

# ANALIZA NUMERICĂ A FORMĂRII ȘI DISTRIBUȚIEI TENSIUNILOR REMANENTE ÎN PIESELE TURNATE\*

Ing. Tiberiu LEHENE, Prof. em. dr. ing. Mircea BEJAN

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

**REZUMAT.** Lucrarea face o analiză a distribuției și valorilor tensiunilor care iau naștere la răcirea unei piese turnate dintr-un aliaj pe bază de aluminiu, de la temperatura de solidificare la temperatura mediului ambiant. Pentru acest studiu s-a conceput o familie de piese, în formă de placă având prevăzute pe o parte nervuri de rigidizare cu dimensiuni diferite. Utilizând programul de simulare a solidificării și formare a tensiunilor în piesele turnate, NovaFlow&Solid, s-a făcut o analiză a modului de repartizare și a valorilor tensiunilor formate la solidificarea și răcirea pieselor turnate dintr-un aliaj EN AC-AI Si7Mg0,3 turnat în formă din amestec de formare crud și în formă metalică, pentru diferite dimensiuni ale nervurilor prevăzute.

**Cuvinte cheie:** tensiuni, aliaje, aluminiu, solidificare, turnate.

**ABSTRACT.** Paper makes an analysis of the distribution and the tensions which take values rise to cooling of castings aluminum-based alloy, at temperature of hardening at ambient temperature. This study was designed as a family of parts, plate-shaped having set out on a part of the stiffening ribs with different sizes. Using the program: rolling back wave simulation and training stresses in castings, NovaFlow & Solid, has done an analysis of how the distribution of stresses and hardening formed upon cooling of castings from an alloy EN AC-AI Si7Mg0,3 cast in the form of training and mixture in metal form, for various sizes of ribs required.

**Keywords:** tensions, alloys, aluminum, solidification, cast.

## 1. INTRODUCERE

Modul de formare și repartizarea tensiunilor remanente la solidificarea și răcirea pieselor turnate, a fost studiat de numeroși autori, în general utilizând regula modulelor de răcire a lui Chvorinov, conform căreia timpul de solidificare și răcire a unei piese sau zonă din piesă este proporțional cu pătratul raportului dintre volumul și suprafața prin care se face transferul termic, (1):

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

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

Autorii aceste lucrări și-au propus să facă o analiză numerică a formării și distribuției tensiunilor remanente în piesele turnate. În acest scop a fost utilizat programul de simulare a solidificării și formare a tensiunilor în piesele turnate, NovaFlow&Solid pentru mai multe tipuri de piese și condiții de turnare.

## 2. FORMAREA ȘI DISTRIBUȚIA TENSIUNILOR TERMICE ȘI MECANICE ÎN PIESELE TURNATE

### 2.1. Distribuția tensiunilor termice în piesele turnate

Cu ajutorul programului de simulare a solidificării și formării tensiunilor NovaFlow & Solid, s-a făcut o analiză numerică a distribuției și valorilor tensiunilor de turnare pentru o piesă cilindrică, cu contracție liberă. Astfel prin simularea solidificării și răcirii unei bare rotunde cu diametrul de 50 mm și lungimea de 150 mm, turnată din aliaj de aluminiu EN AC-AI Si7Mg0,3 în două forme diferite, una din amestec de formare clasic și una metalică, s-au obținut rezultatele prezentate în figura 1.

Deoarece la piesa prezentată în figura 1, prin forma pe care o are nu este împiedicată contracția, se poate presupune că tensiunile formate sunt numai de natură termică. Acest lucru este evidențiat și de faptul că în cele două situații distribuția tensiunilor este asemănătoare, dar în cazul din figura 1 b, transferul termic fiind mult mai intens, tensiunile au valori mult mai ridicate. Se mai poate observa faptul că tensiunile

\* Lucrare prezentată la Simpozionul „Progresul tehnologic – rezultat al cercetării”, București, 22 mai, 2014.

## ANALIZA NUMERICĂ A FORMĂRII ȘI DISTRIBUȚIEI TENSIUNILOR REMANENTE

pozitive se formează în zona cu viteză de răcire mai mică iar cele negative în zona cu viteză de răcire mare.

Influența diferenței vitezelor de răcire între pereți de grosimi diferite legate solidar, asupra formării tensiunilor termice remanente, în piesele turnate este prezentată în figura 2, prin simularea solidificării și răcirii unei piese în formă de T, cu cei doi pereți de grosimi diferite, turnată din aliaj EN AC-AL Si7Mg0,3, în

formă metalică. Ca și în cazul piesei cilindrice, contracția piesei din figura 2 fiind liberă, tensiunile formate sunt de natură termică și sunt distribuite similar, în funcție de viteza de răcire a celor două zone ale piesei cu pereți inegali. Deoarece s-a simulat turnarea în formă metalică unde transferul termic este foarte intens, valorile tensiunilor formate sunt ridicate.

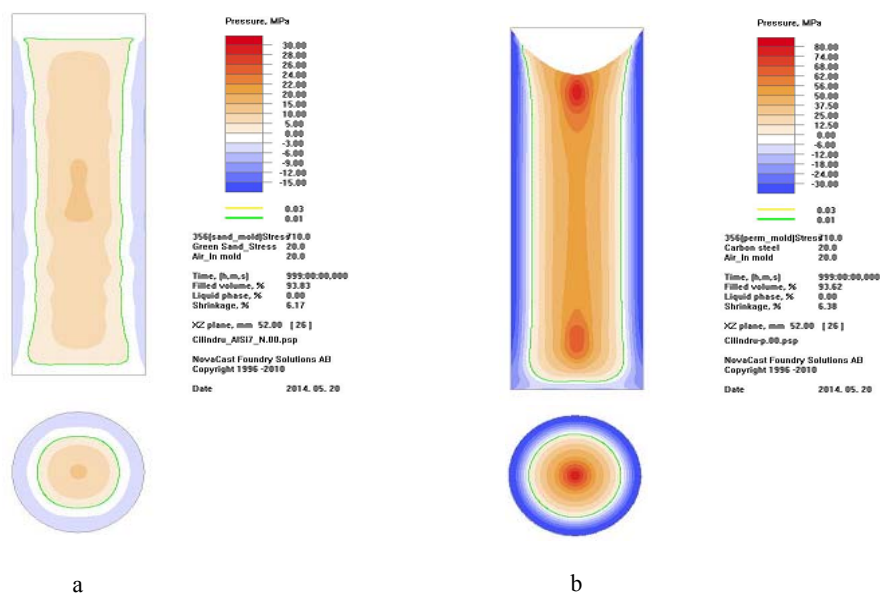


Fig. 1. Modul de repartizare și valorile tensiunilor remanente termice în cazul unei piese cilindrice turnate din aliaj EN AC-AL Si7Mg0,3:  
*a* – în amestec de formare; *b* – în formă metalică.

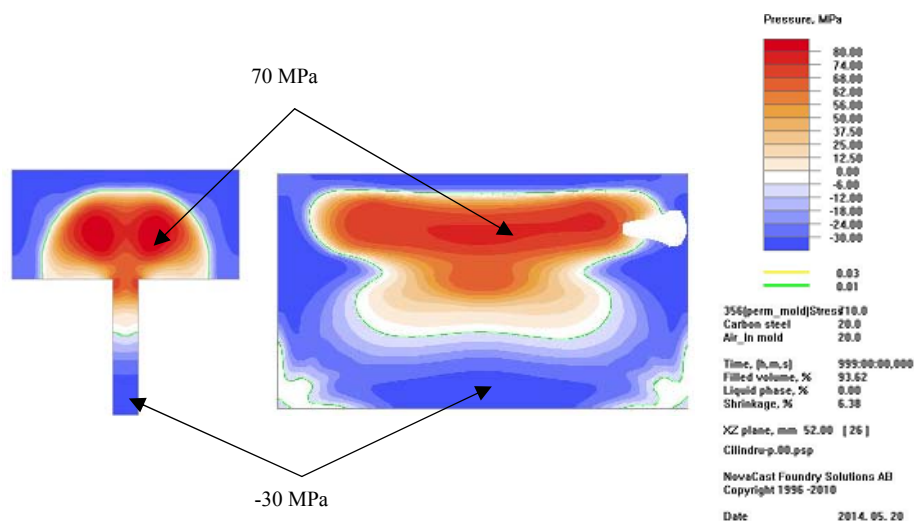


Fig. 2. Modul de repartizare și valorile tensiunilor remanente, [MPa], într-o piesă în formă de T cu grosimi inegale, turnată din EN AC-AL Si7Mg0,3.

## 2.2. Distribuția tensiunilor mecanice în piesele turnate

Realizând simularea pentru 3 probe din același material, EN AC-AL Si7Mg0,3 turnate în trei situații diferite: în formă din amestec de formare clasic cu

contracție liberă și frânată și în formă metalică cu contracție frânată, s-au obținut rezultatele prezentate în figura 3.

În figura 3 *a* este prezentat rezultatul formării tensiunilor (termice) în cazul contracției libere și se poate observa că valoarea acestora este aproape nesemnificativă. În cazurile prezentate în figura 3 *b*

și  $c$ , unde piesei  $i$  s-au atașat două flanșe la capete, valorile tensiunilor remanente formate au crescut semnificativ, diferențele de valori provenind din tensiunile mecanice cauzate de către contracția frânată a pieselor, care s-au suprapus tensiunilor

termice formate în cazul contracției libere. Se poate observa că valorile tensiunilor remanente sunt cu atât mai mari cu cât forma de turnare opune o rezistență mecanică mai mare, contracției piesei turnate.

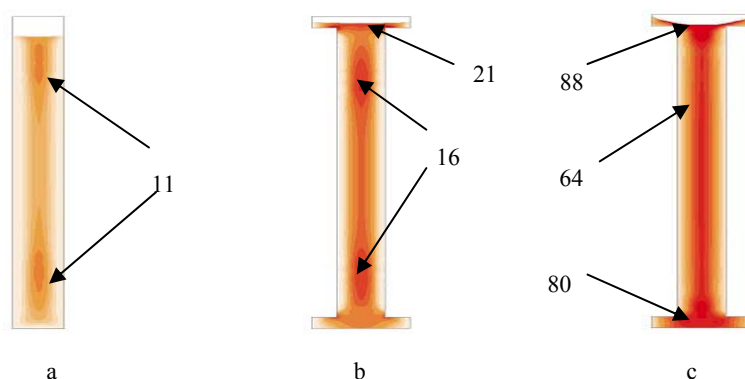


Fig. 3. Valorile și distribuția tensiunilor în probele de contracție, [MPa]:  
 a – liberă; b – frânată în formă din nisip; c – frânată în formă metalică.

### 3. FORMAREA ȘI DISTRIBUȚIA TENSIUNILOR REMANENTE ÎN PIESE TURNATE COMPLEXE

Pentru a evidenția influența complexă a factorilor termici și mecanici care determină formarea tensiunilor de turnare remanente, în piesele turnate, s-a realizat simularea solidificării și răcirii, pentru piese tip placă cu nervuri, turnate din aliaj având mai multe caracteristici dimensionale, diferite, pentru a putea observa influența acestora asupra repartizării și mărimii tensiunilor de turnare. Rezultatul simulării pentru o placă având raportul dintre înălțimea nervurilor,  $h$  și înălțimea totală a piesei,  $H$  de 16/20, iar razele de racordare dintre nervuri,  $R = 2$  mm, turnată

din aliaj EN AC-Al Si7Mg0,3, în formă din amestec clasic, este prezentat în figura 4.

Pentru o placă care are raportul  $h/H = 16/20$ , dar razele de racordare dintre nervuri  $R = 15$  mm, distribuția tensiunilor de turnare remanente se prezintă în figura 5, pentru piesa turnată în amestec de formare clasic și în figura 3.3 pentru aceeași piesă turnată în formă metalică.

În astfel de piese mai complexe, asupra mecanismelor de formare a tensiunilor acționează mai mulți factori care determină formarea atât a tensiunilor termice cât și a celor mecanice. În cazurile prezentate în figurile 4, și 5 se poate observa influența razei de racordare asupra valorilor tensiunilor remanente, iar în figura 6 influența compresibilității forme de turnare.

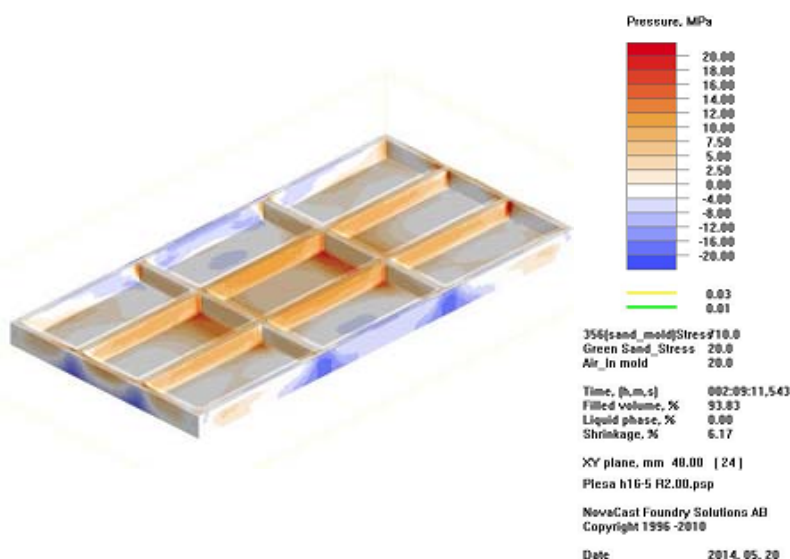


Fig. 4. Distribuția tensiunilor de turnare remanente într-o piesă tip placă cu nervuri având raportul  $h/H = 16/20$  și  $R = 2$  mm.

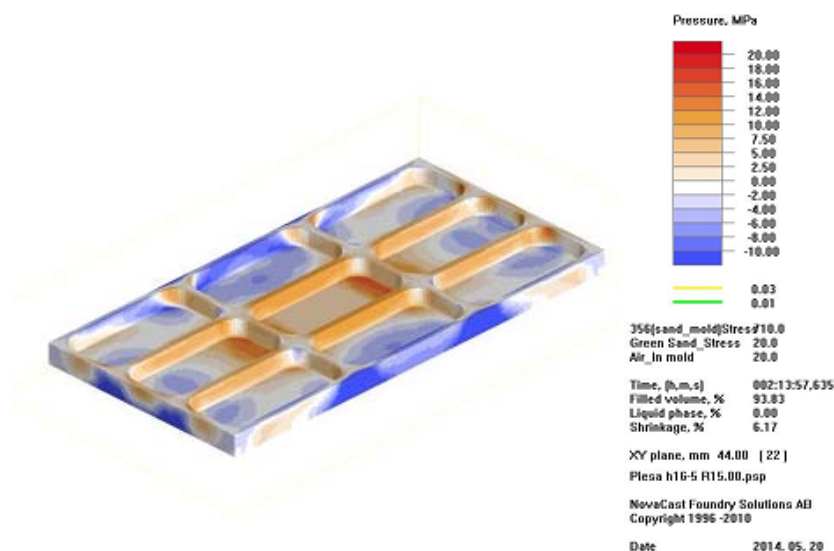


Fig. 5. Distribuția tensiunilor de turnare remanente într-o piesă tip placă cu nervuri având raportul  $h/H = 16/20$  și  $R = 15$  mm.

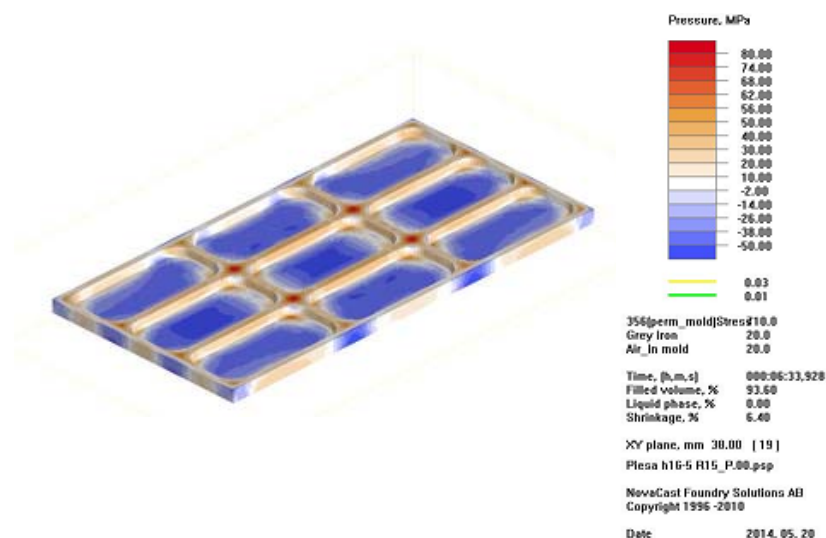


Fig. 6. Distribuția tensiunilor de turnare remanente într-o piesă tip placă cu nervuri având raportul  $h/H = 16/20$  și  $R = 15$  mm, turnată în formă metalică.

## 4. CONCLUZII

Analizând rezultatele numerice prezentate se poate concluziona că apariția tensiunilor remanente în piesele turnate este un fenomen foarte complex care depinde de o multitudine de factori dintre care cei mai importanți sunt:

- caracteristicile termofizice și mecanice ale aliajului turnat;
- caracteristicile termofizice și mecanice ale formei de turnare;
- complexitatea și caracteristicile dimensionale ale piesei turnate;
- elemente care țin de procedeul de turnare și elemente tehnologice aferente;

Se poate observa o diferență semnificativă între valorile tensiunilor care iau naștere în cele două situații

prezentate în figura 2.1, chiar dacă este vorba de aceeași piesă și același aliaj. Această situație se poate explica prin modificarea condițiilor de transfer termic dintre aliaj și forma de turnare, respectiv mărirea vitezei de răcire a piesei turnate în formă metalică.

Rezultatele prezentate arată în mod clar că valoarea tensiunilor remanente formate sunt cu atât mai mari cu cât forma opune o rezistență mai mare contracției.

În ceea ce privește mărirea tensiunilor remanente, se poate observa că sunt situații în care acestea au valori semnificative în comparație cu caracteristicile mecanice ale aliajului analizat. De exemplu în cazul contracției frâmate, figura 3 c, valorile maxime ale tensiunilor remanente sunt de 80–90 N/mm<sup>2</sup>, iar pentru aliajul analizat valorile rezistenței la rupere sunt de ordinul 220–260 N/mm<sup>2</sup>, iar limita de curgere 150–190 N/mm<sup>2</sup>.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] Bejan, M., Simion, M., Cherecheș, I.A., Lakatos, G.D., Vidican, I., *Compendii din Rezistența materialelor*, Vol. 1 și Vol. 2, Editura AGIR, București și Editura MEGA Cluj-Napoca, 2013.
- [2] Bejan, M., Cordoș, M.A., Lehene, T., *Compendii din Rezistența materialelor*, Vol. 3, Editura AGIR, București și Editura MEGA Cluj-Napoca, 2014.
- [3] Bejan, M., *Rezistența materialelor*, Vol. 1 și Vol.2, Editura Academiei Române București și Editura MEGA Cluj-Napoca, 2007.
- [4] \* \* \* *Solidification Processes for Foundry and Cast-House*, 1984, CIATF.
- [5] Soporan, V., Constantinescu, V., Crișan, M., *Solidificarea aliajelor, preliminarii teoretice*, Transilvania Press, Cluj-Napoca, 1995.
- [6] Soporan, V., Vamos, C., Pavai, C., *Modelarea numerică a solidificării*, Editura Dacia, Cluj – Napoca, 2003.

---

### Despre autori

Ing. **Tiberiu LEHENE**

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Absolvent al Institutului Politehnic din Cluj-Napoca, Facultatea de Mecanică, Secția Turnătorie, promoția 1982. Doi ani producție la Întreprinderea Mecanică Oradea și din 1984 activitate didactică și de cercetare în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului. Specializare la Centre Technique des Industrie de la Fonderie, Sevre, Franța, în cadrul programului TEMPUS JEP 2781-92, cu tematica „Sisteme model de studiu al Științei Materialelor de către ingineri”. Competențe profesionale: proiectarea tehnologiilor de realizare a pieselor prin turnare, elaborarea și turnarea aliajelor feroase, elaborarea și turnarea aliajelor neferoase.

Prof. em. dr. ing. **Mircea BEJAN**

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Membru fondator, președintele Filialei Cluj a AGIR și membru al Consiliului Director al AGIR, vicepreședinte al Asociației de Standardizare din România – ASRO. Profesor universitar emerit, dr.ing. Universitatea Tehnică din Cluj Napoca – rezistența materialelor. Autor a numeroase cărți, studii și articole de specialitate publicate pe plan național și internațional. Editorul a 27 de volume *Știință și Inginerie*. Organizatorul multor conferințe, simpozioane, mese rotunde. Conducător de doctorate în domeniul ingineriei mecanice. Nominalizări: *Dicționarul specialiștilor – un Who's Who în știința și tehnica românească*, Editura tehnică, București, 1998, vol. II, pag. 40; *Enciclopedia Who's Who în România*, București, 2002 (pag. 52); microenciclopedia, *Rătăcind printre mecanicieni* (pag. 112), Editura TODESCO, Cluj Napoca; *Personalități clujene (1800-2007) - dicționar ilustrat*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca, 2007 (pag. 54); *Elite clujene contemporane – Cluj Contemporary Elites*, Editura Clear Vision, Cluj Napoca, 2009 (pag. 85-102); în *Who is Who, Enciclopedia personalităților din România*, ediția a 4-a, 2009; ediția a 5-a, 2010; ediția a 6-a, 2011; ediția a 7-a, 2012; enciclopedia *Bârgăoani de top. O carte (incompletă) a spiritualității bârgăoane*, ediția I-a, Editura KARUNA BISTRITA, 2009 (pag. 337-345), ediția a II-a, 2010 (pag. 335-343); *Enciclopedia identității românești*, București, 2011 (pag. 83).