



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

ANALIZA COMPUTAȚIONALĂ A TENSIUNILOR MECANICE ÎNTR-O PIESĂ TURNATĂ DIN ALIAJ PE BAZĂ DE ALUMINIU

Tiberiu LEHENE

COMPUTATION ANALYSIS OF MECHANICAL STRESS IN A ALUMINUM ALLOY CASTINGS

This paper presents a theoretical mechanism for the formation of mechanical stresses in aluminium alloy castings EN AC-AI Si7Mg0,3 and the computational analysis of residual mechanical stresses in case of cylindrical parts, moulded from a mixture of green sand and of cast iron. We present a comparison of the values mechanical residual stresses obtained by free and braked shrinkage for this alloy casting.

Keywords: mechanical stress, contraction, aluminium alloy, castings, solidification

Cuvinte cheie: stres mecanic, contracție, aliaj de aluminiu, piese turnate, solidificare

1. Introducere

Tensiunile mecanice de contracție se produc în timpul răcirii pieselor de la temperatura solidus și până la temperatura extragerii piesei din formă, din cauza frânării mecanice a contracției, exercitate de către elementele tehnologice ale piesei, formei de turnare sau miezurilor. Aceste tensiuni apar în domeniul temperaturilor la care aliajul se găsește în starea elastică și se mențin în piesa turnată până când se înlătură cauza care provoacă frânarea contracției libere, în

general momentul extragerii piesei din forma de turnare și a miezurilor din piesă.

Este cunoscut faptul că un corp solid, la care se consideră volumul inițial și dimensiunile inițiale egale cu unitatea, care se răcește de la o temperatură inițială T_{in} la una finală T_{fin} își modifică volumul și dimensiunile liniare conform relațiilor 1 pentru variația volumului și 2 pentru variațiile dimensiunilor liniare:

$$V_{fin} = V_{in} \cdot [1 - \alpha_v \cdot (T_{in} - T_{fin})] \quad (1)$$

$$l_{fin} = l_{in} \cdot [1 - \alpha_l \cdot (T_{in} - T_{fin})] \quad (2)$$

în care:

V_{in}, V_{fin} – volumul inițial și final al piesei, [m³];
 l_{in}, l_{fin} – dimensiunea inițială și finală a piesei, [m];
 α_v, α_l – coeficienții de contracție volumică și liniară a aliajului, pentru intervalul de temperatură considerat, [K⁻¹].

Coeficienții de contracție sunt dependenți de temperatură, deci trebuie utilizați în funcție de intervalul de temperatură la care se face analiza contracției și au valori diferite în funcție de materialul analizat.

Contractia care are loc la răcirea unei piese de la temperatura solidus la temperatura mediului ambiant se poate calcula cu ajutorul relației cunoscute:

$$\varepsilon = \alpha \cdot (T_s - T_{ma}) \quad (3)$$

unde:

T_s – temperatura solidus, °C;

T_{ma} – temperatura mediului ambiant, °C.

În cele ce urmează se va aborda procesul de contracție care este frânat de către factori externi piesei, acest proces fiind cunoscut sub denumirea de contracție frânată. Ca și în cazul contracției libere relațiile pentru determinarea contracției și a tensiunilor sunt similare, cu deosebirea faptului că valorile coeficienților de contracție frânată sunt mai reduse, deci și valoarea contracției în această situație este mai redusă.

Pentru determinarea valorii contracției libere sau frânate se pot utiliza probe sub formă de bară, având aceiași secțiune și lungime inițială, dintre care una are două flanșe la capete, figura 1. Valoarea contracției libere, determinată pe o probă turnată ca cea din figura 1 a, poate fi mai mică decât contracția determinată prin alte metode pe bare care se contractă liber, deoarece în condiții reale de răcire a unei piese

turnate există o oarecare frânare a contracției, chiar dacă piesa nu are proeminențe, prin frecarea acesteia cu pereții forme de turnare.

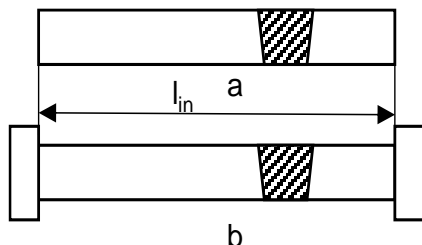


Fig. 1 Probe pentru determinarea contracției:

a – libere; b - frânate

Această frânare are o pondere nesemnificativă în procesul de contracție, motiv pentru care nu se consideră ca o contracție frânată.

Pentru stabilirea parametrilor contracției libere și frânate se poate compara comportarea

celor două probe prezentate în figura 1.

Pentru proba a, care se contractă liber, contracția se poate scrie:

$$\varepsilon_l = \alpha_l \cdot (T_{pe} - T_{ma}) \quad (4)$$

iar pentru proba b, a cărei contracție este frânată de către cele două flanșe:

$$\varepsilon_f = \alpha_f \cdot (T_{pe} - T_{ma}) \quad (5)$$

unde: $\varepsilon_l, \varepsilon_f$ – deformația liberă, respectiv frânată, [%];

α_l, α_f – coeficient de contracție liberă, respectiv frânată, [%/K];

T_{pe} – temperatura e trecere din domeniul plastic în elastic, [K];

T_{ma} – temperatura mediului ambiant, [K].

Dacă se scrie relația tensiunilor utilizând diferența valorilor deplasărilor specifice determinate pentru contracție liberă și frânată se obține:

$$\sigma_{cf} = E \cdot (\varepsilon_l - \varepsilon_f) = E \cdot \left[\alpha_l \cdot (T_{pe} - T_{ma}) - \frac{l_{in} - l_{fnf}}{l_{in}} (T_{pe} - T_{ma}) \right] \quad (6)$$

unde: l_{fnf} – lungimea finală a probei frânate, [m].

Cunoscând coeficientul contracției libere a materialului analizat și constanta de elasticitate a acestuia, cu ajutorul relației (6) se pot calcula tensiunile de contracție dacă se determină scurtarea probei la

răcire frânată, ($l_{in} - l_{finf}$). Se poate observa că în situația în care forma de turnare se opune contracției astfel încât $\varepsilon_f = 0$, adică proba nu se scurtează ($l_{finf} = l_{in}$), tensiunile rezultate au valori maxime:

$$\sigma_{cf} = E \cdot (\varepsilon_1 - 0) = E \cdot [\alpha_1 \cdot (T_{pe} - T_{ma})] \quad (7)$$

Această situație se poate întâlni în practică, în cazul turnării aliajelor în forme metalice, care au o compresibilitate nulă, situație în care valoarea tensiunilor de contracție poate lua valori apreciabile, chiar periculoase, care pot provoca fisuri în piesa turnată.

În cazul limită în care valoarea contracției probei frânate este egală cu valoarea contracției considerate libere, rezultă că tensiunile cauzate de către frânare au valori nule, adică factorii externi nu se opun contracției piesei, aceasta desfășurându-se în mod liber:

$$\sigma_{cf} = E \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_f) = 0 \quad (8)$$

În realitate, la turnarea pieselor, pot fi întâlnite aceste două situații limită dar și foarte multe situații intermediare, la care frânarea externă a contracției depinde de caracteristicile mecanice ale formei de turnare, respectiv forța cu care se opun contracției.

Analizând elementele care concură la formarea tensiunilor de contracție, în situația frânării externe a acestora se poate observa că pe lângă modulul de elasticitate și coeficientul de contracție, care sunt dependente de natura aliajului care se toarnă, mai intervin doi termeni care sunt determinați de către tehnologia de turnare și care pot fi ajustați astfel încât tensiunile formate să nu depășească anumite valori critice. Este vorba despre diferența de temperatură pe care se produce contracția frânată, diferență care poate fi micșorată prin extragerea piesei din formă la o temperatură mai ridicată decât cea a mediului ambiant și compresibilitatea formei de turnare sau a miezului, care depind de natura materialelor utilizate, gradul de îndesare, utilizarea unor armături etc.

2. Analiza computațională a tensiunilor mecanice într-un cilindru turnat din aliaj de aluminiu, Al Si7Mg

Pentru analiza influenței frânării mecanice a contracției în perioada de solidificare și răcire, s-a realizat modelarea pieselor cu ajutorul programului SolidWorks 2012 x 64 Edition și analiza computațională a procesului de solidificare și generare a tensiunilor cu

ajutorul programului NovaFlow & Solid CV. Pentru studiul propus s-a simulat turnarea unor piese cilindrice având diametrul de \varnothing 25 mm și lungimea inițială de 300 mm, din aliaj pe bază de aluminiu Al Si7Mg (EN AC-Al Si7Mg0,3 sau EN AC-Al 42000 conform simbolizării numerice, SR EN 1706:2010), în formă din amestec de formare și aceeași piesă având flanșe la ambele capete, turnată în condiții similare. De asemenea s-a făcut o simulare a solidificării acestor două tipuri de piese turnate din același aliaj, dar în forme de turnare confecționate din fontă cenușie.

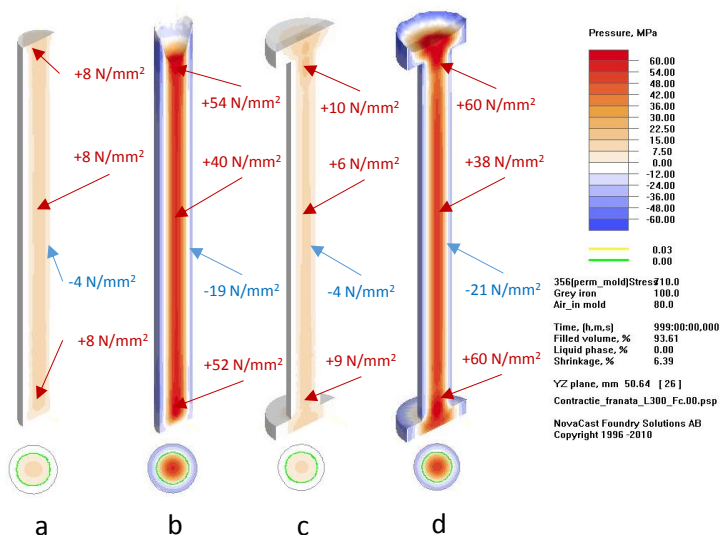


Fig. 2 Valorile și distribuția tensiunilor în piesa cilindrică, cu diametrul \varnothing 25 mm și lungimea 300 mm, la contracție:

*a – liberă în amestec de formare; b – liberă în formă metalică;
c – frânată în amestec de formare; d – frânată în formă metalică*

Rezultatele acestor simulări sunt prezentate în figura 2, fiind într-o relativă concordanță cu descrierea teoretică făcută anterior, arătând că valoarea tensiunilor de turnare maxime generate sunt mai mari în cazul turnării piesei cu flanșe în comparație cu cilindru simplu turnat în aceleași condiții.

Trebuie însă remarcat un lucru interesant și anume că tensiunile generate în piesa cu flanșe, pentru aceleași condiții de turnare, nu cresc semnificativ față de tensiunile generate în piesa cilindrică simplă. Acest fapt poate fi remarcat și mai evident în cazul

turnării pieselor într-o formă cu rigiditate foarte mare cum este cea confecționată din fontă cenușie. Astfel comparând figura 2 a cu figura 2 c și figura 2 b cu figura 2 d, se poate observa că în cazul turnării piesei cu flanșe valorile tensiunilor generate sunt doar cu 2 N/mm^2 , în cazul formei din amestec și până la 8 N/mm^2 , în cazul formei metalice, mai mari decât în cazul piesei fără flanșe.

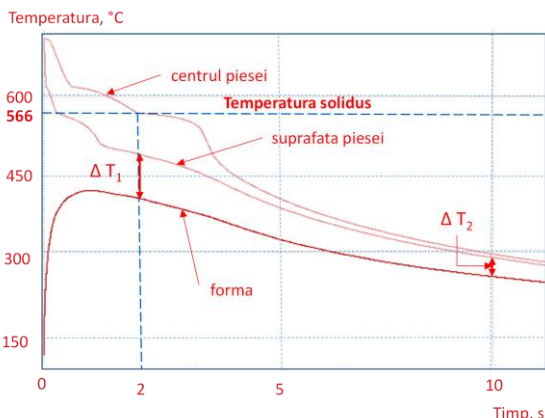


Fig. 3 Variația temperaturilor la centrul și suprafața piesei și în forma de turnare

Din aceste valori rezultă o concluzie interesantă și anume că frânarea mecanică, în ciuda aparentei, exercită o influență destul de redusă asupra generării tensiunilor de turnare, cel puțin în cazul aliajului analizat, Al Si7Mg.

Pentru găsirea unei explicații a acestui aspect, s-a realizat simularea răcirii ansamblului formă

de turnare – piesă, cu amplasarea unor senzori de temperatură în centrul și la suprafața piesei turnate și la suprafața formei de turnare, diagramele de răcire obținute fiind prezentate în figura 3.

Analizând aceste diagrame de răcire se poate observa faptul că la scurt timp după turnare (aproximativ 1 s), temperatura la suprafața formei metalice atinge valori apropiate de $400 \text{ }^\circ\text{C}$, suferind astfel o dilatare corespunzătoare acestor temperaturi, moment la care suprafața piesei atinge temperatura solidus, iar centrul acesteia este încă în stare lichidă, deci tensiunile sunt încă inexistente.

După 2 s de la turnare, când întreaga piesă ajunge în stare solidă, diferența de temperatură dintre suprafața piesei și forma de turnare (ΔT_1) este de doar $86 \text{ }^\circ\text{C}$, iar după 10 s diferența de temperatură dintre cele două puncte (ΔT_2) ajunge la valoarea de $37 \text{ }^\circ\text{C}$, adică o diferență de temperatură destul de mică între cele două suprafețe, ceea ce poate explica faptul că valorile tensiunilor generate de aceste diferențe de temperaturi sunt destul de reduse.

Pe de altă parte, în momentul în care începe contracția piesei în stare solidă și forma se găsește într-o perioadă de răcire și contracție, ambele se contractă concomitent, astfel că efectul de frânare a contracției piesei de către forma de turnare, până la răcire completă este diminuat deci și efectul frânării contracției asupra generării tensiunilor de turnare este mai redus decât cel apreciat inițial.

3. Concluzii

Analizând rezultatele obținute prin simularea procesului de solidificare și formare a tensiunilor în piesele turnate se poate concluziona că procesul de formare a tensiunilor în piesele turnate este foarte complex, dar cauzele principale de apariție a acestor tensiuni pot fi rezumate la următoarele aspecte:

- diferențele de temperatură, respectiv diferențele dintre vitezele de răcire între diferitele zone ale piesei în curs de răcire și frânarea contracției zonei care se răcește cu viteză mai mică de către zona care s-a răcit anterior acesteia;
- frânarea mecanică a contracției piesei turnate sau a anumitor zone ale acesteia cauzate de către elemente exterioare care compun ansamblul de turnare (forma de turnare, miezuri, armături, etc.);
- cauza principală a formării tensiunilor este frânarea, sub o formă sau alta, a contracției libere a aliajului turnat, deci frânarea contracției poate fi considerată printre factorii determinanți pentru apariția tensiunilor într-o piesă în curs de solidificare și răcire la temperatura ambiantă;
- valorile tensiunilor remanente în cazul pieselor turnate din aliaj de aluminiu Al Si7Mg, la care contracția în stare solidă este frânată de către forma de turnare, sunt nesemnificativ mai mari decât în cazul contracției libere a acestor piese;
- analizând situațiile prezentate în figura 2 se poate observa că frânarea mecanică a contracției determină doar o oarecare concentrare a tensiunilor remanente spre capetele pieselor unde valorile sunt ceva mai ridicate, dar în același timp o diminuare a valorilor de la centru piesei;

- luând în considerare toate aceste aspecte se poate concluziona faptul că ponderea tensiunilor mecanice în valorile tensiunilor remanente, în cazul turnării pieselor din aliaj Al Si7Mg, este nesemnificativă în raport cu tensiunile termice generate în piesă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Lehene, T., *Cercetări privind îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale pieselor turnate din aliaje de aluminiu*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2014.
- [2] Bejan, M., Cordoș, M.A., Lehene, T., *Compendii din rezistența materialelor*, vol.3, Editura AGIR, București, Editura Mega, Cluj-Napoca, 2014.
- [3] Riți-Mihoc, E., *Tensiuni interne în piesele turnate*, Editura ALMA MATER, Cluj-Napoca, 2008.
- [4] Porcar, D., *Cercetări privind îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale pieselor turnate în câmp ultrasonic*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2003.

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