



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## **EVOLUȚIA TENSIUNILOR REMANENTE**

### **Partea I**

Ioan Aurel CHERECHEȘ, Mircea BEJAN, Ilarie IVAN

## **EVOLUTION OF RESIDUAL STRESSES**

### **Part I**

In this paper, the authors study the residual stresses that arise in a stress lattice during casting. The residual stresses are firstly determined experimentally and secondly simulated using a numerical method (control volume) for method validation.

Cuvinte cheie: tensiuni remanente, proba rețea de contracție, turnare, simulare numerică

Keywords: residual stresses, stress lattice, casting, numerical simulation

### **1. Introducere**

În general, tensiunile existente în piesele turnate au consecințe negative asupra acestora. Astfel, tensiunile remanente pot să producă deformări în piesele aflate în exploatare, care au urmări deosebit de grave pentru buna funcționare a unor mașini sau utilaje care folosesc astfel de piese.

Atunci când o piesă este supusă unui câmp de tensiuni remanente, acestea vor influența proprietățile mecanice ale materialului într-o mai mică sau mai mare măsură, funcție de mărimea și semnul acestora.

Tensiunile remanente din piesele turnate pot să se însumeze ca valoare cu tensiunile care apar în timpul prelucrărilor mecanice sau a funcționării în exploatare, ceea ce poate provoca fisurarea sau chiar ruperea lor [4, 7].

Dacă tensiunile nu depășesc limita de elasticitate a materialului în piesa turnată apar deformări elastice, iar dacă o depășesc, apar deformări plastice, în ultimul caz piesa rămânând deformată. Când tensiunile depășesc rezistența la rupere a materialului în piesă apar fisuri sau crăpături. Tensiunile produse de sarcinile aplicate  $\sigma_s$  se suprapun peste tensiunile remanente  $\sigma_{rem}$ , existente în piesă din procesul de fabricație, obținându-se o tensiune rezultantă  $\sigma_{rez}$  (figura 1.1) [7].

$$\sigma_{rez} = \sigma_{rem} + \sigma_s$$

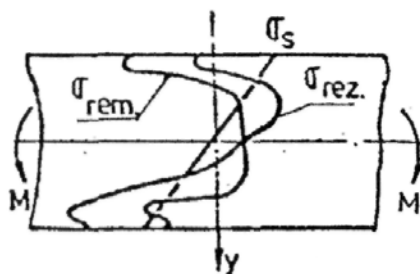


Fig. 1.1 Tensiunile rezultante în exploatare

Din aceste motive problema apariției și manifestării tensiunilor în piesele turnate a preocupat și preocupă în prezent pe mulți producători de piese turnate și pe mulți cercetători din acest domeniu.

Analiza experimentală a determinării tensiunilor remanente din turnare este dificilă și suficient de costisitoare. Din aceste motive în multe laboratoare sau unități de producție se folosește modelarea numerică prin utilizarea unei multitudini de metode de calcul, bazate pe metoda volumelor finite, pe metoda elementelor finite sau a diferențelor finite [3].

## 2. Clasificarea și originile tensiunilor remanente

O reprezentare schematică a clasificării tensiunilor remanente și a cauzelor producerii acestora poate fi urmărită în figura 2.1.

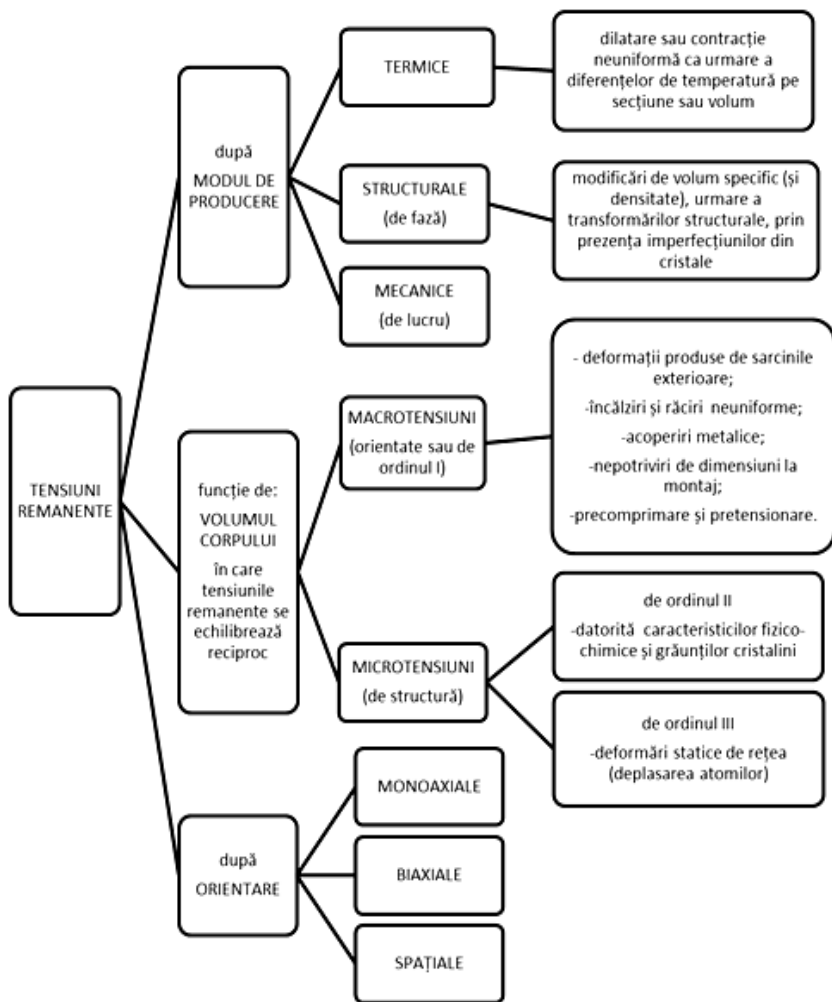


Fig. 2.1 Clasificarea tensiunilor remanente

În tabelul 2.1, se prezintă – sistematic - originile tensiunilor remanente pentru diferite procedee de prelucrare. Se remarcă faptul că în procesul de generare a tensiunilor remanente pot interveni una, două sau mai multe cauze [5].

Tabelul 2.1

Originea Procedeul	Mecanică	Termică	Structurală
Forjare Laminare Sablare Rulare Șoc laser Îndoire Redresare Filare	<i>Deformație plastică omogenă între miez și suprafața piesei</i>	NU	NU
Strunjire Frezare Găurire Alezare Rectificare	<i>Deformație plastică datorată îndepărtării așchiilor</i>	<i>Gradient de temperatură datorat încălzirii în timpul prelucrării</i>	<i>Transformări de fază în timpul prelucrării, dacă temperatura este suficient de ridicată</i>
Răcire bruscă fără transformări de fază	NU	<i>Gradient de temperatură</i>	Nu
Călire superficială cu transformări de fază (inducție, laser, plasmă, metode)	NU	<i>Gradient de temperatură</i>	<i>Schimbări de volum datorită transformărilor de fază</i>
Cementare Nitruare	NU	<i>Incompatibilitate termică</i>	<i>Nou compus chimic cu variație de volum</i>
Sudare	<i>Îmbinare cu flanșe</i>	<i>Gradient termic</i>	<i>Modificări structurale (ZAT)</i>
Brazare	<i>Incompatibilitate mecanică</i>	<i>Incompatibilitate termică</i>	<i>Noi faze de interfață</i>
Depunere electrolitică	<i>Incompatibilitate mecanică</i>	<i>Incompatibilitate termică</i>	<i>Compoziția depunerii, funcție de natura băilor</i>

TURNARE	NU	Gradient de temperatură în timpul răcirii	Schimbare de fază
Depunere la cald cu jet de plasmă, laser	Incompatibilitate mecanică, microfisurare	Incompatibilitate termică, gradient de temperatură	Schimbare de fază a depunerii

### 3. Determinarea tensiunilor remanente dintr-o șarjă de turnare

Teoretic, tensiunile remanente pot avea valori superioare limitei de rupere a materialului. Practic însă, din cauza deformațiilor plastice a materialului, acestea au valori inferioare limitei de elasticitate.

În cazul materialelor casante, valoarea lor poate depăși limita de rupere, ceea ce duce la ruperea materialului, dacă nu se iau măsuri corespunzătoare. În multe cazuri, deși nivelul tensiunilor datorate aplicării sarcinilor exterioare nu depășește limitele admise, s-a constatat totuși fisurarea sau chiar distrugerea construcției inginerești.

În literatura de specialitate consultată există mai multe tipuri de probe pentru determinarea tensiunilor, cum sunt: proba sub formă de „ancoră”, proba „cubică”, proba sub formă de zăbrele (propusă de E. K Henrikson), proba sub formă de coroană excentrică (propusă și folosită pentru determinarea tensiunilor în fonta tunată de A. Le Thomas).

Toate probele folosite s-au bazat pe principiul grosimii inegale a pereților și a diferitelor îmbinări ale acestora.

Pentru determinarea tensiunilor care apar în piese realizate din fontă, O. Bauer și K. Sipp, încă în 1936, au conceput și folosit o probă tip rețea din bare cu grosimi diferite, care este redată în figura 3.1. Ei au adoptat o cale de evaluare a tensiunilor în piesele turnate din fontă prin turnarea acestei probe, în care s-au implantat repere din sârmă din oțel inoxidabil și măsurarea distanței dintre acestea imediat după răcirea probei și apoi după tratamentul termic de recoacere de detensionare [4].

Un experiment asemănător pentru determinarea stării de tensiuni din piesă, a fost realizat de autori (figura 3.2), folosind fontă cenușie EN-GJL-150. Epruveta, simetrică față de axa verticală, are două bare laterale, de secțiuni  $A_1$  și o bară centrală, de secțiune sensibil mai mare,  $A_2$ , precum și două traverse, superioară și inferioară, destul de rigide, spre a putea fi considerate indeformabile.

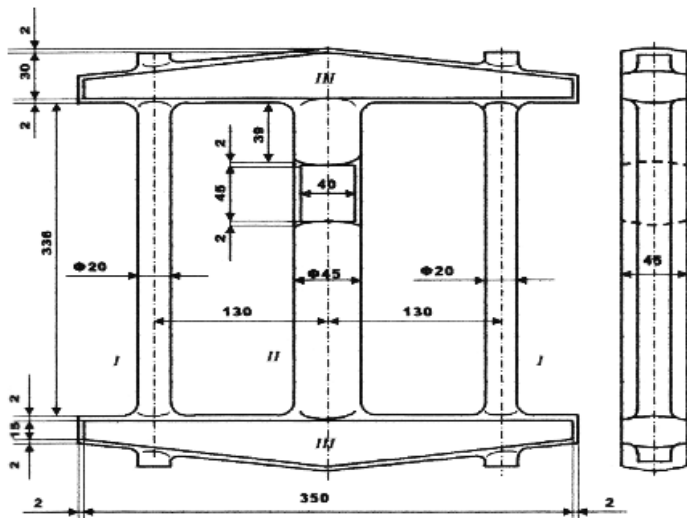


Fig. 3.1 Probă tip "rețea de contracție" după O. Bauer și K. Sipp



Fig. 3.2 Proba tip "rețea de contracție", turnată și secționată

Fie  $\sigma_1$  și  $\sigma_2$  tensiunile remanente necunoscute, considerate uniform distribuite pe secțiunile celor trei bare. În bara centrală, mai groasă, care se răcește ultima, tensiunile sunt de întindere, iar în cele laterale, de compresiune.

Se marchează două repere pe bara centrală, la o distanță măsurată cu ajutorul unui extensometru. Se taie apoi bara centrală între repere ceea ce face ca tensiunile din ea să dispară. Datorită faptului că bara nu mai este întinsă, distanța dintre repere se micșorează cu  $\Delta l = \delta$ . În același timp, în urma tăierii barei centrale, cele laterale se eliberează de tensiunile de compresiune, deci se lungesc, ceea ce are ca efect o îndepărtare a reperelor de pe bara centrală.

Micșorarea distanței dintre repere rezultă deci din suprapunerea unei scurtări datorate eliberării tensiunilor  $\sigma_2$  și unei lungiri, datorate eliberării lui  $\sigma_1$

$$-\frac{\delta}{l} = -\varepsilon_2 + \varepsilon_1 = -\frac{\sigma_2}{E} + \frac{\sigma_1}{E}$$

A doua ecuație se obține din condiția de echilibru a forțelor date de tensiunile remanente

$$A_2\sigma_2 + 2A_1\sigma_1 = 0$$

Rezolvarea sistemului dă valoarea tensiunilor remanente

$$\sigma_1 = -E \frac{\delta}{l} \cdot \frac{A_2}{2A_1 + A_2}$$

$$\sigma_2 = E \frac{\delta}{l} \cdot \frac{2A_1}{2A_1 + A_2}$$

Mărima  $\varepsilon = \frac{\delta}{l}$  se citește direct pe extensometru [2].

În urma măsurărilor efectuate pe bara centrală a probei turnate și examinate, prin înlocuirea valorilor în relația

$$\sigma_2 = E \frac{\delta}{l} \cdot \frac{2A_1}{2A_1 + A_2}, \text{ s-a obținut } 24,14 \text{ N/mm}^2 \text{ sau } 24,14 \text{ MPa.}$$

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Bal, N., *Tensiuni remanente în organe de mașini*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1998.
- [2] Buzdugan, Gh., *Rezistența materialelor*. Editura Academiei Române, București, 1986.
- [3] Leoveanu, I. S., *Utilizarea metodei volumelor finite la analiza numerică a procesului de turnare. Modelarea umplerii formelor de turnare cu complexitate mare*, Buletinul AGIR nr. 4/2007, Editura AGIR, București, 2007.
- [4] Riți – Mihoc, E., *Studii și cercetări privitoare la tensiunile din piesele turnate*. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2003.
- [5] \* \* \* NovaFolw&Solid CV, software help.
- [6] Zirbo, Gh., Dragoș, E., ș.a., *Turnătorie. Îndrumător pentru lucrări de laborator*, Atelierul de multiplicare al Institutului politehnic, Cluj Napoca, 1985.
- [7] Bejan, M., Bal, N., Crețu, A., Bejan Ioana, *Unele aspecte privind determinarea stării de tensiuni remanente*. În: *Analele Universității din Oradea, secția Mecanică, Vibrații și Rezistența materialelor*, 1992, pag. 144-151.

Drd.Ing. Ioan Aurel CHERECHEȘ,  
Departamentul Inginerie mecanică,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, membru AGIR  
e-mail: relu\_chereches@yahoo.com

Prof.Dr.Ing. Mircea BEJAN  
Departamentul Inginerie mecanică,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,  
președintele Filialei Cluj a AGIR  
e-mail: Mircea.Bejan@rezi.utcluj.ro

Conf.Dr.Ing. Ilarie IVAN Departamentul  
Autovehicule Rutiere și Transporturi,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,  
e-mail: ivanilarie@yahoo.com

**NOTĂ:** Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Creșterea calității studiilor doctorale în științe ingineresti pentru sprijinirea dezvoltării societății bazate pe cunoaștere", contract: POSDRU/107/1.5/S/78534, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.