

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00514

(22) Data de depozit: 09/07/2018

(41) Data publicării cererii:
30/01/2020 BOPI nr. 1/2020

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ " GHEORGHE
ASACHI " DIN IAȘI,
STR.PROF.DR.DOC.DIMITRIE
MANGERON, NR.67, IAȘI, IS, RO

(72) Inventatori:
• GOANȚĂ VIOREL, STR.SUCIDAVA NR. 5,
BL. 259A, SC. TR.1, ET.5, AP.18, IAȘI, IS,
RO;
• LEIȚOIU BOGDAN, STR.CANTA, NR.5,
BL.459, SC.A, ET.3, AP.3, IAȘI, IS, RO

(54) EXTENSOMETRU PENTRU DETERMINAREA
DEFORMAȚIILOR SPECIFICE LA SOLICITAREA COMPUSĂ
DE TRACȚIUNE TORSIUNE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un extensometru pentru determinarea deformațiilor specifice la solicitarea compusă de tracțiune-torsiune. Extensometrul, conform invenției, este montat pe o epruvetă (10) solicitată compus la tracțiune și la răsucire, și are o bază (1) de susținere a celor două brațe (2 și 3), traversa de capăt, un prim braț (2) rigid, cu secțiune aproximativ constantă, un braț (3) decupat care conține grinzile (4 și 6) elastice de măsurare, fabricate în cruce, respectiv o grindă (4) de tracțiune, utilizată pentru monitorizarea deformației liniare rezultată din solicitarea la tracțiune a epruvetei (10), cele patru mărci (5) tensometrice, două dedesubt, montate pe grinda (4) de tracțiune, o grindă (6) de torsiune, utilizată pentru monitorizarea deformației unghiulare rezultată din solicitarea la torsiune a epruvetei (10), cele patru mărci (7) tensometrice, două în spate, montate pe grinda (6) de torsiune, două piese (8) auxiliare, prevăzute cu câte două extensii, montate cu șuruburi în capetele brațelor (2 și 3) extensometrului, necesare pentru montarea extensometrului pe epruvetă (10), două șuruburi (9) cu vârf ascuțit mai mic de 30°, înfildate în piesele (8) auxiliare și utilizate pentru fixarea extensometrului pe epruvetă (10), epruveta (10) solicitată compus la tracțiune și la răsucire, și niște benzi (11) elastice din cauciuc sau/și arcuri pentru prinderea extensometrului pe epruvetă (10).

Revendicări: 2
Figuri: 9

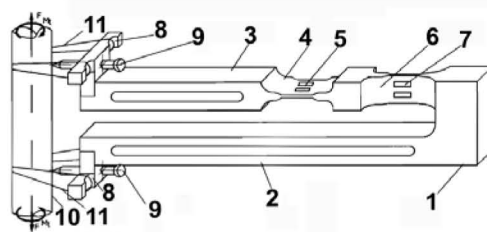
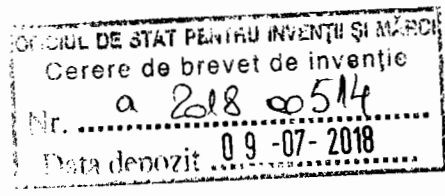


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





EXTENSOMETRU PENTRU DETERMINAREA DEFORMATIILOR SPECIFICE LA SOLICITAREA COMPUSĂ DE TRACȚIUNE-TORSIUNE

Extensometrul descris prin prezenta invenție se utilizează pentru determinarea simultană a deformațiilor specifice liniare (de tracțiune), ϵ , și a deformațiilor specifice unghiulare (de torsiune), γ , atunci când o epruvetă/piesă este solicitată simultan la tracțiune și torsiune. Extensometrul se poate utiliza și separat, atât pentru solicitarea de tracțiune cât și pentru solicitarea de torsiune. Extensometrul se atașează mecanic de epruveta solicitată simultan la tracțiune și torsiune iar cele două traductoare de deformații, de tip grindă instrumentată cu câte patru mărci tensometrice conectate în punți Wheatstone complete, alimentate electric pe o diagonală, vor furniza pe cealaltă diagonală un semnal electric, ce va putea fi transformat, pe baza unui proces de calibrare, în deformații specifice liniare și unghiulare.

Sunt cunoscute dispozitive similare pentru determinarea simultană a deformațiilor specifice introduse ca urmare a solicitărilor **simultane** la tracțiune și torsiune. Câteva dintre acestea sunt:

- Modelul 3550 de la Epsilontech;
- Extensometrul protejat de patentul US4491021;
- Extensometru Axial/Torsional, model MTS 632.68, pentru temperaturi ridicate.

Așa cum se constată din analiza specificațiilor, respectivele dispozitive prezintă următoarele particularități:

- Fiecare dintre extensometrele construite furnizează date precise, fiind calibrate separat cu mare atenție;
- Materialele din care sunt construite sunt de bună calitate și calculate astfel încât să nu introducă erori de măsurare prin deformarea proprie;
- Funcționează într-o plajă relativ mare de deformații;
- Pot fi montate pe probe cu diametre diferite, având posibilitatea de reglare;
- Sunt confecționate dintr-un număr mare de componente – 119 piese pentru al doilea exemplu.

Se observă faptul că, primele două modele prezentate, diferă oarecum între ele, având și destul de multe asemănări. In orice caz, fiecare dintre cele două extensometre utilizează **patru vârfuri de contact** cu epruveta, având o **multitudine de componente adiacente**. Așa cum se va vedea ulterior, prezența celor patru vârfuri, câte două pentru fiecare solicitare **simultane**, exclude



15

modificarea distanței produsă prin torsiune dintre cele două vârfuri ale **traductorului liniar**. La cel de-al treilea model, deformarea epruvetelor se transmite prin brațele adiacente la un sistem de pârghii și bare deformabile care trebuie foarte bine dimensionate și calibrate, fiecare extensometru trebuind să fie calibrat cu mare atenție.

Invenția rezolvă problema determinării simultane a deformațiilor specifice liniare, ε , și a deformațiilor specifice unghiulare, γ , atunci când o aceeași epruvetă este supusă solicitării compuse de tracțiune cu torsiune.

Invenția de față se referă la un dispozitiv, numit, în general, extensometru, conceput pentru a se putea prelua, simultan, două deformații mecanice, transformate de traductoarele de deformații în semnale electrice diferite, care, prin calibrare, să poată conduce la măsurarea cu precizie a deformațiilor specifice liniare, ε , pe de o parte, și unghiulare, γ , pe de altă parte. Fiecare din cele două semnale este dependent doar de procesul măsurat (nu este influențat de celălalt proces de deformare). Extensometrul este conceput astfel încât să se poată fixa cu ușurință pe proba de încercat, **având doar două puncte de așezare pe probă**, putând fi utilizat și pentru încercări ciclice de oboseală la solicitare compusă de tracțiune-torsiune. Extensometrul este compus din două brațe, unul rigid, în raport cu sarcina rezultată din solicitarea acestuia, și altul deformabil elastic. Brațul cu deformare elastică conține două grinzi diferite prin orientarea în raport cu solicitarea. La deformarea epruvetei, ambele grinzi sunt supuse la încovoiere de către două momente încovoietoare perpendiculare între ele și ambele perpendiculare pe axa longitudinală a brațului. Prima dintre grinzi, respectiv cea mai apropiată de vârfurile de așezare, este destinată măsurării *deformațiilor liniare* ale epruvetei ca urmare a solicitării acesteia la *tracțiune*. A doua dintre grinzi, respectiv cea mai depărtată de aceleași două vârfuri de așezare, este destinată măsurării *deformațiilor unghiulare* apărute ca urmare a solicitării la *torsiune* a epruvetei.

Extensometrul descris de această invenție are două traductoare de deformații independente, concepute ca grinzi deformabile preponderent de una din cele două solicitări. Fiecare din cele două grinzi este prevăzută cu câte 4 mărci tensometrice legate în punte completă de tip Wheatstone. Prin utilizarea acestui dispozitiv, fiecare dintre cele două traductoare, care reprezintă totodată un segment al unuia dintre brațele extensometrului, furnizează câte un semnal separat pentru fiecare din deformațiile monitorizate: semnalul pentru deformația liniară și semnalul pentru deformația unghiulară. Datorită modului de conexiune a mărcilor tensometrice, atât teoretic cât și practic, s-a constatat că fiecare traductor produce un semnal „curat”, generat doar de deformația care o monitorizează. Deși fiecare dintre grinzi este deformată la încovoiere în două planuri, **semnalul total furnizat de mărcile tensometrice, ca urmare a deformației produse de momentul de încovoiere „rezidual” (cel destinat încovoierii celeilalte grinzi), va fi zero**. Momentul de încovoiere „rezidual”, pentru fiecare dintre cele două grinzi, este cel care produce deformarea în raport cu fibra neutră poziționată perpendicular pe dimensiunea minimă.

Extensometrul conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- Dispozitivul/extensometrul este simplu, cu foarte puține părți componente (piese);
- Este ușor de montat pe epruvetă având doar două puncte de contact cu epruveta;



- Se poate calibra foarte ușor, așa cum se va constata în cele ce urmează;
- Semnalele preluate de la fiecare dintre cele două traductoare, pe care sunt montate mărcile tensometrice, nu conțin deformații din cealaltă solicitare;
- Cele două grinzi intră în structura unui singur braț al extensometrului;
- Prin dispunerea „în cruce” a celor două grinzi se reduce efectul momentului de încovoiere rezidual, așa cum se va explica ulterior;
- Prin conexiunea electrică în mod corespunzător a celor patru mărci tensometrice de pe fiecare grindă, se elimină semnalul dat de momentul de încovoiere rezidual;
- Traductorul care monitorizează tracțiunea este mai aproape de vârfurile de așezare, iar traductorul care monitorizează torsiunea este mai distanțat de vârfurile de așezare deoarece, în general, deformația produsă de solicitarea de torsiune este mai mică.

Dezavantajul metodelor prezentate în cadrul stadiului actual al tehnicii este acela că, pentru determinarea deformațiilor specifice simultane la tracțiune și torsiune se utilizează dispozitive extrem de complicate, cu foarte multe piese/componente adiționale, ceea ce face ca aceste dispozitive să fie mai puțin fiabile. Pe de altă parte, deși dispozitivele asemănătoare din domeniul tehnicii sunt atent calibrate inițial, furnizând valori corecte pentru deformațiile specifice la tracțiune și torsiune, pe parcursul utilizării se pot ușor decalibra, datorită designului complex și al utilizării multor componente. O recalibrare a acestora poate fi făcută doar de către producător.

Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției și modul de calcul al deformațiilor specifice liniare (la tracțiune) și unghiulare (la torsiune), pe baza datelor achiziționate, conform figurilor:

- În *figura 1* se prezintă desenul de ansamblu al extensometrului montat pe epruvetă, după cum urmează:
 - o 1 – baza de susținere a celor două brațe – traversa de capăt;
 - o 2 – brațul rigid 1, cu secțiune aprox. constantă;
 - o 3 – brațul decupat 2 ce conține grinzile elastice de măsurare, fabricate în cruce;
 - o 4 – grinda utilizată pentru monitorizarea deformației liniare rezultată din solicitarea la tracțiune a epruvetei – „grinda de tracțiune”;
 - o 5- cele patru mărci tensometrice (două dedesubt) montate pe grinda de tracțiune;
 - o 6 – grinda utilizată pentru monitorizarea deformației unghiulare rezultată din solicitarea la torsiune a epruvetei – „grinda de torsiune”;
 - o 7 - cele patru mărci tensometrice (două în spate) montate pe grinda de torsiune;
 - o 8 – două piese auxiliare, prevăzute cu câte două extensii, montate cu șuruburi în capetele brațelor 2 și 3 ale extensometrului, necesare pentru montarea extensometrului pe epruvetă;
 - o 9 – două șuruburi cu vârf ascuțit $<30^\circ$, înfiletate în piesele auxiliare 8 și utilizate pentru fixarea extensometrului pe epruvetă;
 - o 10 – epruveta solicitată compus la tracțiune și la răsucire;
 - o 11 – benzi elastice din cauciuc sau/și arcuri pentru prinderea extensometrului pe epruvetă.

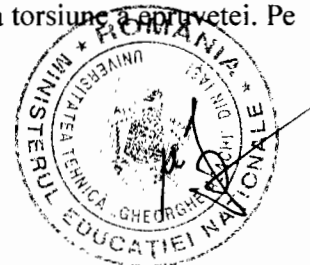


- În *figura 2* se prezintă modul de amplasare a mărcilor tensometrice pe cele două grinzi de lucru precum și modul de acțiune a momentelor de încovoiere provenite din deplasarea vârfurilor de așezare ale extensometrului la deformarea epruvetei prin solicitările de tracțiune și torsiune.
- În *figura 3* se arată modul în care se compun fiecare din cele **două punți Wheatstone**, una ce conține cele patru mărci tensometrice de pe grinda pentru tracțiune și cea de-a doua ce conține cele patru mărci tensometrice amplasate pe grinda pentru torsiune.
- În *figura 4* este prezentată solicitarea de tracțiune a epruvetei de calibrare cu extensometrul montat în vederea determinării *constantei de calibrare la tracțiune*.
- În *figura 5* se prezintă graficul obținut ca urmare a solicitării unei epruvete de calibrare la tracțiune. În abscisă sunt citirile deformațiilor indicate de extensometru, iar în ordonată sunt deformațiile specifice liniare (la tracțiune), ϵ , preluate de la o marcă tensometrică montată pe o epruvetă de calibrare supusă la tracțiune. Tot în această figură este dată și dreapta de aproximare a acestui grafic.
- *Figura 6* prezintă schema deplasării punctelor de fixare ale extensometrului atunci când se realizează solicitarea compusă de tracțiune cu torsiune.
- *Figura 7* prezintă dispozitivul de calibrare a extensometrului la solicitarea de torsiune. Acest dispozitiv a fost construit în mod special pentru calibrarea extensometrului la solicitarea de torsiune.
 - În *figura 8* se prezintă modul de legare în semipunte Wheatstone a mărcilor de pe proba martor de torsiune;
 - În *figura 9* se prezintă graficul obținut ca urmare a solicitării la torsiune a unei epruvete de calibrare pe dispozitivul prezentat în *figura 7*. În abscisă sunt citirile de la extensometru, iar în ordonată sunt deformațiile specifice unghiulare (la torsiune), γ , preluate de la cele două mărci tensometrice în T (90°), montate la 45° în raport cu axa longitudinală a epruvetei supusă la torsiune pură.

Funcționarea extensometrului este următoarea:

- Se așează vârfurile ascuțite (și tratate termic) ale extensometrului pe epruveta ce urmează a fi solicitată la tracțiune-torsiune;
- Se fixează extensometrul pe epruvetă cu ajutorul legăturilor elastice sau a arcurilor, forțând o ușoară pătrundere a vârfurilor ascuțite în suprafața epruvetei;
- Odată cu începerea solicitării se preiau semnalele de la cele două traductoare de deformații: grinda de tracțiune și grinda de torsiune;
- Cu ajutorul constantelor de calibrare, ce se vor determina conform indicațiilor de mai jos, se vor determina deformațiile specifice **reale** liniare (la tracțiune), ϵ , respectiv unghiulare (la torsiune), γ .

Așa cum s-a amintit anterior, datorită modului de legare a mărcilor tensometrice, atât teoretic cât și practic, s-a constatat că fiecare grindă produce un semnal „curat”, doar pentru deformația pentru care a fost destinată. În *figura 2* se prezintă modul de amplasare a mărcilor tensometrice pe cele două grinzi de lucru precum și modul de acțiune a momentelor de încovoiere provenite din deplasarea brațelor extensometrului prin deformarea la tracțiune și la torsiune a epruvetei. Pe



de altă parte, în *figura 3* este arătat modul de legare electrică a celor patru mărci tensometrice. Legarea electrică în punte Wheatstone a mărcilor de pe **grinda de tracțiune** s-a realizat în ideea măsurării deformației produse de momentul încovoietor M_{zt} . Astfel, semnalul furnizat în acest caz va fi:

$$\varepsilon_{mas} = \varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2} - (\varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c2}) \quad (1)$$

Întrucât toate mărcile furnizează același semnal ε , în modul, cele de compresiune furnizând o valoare negativă a semnalului, vom avea:

$$\varepsilon_{mas} = \varepsilon + \varepsilon - (-\varepsilon - \varepsilon) = 4\varepsilon \quad (2)$$

Același calcul se face și pentru grinda de torsiune.

Atunci când grinda de **tracțiune** este solicitată de **momentul de încovoiere M_{yr}** , *figura 2*, (dat de solicitarea de **torsiune** cu sensul din *figura 2* și denumit **moment rezidual** pentru această grindă), mărcile montate pe grinda de tracțiune se deformează astfel:

- mărcile m_{t1} și m_{c1} dau *deformații de tracțiune* ($+\varepsilon$), fiind pe jumătatea grinzii de tracțiune supusă la tracțiune datorită momentului rezidual M_{yr} ;
- mărcile m_{t2} și m_{c2} dau *deformații de compresiune* ($-\varepsilon$), fiind pe jumătatea grinzii de tracțiune supusă la compresiune datorită momentului rezidual M_{yr} .

Semnale furnizate de cele patru mărci sunt egale în modul, ε , cele de compresiune furnizând semnal negativ. În aceste condiții, având în vedere modul de amplasare și de legare a celor patru mărci tensometrice (a se vedea relația 1), vom avea (în aceeași ordine ca în relația 1):

$$\varepsilon_{mas} = \varepsilon - \varepsilon - (\varepsilon - \varepsilon) = 0 \quad (3)$$

Ca urmare, atunci când grinda de **tracțiune** este solicitată la încovoiere de un moment de încovoiere rezidual M_{yr} , dat de solicitarea de **torsiune**, semnalul traductorului de deformație liniară – grinda de tracțiune, **va fi zero**. Similar, atunci când grinda de **torsiune** este solicitată la încovoiere de un moment de încovoiere rezidual, M_{zt} , dat de solicitarea de tracțiune, semnalul traductorului de deformație de răsucire – grinda de răsucire, va fi zero.

În acest fel, fiecare traductor de deformație va furniza semnale corespunzător solicitării pentru care a fost conceput: tracțiune sau torsiune.

Calibrarea dispozitivului și determinarea deformațiilor specifice reale la tracțiune, ε , respectiv torsiune, γ .

Înainte de a putea fi utilizat pentru determinarea deformațiilor reale apărute ca urmare a solicitărilor de tracțiune și torsiune, luate separat sau simultan, dispozitivul trebuie să fie calibrat.

Calibrarea la tracțiune

Calibrarea la tracțiune are rolul de a pune în concordanță citirile realizate la sistemul de mărci (punte completă Wheatstone) montate pe grinda utilizată pentru tracțiune, cu deformația reală produsă de solicitarea de tracțiune.

Pentru solicitarea de tracțiune se utilizează o epruvetă martor, pe care se montează o marcă tensometrică, dispusă cu liniile grilei paralele cu axa longitudinală a epruvetei, *figura 4*. Această marcă, legată în *sfert de punte* Wheatstone, va furniza, ca urmare a solicitării la tracțiune a epruvetei, deformația specifică reală liniară (de tracțiune), ε_{real} . Atât marca descrisă în *figura 4*, cât



și cele patru mărci de pe *grinda de tracțiune* a extensometrului, se vor lega la un sistem (punte (Vishay de ex.) prevăzut cu alimentare și achiziție de date. Epruveta martor se supune la tracțiune pe o mașină universală de încercat, cu viteză mică, aprox. 1 mm/min, în deplasarea traversei (pistonului). Datele furnizate mai jos reprezintă determinări efectuate cu ajutorul extensometrului construit de noi, proba martor fiind una din oțel R260Mn (1.0624). Cu datele achiziționate de la marca de pe proba martor supusă la tracțiune și de la cele patru mărci de pe grinda de tracțiune a extensometrului (un singur semnal) se trasează graficul din *figura 5*. Se constată că avem o liniaritate bună a acestui grafic, fiind dată și dreapta de aproximare. Ca urmare, prin utilizarea ulterioară a extensometrului, semnalul furnizat de traductorul de deformație liniară a extensometrului, va trebui înmulțit cu **coeficientul de calibrare 20,94** și se va obține deformația specifică liniară (la tracțiune), reală, ε_{real} a epruvetei/pieseii.

Observație: acest coeficient este valabil pentru extensometrul cu caracteristicile, forma, materialul utilizat, dispunerea mărcilor, dimensiunile, etc. construit de noi în acest scop. Pentru orice alt extensometru, construit după descrierea prezentată aici, trebuie să se realizeze calibrarea proprie, obținându-se un coeficient de calibrare la tracțiune, caracteristic respectivului extensometru.

Pentru determinarea deformației specifice, atunci când se realizează simultan și încercarea de torsiune, coeficientul anterior nu este suficient. Trebuie avut în vedere că, odată cu alungirea Δl a porțiunii aflată între punctele de sprijin ale extensometrului de lungime l_0 , *figura 6*, secțiunile transversale ale acesteia se rotesc, unele în raport cu altele, punctul B ajungând în punctul C. Atunci când epruveta este supusă doar la solicitarea de tracțiune, deformația specifică la tracțiune este dată de relația:

$$\varepsilon_{real} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{AB}{OA} \quad (4)$$

în care Δl reprezintă alungirea porțiunii de epruvetă de lungime l_0 .

Atunci când solicitarea este compusă, de tracțiune cu torsiune, punctele de sprijin pe epruvetă ale extensometrului nu mai parcurg distanța AB, ci distanța A'C. Ca urmare, semnalul furnizat de traductorul de deformație liniară a extensometrului va fi mai mare, corespunzător parcurgerii distanței suplimentare B'C. În aceste condiții, semnalul măsurat va conține o eroare ce se poate îndepărta pe baza unei relații de calcul ce se va prezenta în cele ce urmează.

Se definește deformația specifică furnizată de extensometru:

$$\varepsilon_{mas} = \frac{\Delta l'}{l_0} = \frac{\Delta l + B'C}{l_0}$$

iar, pe baza notațiilor din *figura 6*, se pot formula următoarele calcule:

$$B'C = OC - OB' = OC - (l_0 + \Delta l)$$

$$OC = \sqrt{OB^2 + BC^2}$$

$$OB = l_0 + \Delta l$$

$$tg(\gamma) \approx \gamma = \frac{BC}{OB} \rightarrow BC = \gamma \cdot OB = \gamma(l_0 + \Delta l)$$

$$OC = \sqrt{(l_0 + \Delta l)^2 + \gamma^2(l_0 + \Delta l)^2}$$

$$B'C = (l_0 + \Delta l)[\sqrt{\gamma^2 + 1} - 1]$$



Pentru semnalul dat de către *grinda de tracțiune* vom avea:

$$\varepsilon_{mas} = \frac{\Delta l + B'C}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} + \frac{1}{l_0} [(l_0 + \Delta l)(\sqrt{\gamma^2 + 1} - 1)]$$

sau, în funcție de ε_{real} (relația 4):

$$\varepsilon_{mas} = \varepsilon_{real} + [(1 + \varepsilon_{real})(\sqrt{\gamma^2 + 1} - 1)] \quad (5)$$

Din relația (5) se poate deduce:

$$\varepsilon_{real} = \frac{\varepsilon_{mas} + 1 - \sqrt{\gamma^2 + 1}}{\sqrt{\gamma^2 + 1}} \quad (6)$$

Ca urmare, deformația specifică liniară reală, ε_{real} , la solicitarea simultană de tracțiune cu torsiune, se calculează pe baza semnalului furnizat de traductorul deformației liniare (*grinda de tracțiune*), ε_{mas} , și a deformației specifice unghiulare (la torsiune) γ . Deformația specifică la torsiune se determină pe baza semnalului preluat de *grinda de torsiune* multiplicat cu o constantă de calibrare, așa cum se va vedea ulterior.

Un exemplu de calcul, pentru o determinare reală la solicitarea simultană de tracțiune și torsiune, utilizând un extensometru construit pentru măsurarea celor două deformații specifice, este prezentat mai jos.

Date obținute prin măsurare:

- $\varepsilon_{mas} = 600 \mu\varepsilon = 600 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}$, (unde $\mu\varepsilon = \mu\text{m/m}$);
- $\gamma = 250 \mu\varepsilon = 250 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}$.

Pentru deformația specifică liniară, *nemajorată cu coeficientul de calibrare*, va rezulta:

$$\varepsilon_{real} = \frac{600 \cdot 10^{-6} + 1 - \sqrt{(250 \cdot 10^{-6})^2 + 1}}{\sqrt{(250 \cdot 10^{-6})^2 + 1}} = 599,937 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}$$

Eroarea produsă, dacă nu s-ar ține cont de măsurarea porțiunii B'C mărită prin torsiune, ar fi:

$$Er [\%] = \frac{\varepsilon_{mas} - \varepsilon_{real}}{\varepsilon_{real}} \cdot 100 = \frac{600 \cdot 10^{-6} - 599,937 \cdot 10^{-6}}{599,937 \cdot 10^{-6}} \cdot 100 = 0,0105\%$$

Se precizează faptul că, deformațiile specifice, liniare și unghiulare, obținute prin măsurare și date mai sus, s-au determinat pe probe din oțel tenace, în domeniul elastic. Ca urmare, pentru deformații de mărimea celor prezentate, calculul anterior conduce la erori foarte mici și în acest caz se poate considera doar deformația liniară rezultată din măsurarea directă cu *grinda de tracțiune* (înmulțită cu coeficientul de calibrare). Pentru valori mai mari ale deformațiilor specifice, în special a celei rezultate prin torsiune, trebuie determinată deformația specifică la tracțiune cu ajutorul relației (6). Evident că, după acest calcul urmează multiplicarea rezultatului cu constanta de calibrare, care, pentru extensometrul construit de noi, este de 20,94.

Calibrarea la torsiune

Calibrarea la tracțiune are rolul de a pune în concordanță citirile realizate la traductorul de torsiune cu deformația reală produsă de solicitarea de torsiune. În acest scop s-a construit un dispozitiv special, care să solicite o probă martor la solicitarea de torsiune pură. Acest dispozitiv este prezentat în *figura 7* și este compus din:



1. Epruveta martor;
2. Extensometru;
3. Legăturile elastice și/sau arcurile cu ajutorul cărora se fixează extensometrul pe epruvetă;
4. Traductor tensometric format dintr-o rozetă în T (două mărci tensometrice dispuse la 90° una în raport cu cealaltă) și montat cu axa de simetrie la 45° în raport cu axa longitudinală a epruvetei;
5. Rulment radial;
6. Suport rulment;
7. Șurub strângere probă pe pârghie;
8. Capătul epruvetei pe care se aplică momentul de torsiune activ;
9. Îmbinarea cu sudură a suportului rulment 6 de placa de bază;
10. Pârghie de introducere a momentului de torsiune;
11. Piuliță cu ajutorul căreia se deplasează înspre în jos pârghia 10;
12. Șurub fixat pe placa de bază;
13. Arc de susținere a pârgchiei 10;
14. Îmbinarea cu sudură a șurubului 12 de placa de bază;
15. Șurub strângere/încastrare probă pe suport;
16. Suport de capăt;
17. Îmbinarea cu sudură a suportului 16 de placa de bază;
18. Placa de bază;
19. Arcul de susținere orizontală a extensometrului;
20. Suport pentru arcul 19;
21. Îmbinarea cu sudură a suportului 20 de placa de bază.

Funcționarea dispozitivului de calibrare la torsiune este descrisă în cele ce urmează. Proba martor, instrumentată cu rozeta în T pentru măsurarea deformațiilor de răsucire, este fixată în dispozitiv. În suportul 16 epruveta martor este fixată, fără posibilitate de rotire în acest capăt, cu ajutorul șurubului 15. Astfel, se poate spune că acest capăt al epruvetei poate fi considerat încastrat. Pe celălalt capăt al epruvetei este introdus rulmentul 5 care este fixat pe suportul 6. Astfel, acest capăt al epruvetei se poate roti după axa sa geometrică, dar nu se poate deplasa. În acest fel, epruveta este solicitată doar de un moment de torsiune, fără alte solicitări. Tot pe acest capăt al epruvetei se fixează brațul 10. La rotirea piuliței 11, brațul 10 se va roti, creându-se astfel un moment de torsiune (M_t , în figura 7). Gaura de trecere a șurubului 12 prin brațul 10 se execută alungit pe direcția axei longitudinale a pârgchiei pentru a permite rotirea liberă a pârgchiei. Pentru a nu se introduce un moment de torsiune inițial datorită greutății brațului 10 dar și pentru reversibilitatea mișcării brațului, în partea de jos a acestuia s-a introdus un arc de sprijin, capabil, atunci când piulița 11 se desface, să împingă înspre în sus brațul 10. În acest fel, măsurătorile se pot face în dublu sens. În orice caz, la începutul măsurătorilor, cele două punți tensometrice Wheatstone formate, pe de o parte de cele patru mărci de pe grinda de torsiune a extensometrului, (punte completă), iar pe de altă parte de cele două mărci de pe proba martor (conexiune în semipunte), se echilibrează pentru ca semnalul de început să fie egal cu zero, indiferent dacă există sau nu o solicitare inițială în probă, aceasta fiind, oricum, în domeniul elastic și neglijabilă.

Calculul deformației specifice γ , la torsiune:

$$\gamma = 2\varepsilon = \frac{\tau}{G} = \frac{M_t}{G \cdot W_p} = \frac{M_t}{G \cdot \frac{\pi R^3}{2}} = \frac{2M_t}{\pi R^3} = \frac{2M_t \cdot 2(1+\nu)}{E} = \frac{4M_t(1+\nu)}{\pi R^3 E} \quad (7)$$

Relația de calcul (7) de la final este dată doar pentru o eventuală verificare





Cele două mărci montate pe proba martor sunt legate în semipunte, așa cum se poate observa în *figura 8a*. Semnalul măsurat va fi:

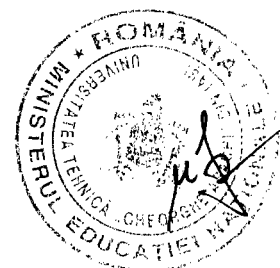
$$\varepsilon_{\text{mas}} = \varepsilon - (-\varepsilon) = 2\varepsilon$$

întrucât una dintre mărci furnizează semnal de tracțiune cealaltă furnizând semnal de compresiune, *figura 8b*.

Ca urmare, semnalul măsurat de la traductorul montat pe proba martor va fi tocmai deformația la torsiune, γ , conform relației (7).

Cu datele achiziționate de la mărcile de pe proba martor supusă la torsiune și de la cele patru mărci de pe grinda de torsiune a extensometrului (un singur semnal) se trasează graficul din *figura 9*. Se constată că avem o liniaritate bună a acestui grafic, aici fiind reprezentată și dreapta de aproximare. Ca urmare, la utilizarea ulterioară a extensometrului, semnalul furnizat de traductorul deformației unghiulare de pe extensometru, va trebui multiplicat cu **coeficientul de calibrare 12,77** pentru a obține deformația specifică reală la torsiune γ .

Observație: acest coeficient este valabil pentru extensometrul cu caracteristicile, forma, materialul utilizat, dispunerea mărcilor, dimensiunile, etc. construit de noi în acest scop. Pentru orice alt extensometru, construit după descrierea prezentată aici, trebuie să se realizeze calibrarea proprie la torsiune, obținându-se un coeficient de calibrare caracteristic respectivului extensometru.



Bibliografie

1. <https://www.epsilontech.com/products/axial-torsional-extensometer-model-3550/>
2. <https://patents.google.com/patent/US4491021>
3. https://www.mts.com/cs/groups/public/documents/library/dev_003705.pdf
4. Goanta V., Rezistența materialelor – noțiuni fundamentale, Ed. „Gh. Asachi” Iași, 2001
5. Mocanu, D.R. ș.a. *Inercarea materialelor*, vol. I, Ed. Tehnică, București 1980



REVENDICĂRI

1. Extensometru pentru măsurarea deformațiilor specifice a unei epruvete/piese supusă la solicitarea compusă de tracțiune cu torsiune **caracterizat prin aceea că** poate determina *simultan* deformațiile specifice liniare, ϵ , și deformațiile specifice unghiulare, γ , pe baza a două traductoare de deformații de tip grindă, cu lățimile perpendiculare una pe cealaltă, practicate într-un singur braț al extensometrului, fiecare dintre aceste grinzi fiind instrumentate cu câte 4 mărci tensometrice conectate în punți Wheatstone complete.
2. Dispozitiv de calibrare la solicitarea de torsiune a extensometrului prezentat mai sus **caracterizat prin aceea că** poate introduce într-o epruvetă de secțiune transversală circulară *doar moment de torsiune*, în ambele sensuri, putând fi utilizat atât în procesul de încărcare cât și în cel de descărcare, iar deformațiile specifice la torsiune rezultă prin achiziția datelor furnizate de rozeta în T aplicată pe epruvetă și formată din două mărci tensometrice conectate în semipunte.



FIGURI

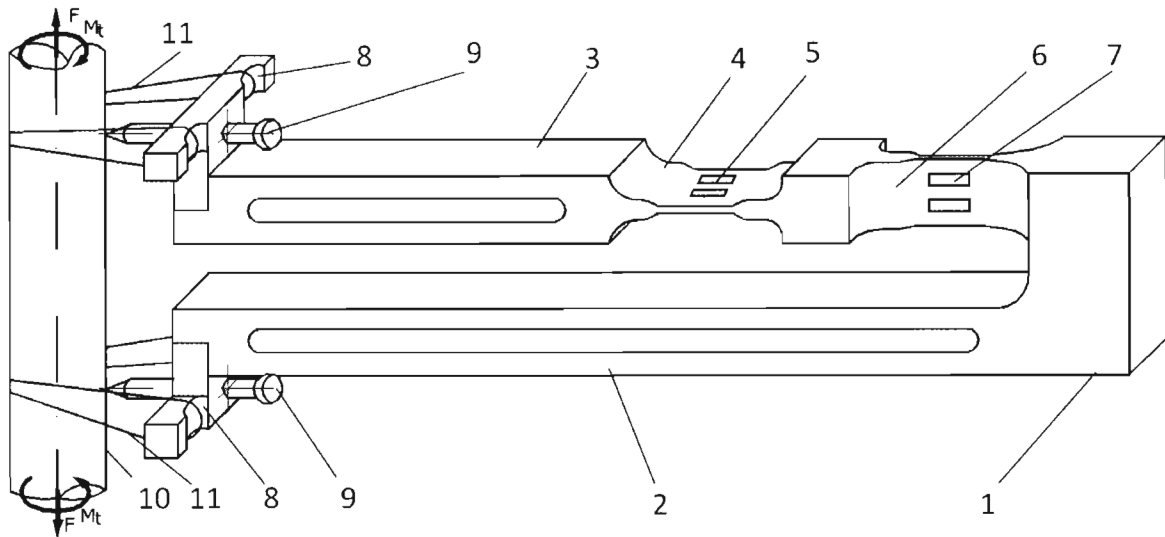


Fig. 1. Desenul de ansamblu al extensometrului montat pe epruveta sollicitată simultan la tracțiune și torsiune

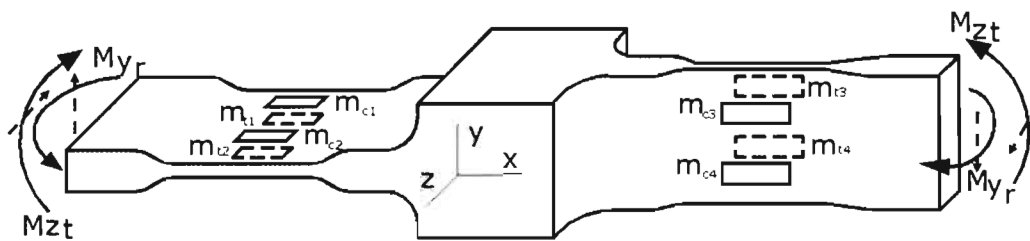


Fig. 2. Modul de amplasare a traductoarelor (mărcilor) electrotensometrice și modul de sollicitare a grinzilor; s-a folosit reprezentarea vectorială a momentelor (săgețile cu linie întreruptă) și reprezentarea prin arc orientat

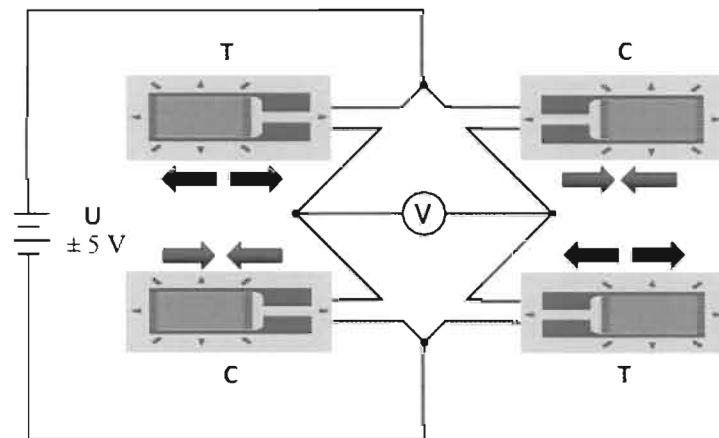


Fig. 3. Montarea celor patru mărci tensometrice două de tracțiune -T și două de compresiune - C (de pe fiecare grindă în parte - tracțiune sau torsiune) în puntea Wheatstone

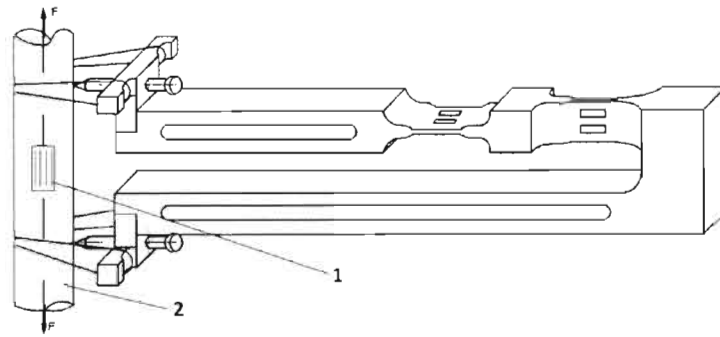


Fig. 4. Solicitarea la tracțiune pentru calibrarea extensometrului a unei epruvete de calibrare cu marcă longitudinală: 1- marcă tensometrică dispusă longitudinal pe epruveta de calibrare; 2- epruvetă de calibrare supusă la solicitarea de tracțiune

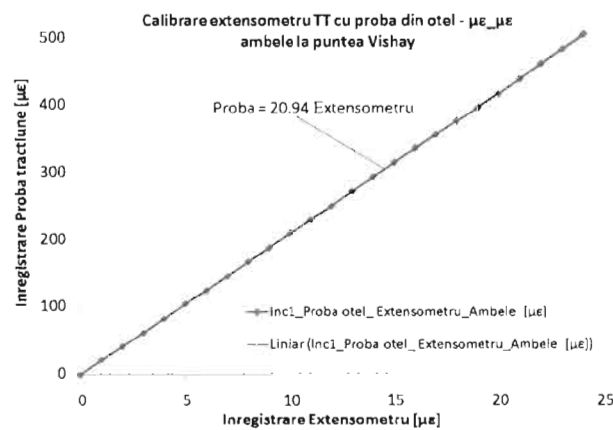


Fig. 5. Calibrare cu toate legăturile punții Wheatstone la puntea Vishay P3 - semnalul de la extensometru în $\mu\epsilon$ și semnalul de la proba martor în $\mu\epsilon$

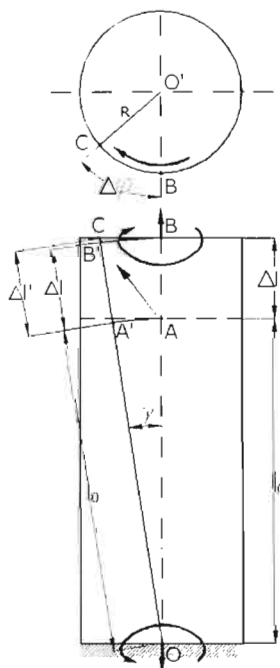


Fig. 6. Schema deplasării punctelor de fixare ale extensometrului pe epruvetă, la solicitarea compusă de tracțiune cu torsiune

4

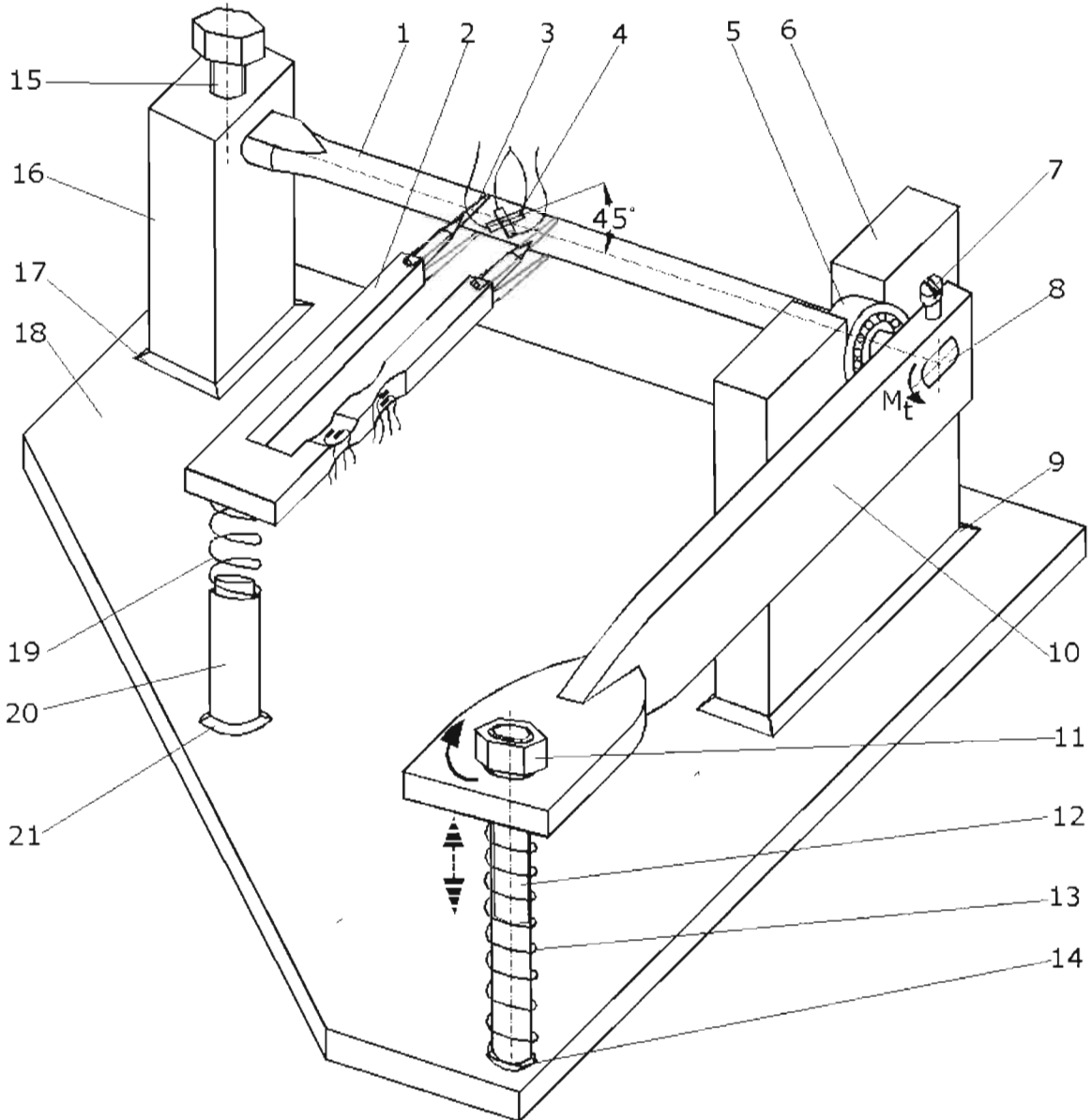


Fig. 7. Dispozitiv de calibrare la torsiune

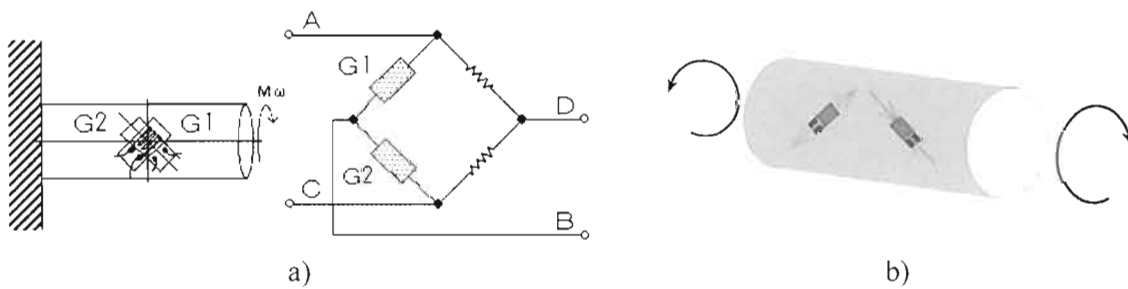


Fig. 8. Măsurarea deformațiilor la torsiune cu ajutorul traductoarelor tensometrice: a - montarea mărcilor G_1 și G_2 în semipunte; b - explicarea-semnalelor de tracțiune/compresiune date de mărci



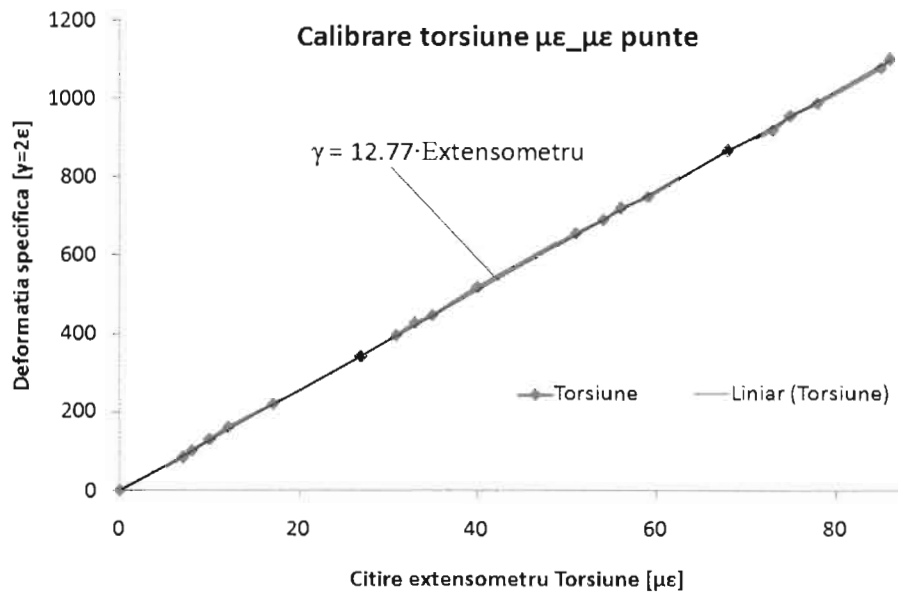


Fig. 9. Calibrare cu toate legăturile punții Wheatstone la puntea VishayP3 - semnalul de la extensometru în $\mu\epsilon$

