimea peretelui cu grosime mai mare.

Rezultatele unei astfel de analize pentru o intersecție T având parametri t = 0 – 10 cm, T = 0 – 10 cm iar raza de racordare R = 0, sunt prezentate în figura 2 [3].

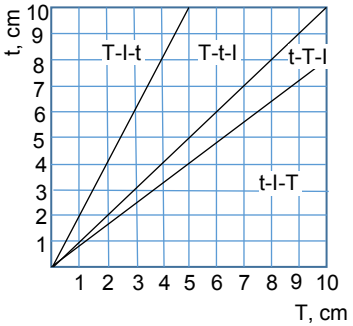

Fig. 2 Succesiunea solidificării unei intersecții în formă de T, pentru R = 0

3. Analiza solidificării prin metoda numerică

Aplicând o simulare numerică cu ajutorul programului NovaCast, a solidificării zonelor adiacente unei intersectări 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. Rezultatele acestei simulări pentru cazul intersectării pereților la raze de racordare 0, 10 și 20 mm sunt prezentate în figurile 3, 4 și 5.

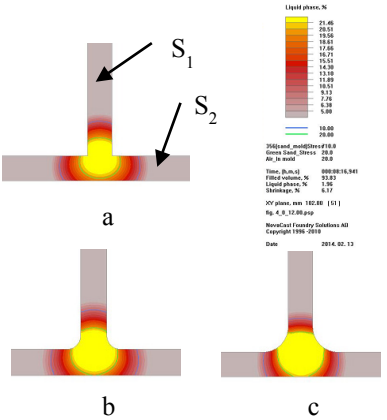

Fig. 3 Intersecție cu pereți egali: $S_1 = S_2$
a) R =0; b) R = 10; c) R = 20

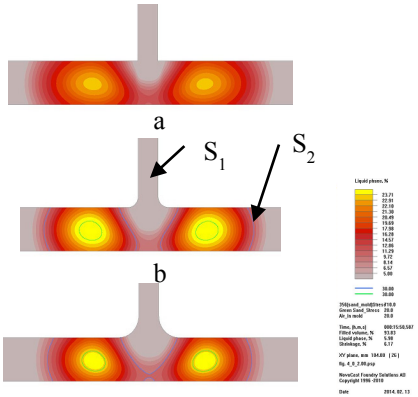

Fig. 4 Intersecție cu pereți inegali: $S_1 < S_2$
a) R = 0; b) R = 10; c) R = 20

Locul de amplasare a zonei de ultimă solidificare în situația modificării raportului grosimilor celor doi pereți, fără rază de racordare este prezentat în figurile 6 și 7.

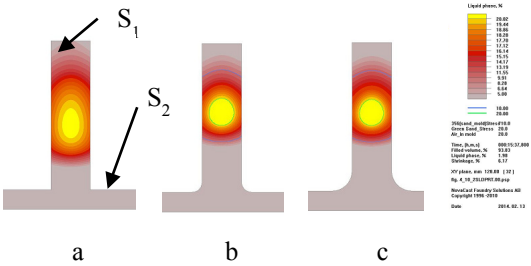

Fig. 5 Intersecție cu pereți inegali: $S_1 > S_2$
a) R = 0; b) R = 10; c) R = 20

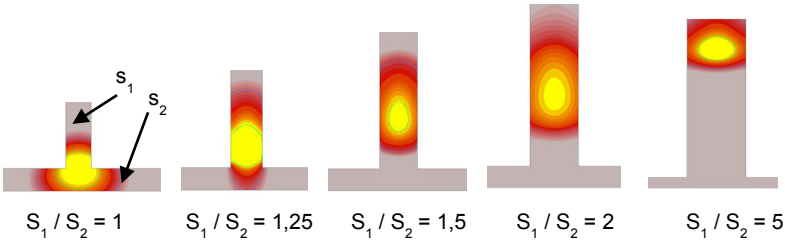

Fig. 6 Zona de ultimă solidificare pentru intersecții cu raportul $S_1/S_2 > 1$ și R = 0

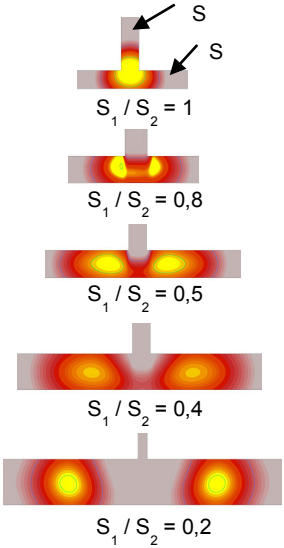

Fig. 7 Zona de ultimă solidificare pentru intersecții cu raportul $S_1/S_2 < 1$ și R = 0

Pentru toate cazurile analiza a fost făcută prin simularea solidificării unui aliaj Al Si7Mg03, turnat la temperatura de 710 ^{0}C în formă din amestec de formare crud având temperatura de 20 ^{0}C.

Analizând imaginile realizate pot fi trase următoarele concluzii principale, în ceea ce privește locul de amplasare a zonei de ultimă solidificare (a nodului termic), deci a zonei unde este probabilă formarea de retasuri sau microretasuri:

• în cazul a doi pereți cu secțiuni egale, nodul termic, deci zona de ultimă solidificare, va fi chiar în zona intersecției, **Eroare! Fără sursă de referință.**3;

• în cazul a doi pereți în formă cu secțiuni inegale, zona de ultimă solidificare se va situa în peretele cu secțiune mai mare, figurile 4 și 5;

• dacă secțiunea $S_1 < S_2$, Fig. și 7, se formează două noduri termice în peretele S_2, așezate simetric față de zona intersecției, la o distanță cu atât mai mare de aceasta cu cât raportul S_1 / S_2 este mai mic; se poate remarca faptul că la o diferență destul de mică dintre dimensiunile celor doi pereți, locul ultimei solidificări se distribuie și apoi se divide în două zone;

• dacă secțiunea $S_1 > S_2$, Fig. și 6 se formează un singur nod termic în peretele de secțiune S_1, amplasat la o distanță cu atât mai mare față de intersecție cu cât raportul S_1 / S_2 este mai mare; se poate observa că și în această situație nodul termic se deplasează din zona intersecției începând cu diferențe destul de reduse dintre dimensiunile celor doi pereți;

• analizând toate situațiile prezentate în cele figurile 3, 4 și 5 se poate concluziona că aplicarea unei raze de racordare de 10 și 20 mm (situațiile b și c) nu modifică sensibil locul în care se formează zona de ultimă solidificare;

• se pare că aplicarea unor raze de racordare are o influență mai importantă în cazul intersecțiilor T a pereților cu secțiuni egale, situație în care volumul nodului termic format în intersecție va crește pe măsura măririi razei de racordare.

4. Studiul experimental

Pentru studiul experimental al condițiilor de solidificare a intersecțiilor în formă de T, s-a pornit de la presupunerea că în zona în care are loc solidificarea ultimei cantități de lichid se produce o concentrare de microporozități (microretasuri și microsufluri), deci acea zonă prezintă o compactitate mai redusă.

Pentru verificarea rezultatelor obținute prin simulare numerică s-au turnat piese de configurația și dimensiunile prezentate în figura 8, din aliaj pe bază de aluminiu, marca EN AB-Al Si7Mg0,3, în formă din amestec de formare crud.

După turnare piesele au fost secționate au fost secționate în bucăți paralele cu axa intersecției și s-au făcut măsurători de densitate. Modul de secționare și valorile obținute sunt prezentate în figura 9.

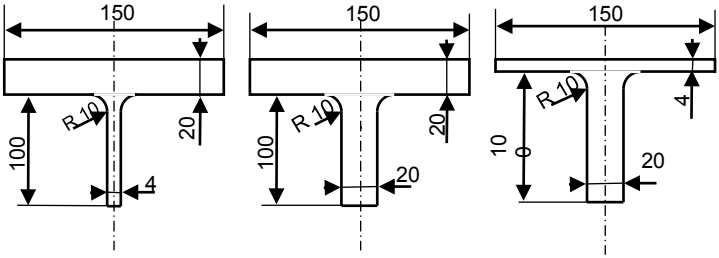

Fig. 8 Piesele turnate pentru analiza experimentală a solidificării unei intersecții în formă de T

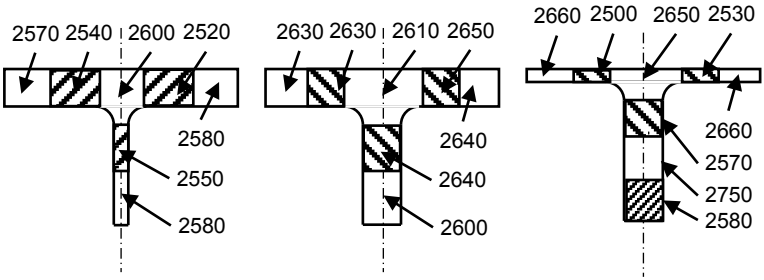

Fig. 9 Gradul de compactitate obținut pentru diferitele zone ale pieselor turnate, kg/m^3

5. Concluzii

Analizând rezultatele obținute experimental și comparându-le cu analizele teoretice abordate se pot stabili următoarele concluzii:

- se poate observa la o primă vedere că la realizarea prin turnare a pieselor, din cauza condițiilor de solidificare diverse, se obțin compactități diferite chiar în zone apropiate și la piese relativ simple, ca în cazul analizat, o intersecție în formă de T a doi pereți;
- analizând valorile obținute pentru densitatea aliajului în zonele secționate, se poate observa că rezultatele experimentale se apropie mai mult de analiza numerică făcută;
- zona de intersecție este nod termic și are o compactitate mai redusă doar în cazul intersectării pereților cu grosimi egale sau foarte puțin diferite;

- în situația intersectării a doi pereți cu grosimi diferite, zona de intersecție are compactitate mai mare decât zonele învecinate, deci în succesiunea solidificării se poate presupune că se solidifică înaintea acestora;
- se poate astfel trage concluzia că și caracteristicile mecanice vor avea valori diferite în zona de intersecție a doi pereți și în vecinătatea acesteia.

Dacă prin analiza solidificării cu ajutorul modulelor de răcire, rezultă că în multe situații zona intersecției este nodul termic, deci zona de ultimă solidificare, analiza numerică și experimentală arată că în puține situații se întâmplă acest fenomen. Diferența poate să apară din faptul că la utilizarea modulelor de răcire se consideră că în suprafețele învecinate cu alte zone nu are loc un transfer termic. Acest lucru este real în prima etapă a solidificării când temperatura este suficient de omogenă în întreaga masă a aliajului. Pe măsură ce pereții cu grosimi mai reduse se solidifică și se răcesc cu viteză mai mare decât pereții mai groși, în suprafața de contact dintre aceștia începe un transfer termic, pereții mai subțiri acționând ca niște răcitori, modificând astfel succesiunea solidificării zonei de intersecție.

BIBLIOGRAFIE

[1] Soporan, V., Lehene, T., *Introducere în teoria turnării și solidificării aliajelor*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj, 2001.
[2] Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Groza, I., Buzatu, M., Marinescu, D., *Elaborarea şi turnarea aliajelor neferoase*, Editura didactică și pedagogică,. Bucureşti, 1982.
[3] * * * ASM *Metals Handbook*, Vol 15 – Casting, pag 1305 – 1310.
[4] Soporan, V., Mărginean, I., Dan, V., Ciobanu, I., Carcea, I., Bratu, C., Firescu, L., Roman, M., Vamoş, C., Riţi-Mihoc, E., Lehene, T., Pavai, C., Monescu, V., și alții*: Modelarea matematică a proceselor care au loc la turnarea pieselor metalice*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj, 2008.

Asist.Drd.Ing. Tiberiu LEHENE
Departamentul Ingineria Mediului și Antreprenoriatul Dezvoltării Durabile,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
membru AGIR
e-mail: Tiberiu.Lehene@imadd.utcluj.ro