



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2016

TENSIUNI REMANENTE ȘI METODE DE DETENSIONARE A CADRELOR BOGHIURILOR VAGOANELOR DE CĂLĂTORI

Gheorghe Aurel GHERMAN

RESIDUAL STRESS AND METHODS OF STRESS RELIEF FOR COACHES BOGIE FRAMES

The study has pursued experimental determination of residual stresses in the bogie Minden-Deutz that equips coaches Series 209, the efficiency of the applied stress relieving treatment and the possibility to shift towards the dimensional stabilization through vibrations.

Keywords: residual stress, bogie

Cuvinte cheie: tensiuni remanente, boghiu

1. Introducere

Cadrelle boghiurilor vagoanelor de călători pot fi construcții metalice din oțel laminat, din oțel turnat, sau construcții combinate, din elemente laminate și turnate. Pentru realizarea acestor construcții sunt utilizate diferite procedee de sudură. Distribuția neuniformă a temperaturilor în timpul răcirii este cauza producerii unor deformații elasto-plastice care determină formarea de tensiuni remanente.

Structura portantă a boghiului este solicitată în exploatare de sarcini dinamice aleatoare datorate circulației sau șocuri la tamponarea vagoanelor. Aceste solicitări determină tensiuni ale căror valori, deși nu depășesc limitele admisibile, dar care prin cumulara cu tensiunile remanente, pot provoca fisurarea sau chiar ruperea unor elemente din

structura boghiului. Rezultă importanța deosebită a cunoașterii și evaluării tensiunilor remanente pentru adoptarea unor măsuri tehnologice corespunzătoare care să conducă la diminuarea lor.

Studiul efectuat a urmărit determinarea experimentală a tensiunilor remanente la cadrul boghiului tip Minden-Deutz ce echipază vagoanele de călători Seria 209 (figura 1), eficiența tratamentului de detensionare aplicat precum și posibilitatea trecerii la aplicarea procedurii de stabilizare dimensională prin vibrații.

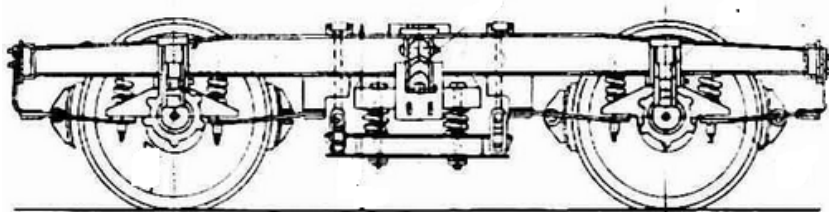


Fig. 1 Boghiul Minden - Deutz

2. Determinarea experimentală a tensiunilor remanente

Sunt cunoscute mai multe metode de determinare a tensiunilor remanente acestea pot fi: distructive, semidistructive și nedistructive [1, 5].

Pentru studiu a fost aleasă metoda semidistructivă a rozetei tensometrice găurite (metoda Mathar). Aceasta este singura metodă legiferată în S.U.A prin standardul ASTE –E 837, mulți cercetători o recomandă ca fiind cea mai de încredere [2, 5].

Măsurătorile experimentale au fost efectuate utilizând rozete tensometrice de tipul 3/120RZ21 de fabricație Hottinger Baldwin Messtechnik [3].

Pentru determinarea experimentală a tensiunilor remanente în centrul rozetelor s-au efectuat găuri de diametru “2a” (figura 2), adâncimea de găurire “Z” s-a realizat progresiv în mai multe trepte până la adâncimea maximă de “2,4.a”.

Considerând direcția de referință, direcția longitudinală a traductorului notat cu (figura.2), se pot determina direcțiile principale α_1 respectiv α_2 și tensiunile principale σ_1 respectiv σ_2 folosind expresiile :

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \cdot \arctan \cdot \frac{\epsilon_a + \epsilon_c - 2 \cdot \epsilon_b}{\epsilon_c - \epsilon_a} \quad (1)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \frac{\pi}{2}$$

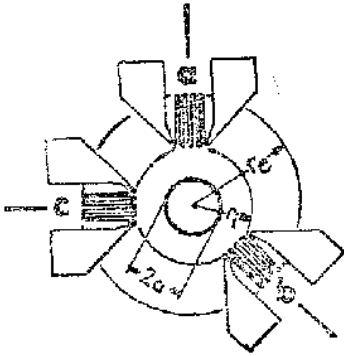


Fig. 2

Rozeta tensometrică
3/120RY21

$$\sigma_1 := -C1 \cdot (\epsilon_a + \epsilon_c) + C2 \cdot \sqrt{(\epsilon_a + \epsilon_c - 2 \cdot \epsilon_b) + (\epsilon_c - \epsilon_a)^2} \quad (2)$$

$$\sigma_2 := -C1 \cdot (\epsilon_a + \epsilon_c) - C2 \cdot \sqrt{(\epsilon_a + \epsilon_c - 2 \cdot \epsilon_b) + (\epsilon_c - \epsilon_a)^2} \quad (3)$$

unde : - $\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_c$ – deformațiile specifice măsurate pe direcțiile a, b, c ale rozetei; - C1, C2 – constante care au expresiile

$$C1 := \frac{E}{4 \cdot A} \quad C2 := \frac{E}{4 \cdot B} \quad (4)$$

prin A respectiv B s-a notat

$$A := \frac{a^2 \cdot (1 + \mu)}{2 \cdot r_i \cdot r_e} \quad B := \frac{2 \cdot a^2}{r_i \cdot r_e} \cdot \left[1 - \frac{a^2 \cdot (1 + \mu) \cdot (r_i^2 + r_i \cdot r_e + r_e^2)}{4 \cdot r_i^2 \cdot r_e^2} \right] \quad (5)$$

- r_i, r_e – raze rozetei conform figurii 2
- E - modulul de elasticitate longitudinal
- μ - coeficientul lui Poisson

Înlocuind valorile: $r_e = 8 \text{ mm}$; $r_i = 5 \text{ mm}$; $a = 2,5 \text{ mm}$; $\mu = 0,3$; $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ au rezultat valorile:

$$C1 = 6.154 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \quad C2 = 2.392 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Folosind o epruvetă din același material din care a fost construit cadrul boghiului, având dimensiunile în concordanță cu dimensiunile indicate în lucrarea [4], prin aplicarea unei solicitări de întindere, au fost determinate experimental valorile constantelor C1 și C2. Valorile experimentale determinate pentru diferite valori ale forțelor

aplicate și adâncimi ale găurii cuprinse între $(1 \div 1,2) \cdot 2a$, diferă cu mai puțin de 1 % față de valorile determinate teoretic.

3. Măsurători experimentale

Pentru măsurarea experimentală a valorilor tensiunilor remanente pe cadrul boghiului tip Minden – Deutz au fost amplasate rozete tensometrice, aceasta fiind reprezentată în figura 3. Direcția de referință a rozetelor tensometrice notată cu “a” a fost orientată după axa longitudinală sau transversală a cadrului boghiului, indicată în tabele cu “L” respectiv “T” .

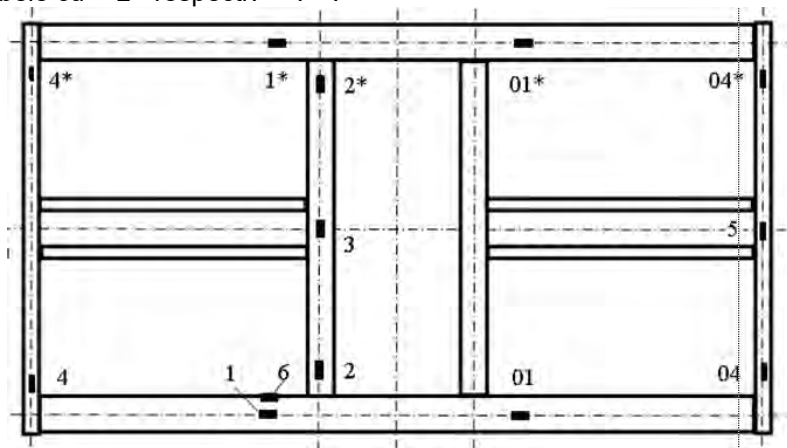


Fig. 3 Amplasarea rozetelor tensometrice pe cadrul boghiului

Măsurătorile experimentale au fost efectuate asupra a 3 cadre de boghiu care au fost echipate cu rozete tensometrice ca în figura 3. în următoarele situații :

- cadru de boghiu nedetensionat;
- cadru de boghiu supus unui tratament de detensionare termică;
- cadru de boghiu stabilizat dimensional prin vibrații.

3.1. Măsurători experimentale pe cadru de boghiu nedetensionat

Rezultatele experimentale obținute prin măsurători pe un boghiu ce nu a fost supus unui tratament de detensionare sunt conținute în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr T.E.R	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	α_1 [grade]	Direcția de referință
01*	256,6	-17,4	27° 43' 45"	L
1*	141,2	-24,3	68° 45' 23"	T
1	195,9	-21,9	106° 48' 18"	T
01	163,1	-19,6	63° 20' 35"	T
6	122,4	68,1	56° 17' 42"	T
2	3,5	-194,9	165° 45' 18"	L
2*	254,1	-45,2	107° 15' 48"	T
3	-22,7	-122,7	165° 34' 7"	T
4	222,3	-26,4	149° 13' 11"	T
4*	-56,4	-291,4	48° 45' 42"	T
04	40,7	-238,6	106° 53' 25"	L
04*	52	-180,8	156° 35' 15"	T
5	15,2	-181,7	115° 26' 43"	L

Se remarcă existența mai multor valori considerabile ale tensiunilor remanente, fapt ce motivează a se lua măsuri care să conducă la reducerea acestora.

În figura 4. au fost reprezentate variațiile tensiunilor principale σ_1 și σ_2 în funcție de adâncimea găurii pentru punctul de măsură 3.

Se constată că pentru adâncimi ale găurii cuprinse în intervalul 5÷6 mm, adică pentru (1÷1,2)·2a tensiunile remanente au valori maxime.

3.2. Măsurători experimentale pe cadru de boghiu supus unui tratament de detensionare termică

În vederea reducerii tensiunilor remanente cadrul boghiului a fost supus unui tratament termic de detensionare conform diagramei din figura 5

Cadrul de boghiu detensionat termic a fost echipat cu rozete tensometrice 3/120-RY21, amplasate ca în figura 3. Au fost efectuate măsurători tensometrice pentru determinarea tensiunilor remanente. Rezultatele măsurătorilor sunt cuprinse în tabelul 2

Se remarcă faptul că în majoritatea punctelor de măsură valorile tensiunilor remanente sunt mai mici.

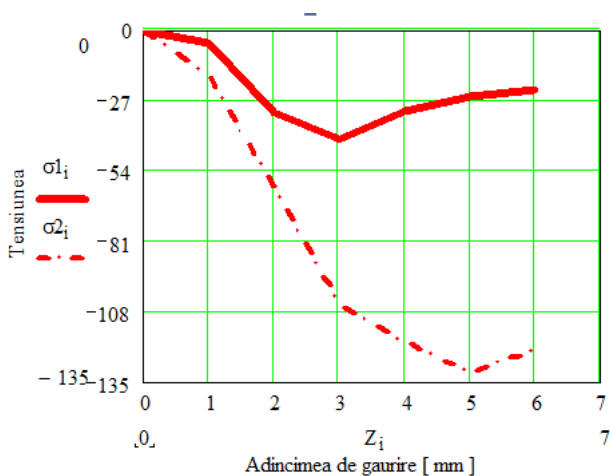


Fig. 4 Variația tensiunilor TER 3

Există valori mari într-un singur punct de măsură (punctul de măsură 1), valoare neconfirmată de punctul simetric 1*.

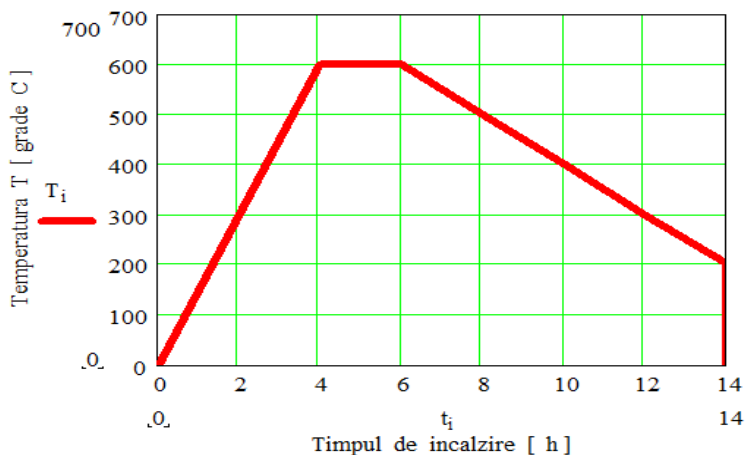


Fig. 5 Diagrama tratamentului termic

Tabelul 2

Nr T.E.R	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	α_1 [grade]	Direcția de referință
01*	29,6	19,9	65° 53' 35"	L
1*	18,2	13,3	93° 25' 33"	T
1	154,6	78,9	26° 38' 58"	T
01	63,1	-19,6	103° 2' 15"	T
6	22,4	48,1	156° 27' 42"	T
2	43,5	-34,9	125° 49' 28"	L

2*	54,1	-35,2	71° 11' 38"	T
3	-32,7	-42,7	65° 44' 19"	T
4	62,3	32,8	9° 12' 21"	T
4*	-19,4	-70,4	68° 25' 32"	T
04	-28,7	-68,6	62° 32' 28"	L
04*	-12,7	-64,8	59° 39' 51"	T
5	39,2	-14,7	5° 46' 33"	L

3.3. Măsurători experimentale pe cadru de boghiu stabilizat dimensional prin vibrații

Programul experimental întreprins a avut ca obiectiv verificarea eficienței introducerii procedurii de stabilizare dimensională prin vibrații ca măsură de reducere a tensiunilor remanente, pentru cadrul boghiului de vagoane de călători.

A fost utilizată o instalație destinată stabilizării dimensionale prin vibrații produsă de I.C.S.I.T – Electroputere Craiova. Tratamentul de vibrare s-a desfășurat conform procedurii de lucru cunoscute, aplicând succesiv câte un regim de vibrare, având 5 frecvențe selecționate, cu menținerea timp de 15 minute pe fiecare frecvență.

În urma aplicării tratamentului de stabilizare dimensională, cadrul boghiului fost echipat cu rozete tensometrice 3/120RY21, amplasate ca în figura 3. Au fost efectuate măsurători tensometrice pentru determinarea tensiunilor remanente. Rezultatele măsurătorilor sunt cuprinse în tabelul 3.

Tabelul 3

Nr T.E.R	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	α_1 [grade]	Direcția de referință
01*	206,6	73,4	71° 33' 25"	L
1*	241,2	54,3	38° 35' 53"	T
1	135,9	-41,9	96° 38' 28"	T
01	143,1	-39,6	66° 27' 45"	T
6	128,4	78,1	58° 27' 32"	T
2	43,5	-164,9	135° 35' 28"	L
2*	204,1	-65,2	77° 55' 38"	T
3	-42,7	-132,7	65° 44' 27"	T
4	162,3	-66,4	129° 43' 31"	T
4*	-86,4	-191,4	38° 25' 42"	T
04	50,7	-228,6	116° 56' 25"	L

04*	62	-170,8	146° 45' 5"	T
5	25,2	-161,7	110° 36' 23"	L

După aplicarea tratamentului de stabilizare dimensională prin vibrații se constată că valori neînsemnate ale deformațiilor au fost eliberate, menținându-se un nivel ridicat al valorilor tensiunilor remanente.

4. Concluzii

În urma studiului efectuat și a desfășurării programului de încercări se desprind următoarele concluzii:

1. În cadrele boghiurilor vagoanelor de călători asamblate prin sudură, există valori considerabile ale tensiunilor remanente, fapt ce motivează necesitatea aplicării unui tratament de detensionare.

2. Detensionarea termică oferă posibilitatea reducerii nivelelor de tensiuni remanente sub valoarea de 70 N/mm², adică cu aproximativ 60 % față de valorile inițiale.

3. Aplicarea tratamentului de stabilizare dimensională prin vibrații a cadrului boghiului de călători nu a condus la rezultate satisfăcătoare. Deci metoda nu este recomandată să fie aplicată la cadrele boghiurilor vagoanelor de călători.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Mocanu, D.R., *Analiza experimentală a tensiunilor*, Vol. 2, Editura Tehnică, București, 1977.
- [2] Mocanu, D.R., *Considerații critice asupra metodelor nedistructive pentru măsurarea tensiunilor remanente*. Seminarul detensionarea prin vibrații, Craiova, 1987.
- [3] * * * H.B.M – Behrlochrosette RY61 mit Zentrier und Bohrhilk , D 24.320, Darmstadt, 1985.
- [4] * * * MEASUREMENT GROUP , Tehn Note TN -503-1, Measurement of Residual Stresses by the Hcle- Drilling Strain Gage Method, S.U.A., 1985.
- [5] Bejan, M., Simion, Mihaela, Cherecheș, I.A., Lakatos, D.Gh., Vidican, I., *Compendii din rezistența materialelor*, vol. 1 și vol. 2, Editura AGIR, București și Editura MEGA, Cluj Napoca, 2013 (Diploma AGIR 2014, București, 11.09.2015).

Prof.Dr.Ing.Gheorghe Aurel GHERMAN
Catedra Desing de Proodus, Universitatea Aurel Vlaicu din Arad,
președintele Filialei Arad a AGIR