

# **EVALUAREA REZISTENȚEI LA OBOSEALĂ A COMPONENTELOR DIN ALIAJ DE ALUMINIU FOLOSITE ÎN DOMENIUL AUTOMOTIVE -REZUMAT-**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul Inginerie Mecanică  
de către

**Ing. Remus Ștefan MĂRUȚĂ**

Președintele comisiei:  
Conducător științific:  
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. Dorin LELEA  
prof.univ.dr.ing. Liviu MARȘAVINA  
prof.univ.dr.ing. Ioan Călin ROȘCA  
prof.univ.dr.ing. Adrian Marius PASCU  
prof.univ.dr.ing. Emanoil LINUL

Ziua susținerii tezei: 5 decembrie 2025

În **primul capitol** este prezentată justificarea alegerii temei ținând cont de faptul că aliajele din aluminiu au o aplicabilitate din ce în ce mai largă în multe domenii de activitate industrială.

Una dintre componentele utilizate în construcția autovehiculelor este țeava; aceasta se utilizează în construcția cadrelor de susținere cât și pentru transportul gazelor sau a fluidelor între diverse subansamble. Legătura între rezervorul de combustibil al autovehiculului și elementele sistemului de alimentare amplasat în compartimentul motor este făcută cu țevi. Sistemul de răcire al motorului termic vehiculează lichidul de răcire între ansamblul bloc motor – chiulasă și radiatorul de răcire prin intermediul țevilor. În instalația de climatizare cu aer condiționat, transportul agentului de răcire între compresor și schimbătorul de căldură se face prin intermediul unor țevi. Radiatoarele de răcire precum și uscătoarele de aer comprimat din instalația de frânare a autocamioanelor sunt realizate din țevi.

În majoritatea situațiilor prezentate mai sus, pe lângă faptul că interiorul țevilor poate fi supus la acțiunea corozivă a fluidului transportat, materialul din care este confecționată țeava fiind ales astfel încât să aibă un comportament optim în această situație, datorită vibrațiilor transmise la caroseria autovehiculului în timpul funcționării, țevile sunt supuse la un efort mecanic suplimentar care duce la fisurarea sau ruperea acestora în zona elementelor de fixare pe caroserie, în dreptul flanșelor de prindere sau în diverse alte zone în funcție de geometria acestora.

Cercetările făcute pe plan mondial asupra comportamentului țevilor fabricate din aliaje de aluminiu prezentate în **capitolul al doilea**, arată importanța care se acordă acestei teme de cercetare.

Pe parcursul duratei de viață, produsele realizate din aliaje de aluminiu se confruntă cu condiții dificile de încărcare ciclică ca urmare a influenței unor factori precum temperatura ridicată, frecarea sau vibrarea sub acțiunea unor forțe perturbatoare, ruperea prin oboseală fiind predominantă în aproximativ 80% din cazurile de defectare a acestora.

Prin urmare, investigarea rezistenței la oboseală a acestor produse prin diverse metode experimentale a devenit din ce în ce mai importantă, fiind evidențiată de numeroasele cercetări în domeniu.

În acest capitol sunt prezentate:

- Testarea la oboseală a țevilor din aliaj de aluminiu 7050
- Testarea la oboseală a țevilor din aliaj de aluminiu D16T
- Testarea la oboseală a țevilor sudate din aliaj de aluminiu extrudat 6082-T6
- Testarea la oboseală a țevilor din aliaj de aluminiu 6063-T5
- Testarea la oboseală a țevilor din aliaj de aluminiu 6063 cu fisură inițială
- Compresiunea cvasi-statică a țevilor din aliaj de aluminiu 6063-T5

În **capitolul al treilea** sunt prezentate Standardele internaționale ale aliajelor de aluminiu care pun în evidență caracteristicile minimale pe care trebuie să le îndeplinească aceste materiale pentru a fi utilizate la parametri optimi.

Standardele ISO sunt standarde elaborate și publicate de către Organizația Internațională de Standardizare, o federație mondială a organismelor naționale de standardizare și sunt utilizate pe scară largă în industrie și laboratoare de cercetare, fiind recunoscute la nivel mondial. Spre deosebire de aceasta, ASTM (Societatea Americană pentru Testare și Materiale) este o organizație non-profit care dezvoltă și publică standarde tehnice pentru o gamă largă de materiale, produse, sisteme și servicii, fiind utilizate în principal în Statele Unite ale Americii, dar sunt recunoscute și la nivel global.

Deasemenea, mai există și alte standarde precum ANSI – Institutul Național American de standarde, DIN – Deutsches Institut für Normung, GOST – utilizat de Consiliu Euro-Asian pentru Standardizare, ș.a, dar au o utilizare mai redusă.

Un anumit material cu proprietăți distincte se poate găsi caracterizat în oricare dintre aceste standarde dar sub denumiri diferite, între ele existând o corespondență. În Tabel 3.1 este prezentată corespondența pentru aliaje de aluminiu în cazul standardelor ISO și ASTM.

Elaborarea standardelor internaționale se desfășoară prin intermediul comitetelor tehnice ISO, la redactarea acestora participând organizații internaționale, guvernamentale și neguvernamentale în colaborare cu ISO. Procedurile utilizate pentru elaborarea documentelor precum și cele destinate întreținerii ulterioare a lor sunt descrise în Directivele ISO/IEC, Partea 1, remarcându-se diferite criterii de aprobare necesare pentru diferitele tipuri de documente ISO. În Tabel 3.2 sunt prezentate proprietățile mecanice al aliajelor din aluminiu conform standardului ISO 6362-2.

Standardul ISO 3522 specifică limitele admise pentru compoziția chimică ale aliajelor de aluminiu obținute prin procedeul de turnare, pentru aplicarea acestuia făcând referință la următoarele standarde ISO. În Tabel 3.3 este prezentată compoziția chimică pentru aliaje de aluminiu obținute prin procedeul de turnare.

În conformitate cu standardele ANSI H35.1, EN 515 și ISO 2107, după denumirea de bază a aliajului pot fi atribuite mai multe caractere care definesc în detaliu stările aliajului de aluminiu, acestea fiind prezentate în Tabel 3.4.

O primă metodă de investigare premergătoare încercărilor la oboseală este caracterizarea statică prezentată în **capitolul al patrulea**. Prin determinarea cu precizie a curbelor caracteristice ale unui eșantion prelevat dintr-un produs, se pun în evidență caracteristicile mecanice ale materialului utilizat.

Pentru a putea fi definită comportarea unui material atunci când este solicitat, pentru început este necesar să fie trasată curba caracteristică prin care se definește relația dintre tensiunea  $\sigma$  și deformația specifică  $\epsilon$ .

Țevile din instalația de climatizare auto pe care le-am ales pentru studiu sunt confecționate din aliaj de aluminiu 3103, primul lot având diametrul exterior de 12 mm și al doilea lot cu diametrul exterior de 18 mm. Țevile cu diametrul de 18mm au fost împărțite în trei grupuri în funcție de forma și dimensiunile flanșei de prindere pe compresorul instalației de climatizare precum și de tehnologia de fabricație a reperului respectiv.

Grupul A a fost format din țevi de climatizare al căror material a provenit din țevi din aliaj de aluminiu livrate sub formă de colac și a căror flanșă de prindere a fost prinsă la capătul țevii prin procedeu de ambutisare.

Grupul B a fost constituit din țevi de climatizare al căror material a provenit din țevi din aliaj de aluminiu livrate sub formă de bară cu lungimea de 6 m debitate prin tăiere la dimensiunea corespunzătoare și a căror flanșă de prindere a fost prinsă la capătul țevii printr-un procedeu de sudură cu material de adaus.

Grupul C conține țevi de climatizare al căror material a provenit din țevi din aliaj de aluminiu livrate sub formă de bară cu lungimea de 6 m debitate prin tăiere la dimensiunea corespunzătoare și a căror flanșă de prindere a fost prinsă la capătul țevii prin procedeu de brazare.

Pentru trasarea curbei caracteristice am făcut teste pe o mașină de încercări la tracțiune de tipul LBG TC100, cu forța maximă de 100kN.

Înainte ca o probă să fie montată pe mașina de încercări, a fost pregătită prin tăierea la lungimea de 220 mm iar la capetele țevii au fost introduse dopuri din oțel pentru a împiedica deformarea acestora la strângerea între bacurile mașinii. Proba a fost prinsă între bacurile mașinii de încercare la tracțiune și au fost setate vitezele cu care se efectuează solicitarea la întindere la valorile de:

- viteza de deplasare lentă = 10 mm/min
- viteza de deplasare rapidă = 50 mm/min

În prima parte a desfășurării încercării a fost montat un extensometru pe proba testată. Curbele caracteristice trasate pe mașina de încercări se pot observa în figurile prezentate pentru fiecare tip de probă testat iar în tabelele corespondente sunt sintetizate rezultatele încercărilor.

În a doua parte a lucrărilor efectuate pentru caracterizarea statică a țevilor din sistemul de climatizare au fost efectuate încercări mecanice statice, valorile rezultate fiind menționate în tabele:

- încercarea la tracțiune pentru punerea în evidență a zonei influențate termic
- încercarea la încovoiere a țevilor cu diametrul de 18 mm
- încercarea la încovoiere a țevilor cu diametrul de 12 mm
- încercarea la torsiune a țevilor cu diametrul de 18 mm

În **capitolul cinci** sunt prezentate încercările la oboseală efectuate în mai multe condiții de încărcare.

**5.1.Încercarea la oboseală la încovoiere.** Am utilizat țevile din aliaj de aluminiu 3103 cu diametrul exterior de 18 mm, din grupurile A și B descrise în capitolul 4.1.2. Au fost testate un număr de 24 probe distribuite în patru grupe de intensitate al stresului, până în momentul în care au apărut fisuri pronunțate în material.

În Fig.5.2. este prezentată diagrama S-N cu rezultatele obținute în urma încercării la oboseală la încovoiere a țevilor din grupa A. Analizând imaginea, se poate observa că în primele două seturi de încercări, atunci când tensiunea aplicată materialului este mai mare, durata de viață a specimenelor testate este reprezentată grupat pentru fiecare caz în parte, dar are o valoare foarte mică. Dacă în cazul în care materialul probei a fost solicitat la o tensiune de 47,22 MPa durata maximă de viață a fost de 23215 cicluri, aceasta a scăzut la un număr de maxim 9031 cicluri pentru solicitarea la tensiunea de 58,70 MPa.

În a doua etapă a încercărilor la oboseală la încovoiere au fost testate țevile din aliaj de aluminiu 3103 din grupa B. În Fig.5.3, este prezentată diagrama S-N cu rezultatele obținute în urma încercării la oboseală la încovoiere putându-se observa că și în cazul țevilor din aliaj de aluminiu 3103 din grupa B, în general valorile sunt grupate, existând și valori extreme mai depărtate de medie. Țevile din grupa A s-au rupt în imediata vecinătate a porțiunii ambutisate de capăt (Fig.5.5) iar țevile din grupa B a căror flanșă a fost sudată de țeavă s-au rupt chiar de lângă cordonul de sudură (Fig.5.6), ceea ce era de așteptat, în zonele respective momentul încovoiator având valoarea maximă.

**5.2 Încercarea la oboseală la torsiune.** Am utilizat țevile din aliaj de aluminiu 3103 cu diametrul exterior de 18 mm, din grupul C, descrise în capitolul 4.1.2. testându-se un număr de 24 țevi distribuite în patru grupe de intensitate al stresului, până în momentul în care au apărut fisuri pronunțate în material sau proba s-a rupt. Rezultatele după desfășurarea primului set de teste sunt prezentate în Tabel 5.9.

Primul set de probe au fost încărcate cu o tensiune mai mare, dar care se situează pe porțiunea liniară a curbei caracteristice din Fig.4.35. Ruperea s-a produs în general la partea unde este montată flanșa (Fig.5.8), dar proba S15C a prezentat o ruptură la jumătatea distanței dintre capete (Fig.5.9).

Al doilea set de încercări a fost făcut cu o tensiune tangențială mai mică cu 9% față de prima încărcare, rezultatele după desfășurarea celui de-al doilea set de teste fiind prezentate în Tabel 5.10 iar în Fig.5.10 este prezentată o țeavă ruptă din acest lot.

Pentru al treilea lot de țevi am setat cursa bielei de acționare a dispozitivului de prindere descris în lucrare la valoarea de 6 mm, corespunzător rotirii capătului acționat al țevii cu un unghi de 1,440°.

Tensiunea aplicată probelor în acest caz a fost de 38 MPa reprezentând 84% din prima încărcare, în Tabel 5.11 fiind menționate rezultatele acestor încercări.

Ultimul set de încercări s-a făcut cu o încărcare de 33 MPa, în Fig.5.12 fiind prezentată o țevă ruptă din grupul C4 și în Tabel 5.12 numărul de cicluri efectuate.

De exemplu, în grupa C1 unde au fost probele solicitate cel mai puțin și teoretic ar fi trebuit să fie un număr de cicluri efectuate mult mai mare decât în oricare din celelalte situații, una dintre țevi a cedat la 88456 de cicluri, rupându-se în zona dintre inelul îmbinării efectuate prin procedeul de brazare și flanșă (Fig.5.14). De asemenea, se remarcă ruperea unei probe din cadrul primei grupe testate la cea mai mare valoare a încărcării, unde fisura apărută în țevă s-a propagat și în flanșă (Fig.5.15).

Prin cercetarea caracteristicilor statice pe care le-am prezentat în capitolul al patrulea am arătat că deși toate țevile de climatizare auto analizate au avut ca materie primă țeava din aliaj de aluminiu 3103, între loturile și tipurile de conducte există diferențe semnificative. Acestea se datorează faptului că probele pentru teste au fost prelevate din componente fabricate cu tehnologii diferite prin care materialul inițial a fost afectat structural.

Dacă în cazul probelor din grupa A țevile au fost deformate plastic prin rularea în colaci de către producător iar fabricantul echipamentelor de climatizare a desfășurat țeava prelucrând-o ulterior printr-o serie de deformări plastice, iar probele din grupa C au fost afectate termic prin procedeul de brazare, este justificat faptul că încercările statice au pus în evidență diferențele dintre caracteristicile celor două seturi de probe prelevate din componente diferite. Testarea pe care am efectuat-o (Fig.4.22 și 4.23) a validat faptul că din cauza unor procese de producție și a utilizării de diferite tehnologii pot apărea comportamente diferite chiar pe o bucată relativ scurtă de eșantion prelevat dintr-un produs.

**5.3. Încercarea la oboseală la frecvența de rezonanță.** Am utilizat cadrul prezentat în Fig.4.33.a confecționat din țevă cu diametrul de 12 mm din aliaj de aluminiu 3103. Pentru determinarea frecvenței de rezonanță am prins cadrul din țevă într-un dispozitiv-suport cu ajutorul a două perechi de bacuri, tot acest ansamblu fiind atașat ulterior pe capul excitator al unui excitator electrodinamic (Fig.5.16). Pe dispozitivul-suport au fost fixate trei accelerometre cu ajutorul unor suporturi magnetici (Fig.5.17.a și Fig.5.17.b), acestea fiind conectate la un sistem de achiziții de date Brüel&Kjær PULSE 9727. Semnalul sinusoidal pentru testare a fost oferit de un generator conectat la intrarea unui amplificator de putere al cărui semnal de ieșire a fost aplicat excitatorului electrodinamic. Prin varierea frecvenței generatorului și reglarea amplitudinii de ieșire a amplificatorului s-a determinat prima frecvență de rezonanță la frecvența de 36 Hz și cea de-a doua la frecvența de 105 Hz (Fig.5.17).

În timpul desfășurării încercărilor, capătul liber al cadrului din țeavă s-a deplasat între vârfurile de test (Fig.5.19) fără să le atingă. La apariția unei fisuri în țeavă, amplitudinea deplasării a crescut astfel încât capătul liber al cadrului a intrat în contact cu vârfurile de testare, iar aparatul electronic de control (Fig.6.12) a comandat întreruperea funcționării excitatorului electrodinamic, pe ecranul aparatului fiind afișat numărul de cicluri efectuate până la apariția fisurii. Fisurile au apărut în zona cu cel mai mare moment încovoietor [137], la marginea bacurilor de prindere (Fig.5.22).

În **capitolul șase** este făcută o prezentare a aparatelor și dispozitivelor proiectate și realizate pentru efectuarea încercărilor statice și a încercărilor la oboseală. Pentru realizarea obiectivelor tezei de doctorat am utilizat echipamente adecvate scopului propus: dispozitive de prindere pe standurile pentru încercări statice și pe mașinile de încercare la oboseală, dispozitive de măsură și control precum și aparatura necesară pentru acestea, majoritatea dintre ele fiind personalizate pentru fiecare tip de țeavă ținând cont de dimensiunea, forma geometrică și tipul de solicitare la care au trebuit testate. Întrucât încercările la oboseală se desfășoară pe perioade mari de timp, este necesar ca dispozitivele și aparatele utilizate la aceste încercări să fie capabile să funcționeze fără întrerupere un timp îndelungat. În aceste condiții, unele aparate trebuie să fie capabile să poată elibera puteri ridicate și să aibă o răcire eficientă.

- Pentru alimentarea bobinei corpului excitator de la excitatorul electrodinamic utilizat, care are un consum de 55 A la o tensiune de 28 V am construit un bloc de alimentare (Fig.6.1).
- În ansamblul bobinei corpului excitator am montat un traductor de temperatură și un senzor de câmp magnetic Reed pentru monitorizarea parametrilor de funcționare.
- Pentru a se asigura o funcționare pe timp îndelungat fără a exista riscul supraîncălzirii amplificatorului de putere Brüel&Kjær 2707, a fost îmbunătățită răcirea acestuia prin adăugarea unui ventilator suplimentar prevăzut cu un modul de acționare electronică (Fig.6.5), comandat de un traductor de temperatură cu termistor care este fixat pe radiatorul tranzistoarelor de putere din amplificator.
- Pentru testarea la tracțiune în cazul încercărilor statice, am proiectat și realizat un troliu electric cu motor pas cu pas (Fig.6.6) care poate asigura o forță de tracțiune de până la 450N și care este aplicată sarcinii prin intermediul unui fir sintetic înfășurat pe toba de cablu a motorului.
- Pentru comanda troliului am proiectat și realizat un montaj electronic care are la bază o placă de dezvoltare Arduino Uno și care comandă o punte H cu ajutorul căreia este acționat motorul pas cu pas (Fig.6.7).

- Deoarece pentru determinarea frecvențelor proprii am avut nevoie de un generator de semnal sinusoidal cu o mare precizie în ceea ce privește reglajul frecvenței generate precum și cu o bună stabilitate în timp, am proiectat și am realizat un Generator de Semnal (Fig.6.9).
- Efectuarea încercărilor la oboseală a componentelor cu masă mai mare sau care necesită forțe mai mari de acționare le-am realizat utilizând o mașină de încercări acționată cu un motor trifazat asincron (Fig.6.11). Volanta cu excentric are prevăzut un șurub de reglaj care permite modificarea distanței dintre axa excentricului și axa motorului, în acest mod reglându-se cursa utilă a bielei.
- Ținând cont de faptul că încercările la oboseală se efectuează până la apariția unor fisuri sau chiar ruperea componentei, timpul de desfășurare al unei încercări poate ajunge la câteva zeci de ore de funcționare neîntreruptă. În acest timp, motorul de acționare care are o putere de 3KW la turația de 1450 rot/min se poate încălzi la temperaturi destul de mari, care îl pot distruge. Pentru a preveni aceasta, am proiectat și realizat un aparat (Fig.6.12) care are rolul de automatizare a procesului de încercare la oboseală, având mai multe funcțiuni: poate comanda automat oprirea mașinii de încercări la ruperea piesei testate, oprește mașina de încercări dacă temperatura motorului depășește o valoare prestabilită, numără și memorează numărul ciclurilor efectuate de mașină până la ruperea piesei testate.
- Pe cadrul mașinii am proiectat și montat un dispozitiv cu barieră cu raze infraroșii care sesizează momentul ruperii piesei testate (Fig.6.15.a).
- Pentru supravegherea ruperii țevii testate la încercare de oboseală la răsucire, am confecționat un dispozitiv care are o placă izolată din punct de vedere electric, fixată pe suportul mașinii (Fig.6.16).
- Pentru efectuarea încercărilor de oboseală am confecționat două piese de legătură care se montează prin strângere pe țeava testată, celălalt capăt fiind prevăzut cu o furcă care se montează pe inelul interior al rulmentului din capătul bielei mașinii. În Fig. 6.17 este prezentată piesa de legătură pentru încercarea de oboseală la încovoiere. În Fig.6.18 se poate observa piesa de legătură dintre țeava testată și biela mașinii în cazul încercărilor de oboseală la răsucire.
- Pentru determinarea amplitudinii maxime a deplasării unei piese căreia i se determină frecvența proprie de rezonanță am confecționat dispozitivul din Fig.6.19 pentru care am proiectat și realizat atât partea mecanică cât și aparatul electronic atașat dispozitivului.

- Pentru fixarea țevilor pe platoul capului excitatorului electrodinamic am confecționat două dispozitive. În figura 6.20.a este prezentat dispozitivul de fixare al țevilor care se testează în poziție verticală, iar în figura 6.20.b este prezentat dispozitivul de fixare al țevilor care se testează în poziție înclinată la 45°.
- Atașarea țevilor la aceste dispozitive se face prin intermediul unor bacuri din aluminiu (Fig.6.20.b) sau din lemn de esență tare (Fig.6.21.a) strânse cu șuruburi și piulițe pe dispozitiv prin intermediul unor plăci din tablă de oțel (Fig.6.21.b).
- Pentru încercarea statică a țevilor am confecționat dispozitivul din Fig.6.22.a. Acesta se montează pe cadrul pentru testare și pe traversa mobilă se fixează bacurile în care se prind țevile. Traversa mobilă are posibilitatea de a se roti în jurul axei sale orizontale cu unghiuri între 0° și 45°.
- În cazul încercărilor de oboseală la răsucire, capătul țevii acționat de biela mașinii poate efectua și mișcări în plan vertical sau orizontal care pot încălca suplimentar specimenul testat cu tensiuni datorate momentului încovoietor. Pentru a elimina acest inconvenient am confecționat dispozitivul din Fig.6.23.
- Împiedicarea deplasării în plan orizontal sau vertical al capătului acționat al țevii încercate static se face cu ajutorul dispozitivului din Fig.6.24.
- Am confecționat diverse sisteme de prindere și elemente de asamblare prezentate în Fig.6.26, Fig.6.27, Fig.6.28.

### **Concluzii**

Studierea inițială a stadiului actual pe plan mondial al cercetărilor efectuate cu privire la încercările la oboseală ale aliajelor de aluminiu din componența diferitelor produse și subansamble industriale a reliefat tendințele actuale de cercetare în domeniu, ținând cont și de faptul că acestea sunt din ce în ce mai utilizate în multe domenii de activitate, componentele pentru autovehicule fiind unele dintre produsele pentru fabricarea cărora se utilizează pe o scară din ce în ce mai largă acest tip de aliaje.

Încercarea la oboseală în laboratoarele de cercetare a materialelor și diverselor componente fabricate poate pune în evidență problemele la care acestea vor fi supuse în timpul funcționării, anticipând apariția defectelor.

Teza de doctorat intitulată "**EVALUAREA REZISTENȚEI LA OBOSEALĂ A COMPONENTELOR DIN ALIAJ DE ALUMINIU FOLOSITE ÎN DOMENIUL AUTOMOTIVE**" tratează cercetarea comportamentului aliajelor de aluminiu precum și a produselor fabricate din acest material atunci când sunt supuse la efort prelungit.

În urma desfășurării activității de cercetare aferente subiectului tezei pentru obținerea titlului de doctor, se poate concluziona că printr-o colaborare strânsă între fabricant, institutele de proiectare și laboratoarele

de cercetare se pot optimiza procesele de fabricație, se pot descoperi noi tehnologii avansate novatoare și se pot crea noi produse cu caracteristici superioare care să aibă o utilizare cât mai îndelungată.