

Cercetări privind rezistența unor aliaje de magneziu cu aplicații în industria de automobile

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

ing. Valentin Eugen Moise

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Ion Dumitru
Referenți științifici: general prof.univ.dr. Emil Crețu
prof.univ.dr.ing. Ioan Nicoară
prof.univ.dr.ing. Corneliu Comandar

Ziua susținerii tezei: 10 iunie 2010

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Firmei Takata S.A. din Arad sub îndrumarea prof. dr. ing. Ion Dumitru de la catedra de Rezistența Materialelor Universității „Politehnica” din Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof. dr. ing. Ion Dumitru, catedrei de Rezistența Materialelor, precum și familiei pentru sprijin.

Timișoara, mai 2010

Moise Valentin

Moise, Valentin Eugen

Cercetări privind rezistența unor aliaje de magneziu cu aplicații în industria de automobile

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 74 Editura Politehnica, 2010, 152 pagini, 151 figuri, 55 tabele.

ISSN:1842-4937

ISBN : 978-606-554-102-3

Cuvinte cheie:

aliaje de magneziu, volan de automobil.

Rezumat,

Lucrarea studiază proprietățile de rezistență ale aliajelor de magneziu folosite în construcția volanelor de automobile în relație cu programul de testare a volanului și soluțiile constructive adoptate pentru ca volanul să îndeplinească cerințele de rezistență impuse.

CUPRINS

1. Introducere, importanța temei.....	7
2. Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu în industria de automobile.....	9
2.1 Proprietățile magneziului.....	9
2.2 Utilizarea aliajelor de magneziu cu aluminiu în industria de automobile.....	9
2.3 Prezentare generală a aliajelor de magneziu.....	11
2.4 Coroziunea aliajelor de magneziu.....	15
2.5 Compoziția chimică și proprietățile mecanice.....	16
3. Particularități tehnologice ale prelucrării aliajelor de magneziu folosite în industria de automobile.....	35
3.1 Tehnologia de obținere pieselor din magneziu.....	35
3.2 Porozitatea pieselor turnate din aliaje de magneziu.....	39
3.3 Tehnologia de injecție a magneziului în stare semisolidă.....	40
4. Cercetări teoretice și experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice ale aliajelor de magneziu folosite în industria de automobile.....	46
4.1 Introducere.....	46
4.2 Procedura experimentală.....	46
4.3 Rezultatele experimentale.....	51
4.4 Curba caracteristică a aliajului AM50.....	56
4.5 Proprietăți de rezistență la rupere ale aliajului AM50.....	59
4.6 Concluzii.....	63
5. Contribuții privind aplicarea metodelor numerice la studiul stării de tensiuni și deformații a structurii de rezistență a volanului de automobil.....	64
5.1 Introducere.....	64
5.2 Compararea rezultatelor simulării cu elemente finite cu rezultatele încercărilor la impact cu manechinul pentru scheletul de volan.....	68
6. Contribuții asupra analizei experimentale a volanului și încadrarea acesteia în cerințele impuse de normele interne și internaționale.....	80
6.1 Prezentarea generală a volanului de automobil.....	80
6.2 Programul de testare al volanului de automobil.....	84
6.3 Măsurarea caracteristicilor de absorbție a energiei de către scheletul volanului.....	97
7. Modelarea geometriei structurii de rezistență a volanului și aplicarea rezultatelor în scopul optimizării ei.....	105
7.1 Influența geometriei scheletului asupra simulării testelor statice.....	105
7.2 Tratarea încercărilor la impact ca solicitări la șoc. Influența airbagului.....	132
8. Concluzii. Contribuții personale.....	141
Bibliografie.....	143

1. Introducere, importanța temei

Aliajele de magneziu cunosc în ultimii 30 de ani o dezvoltare spectaculoasă, atât în termeni de creștere a producției, cât și ca diversificare a domeniilor de utilizare și a mărcilor de aliaje și a proprietăților lor. Densitatea redusă și turnabilitatea excepțională au stimulat cercetarea unor noi aliaje și astfel în prezent există aliaje rezistente la fluaj și capabile să înlocuiască aluminiul. Acest lucru se petrece cu mult succes în industria de automobile, unde aliajele de magneziu câștigă an de an teren în fața celor de aluminiu, în special în domeniul echipamentelor de siguranță. Având în vedere diversitatea de aliaje și proprietăți, se impune studiul cât mai extins al proprietăților lor mecanice pentru a asigura utilizarea lor judicioasă în funcție de regimul de solicitare la care va fi supusă piesa sau ansamblul. De asemenea, magneziul poate fi prelucrat printr-o multitudine de procedee și se pretează la noi tehnologii cum ar fi armarea sau turnarea thixotropică. Tehnologiile aflate acum în stadiul de dezvoltare, vor asigura noi domenii de aplicare industrială a aliajelor de magneziu în viitor.

Tehnologia cea mai folosită în industria auto pentru prelucrarea aliajelor de magneziu este turnarea sub presiune. Această metodă este susceptibilă de apariția defectelor de turnare, în special a porilor, defecte ce afectează proprietățile mecanice ale materialului. Studiul defectelor și influenței lor, precum și a metodelor de reducere a defectelor este un punct important în îmbunătățirea calității pieselor.

Un ansamblu important în industria auto în care aliajele de magneziu și-au câștigat un rol principal este volanul de automobil. Ansamblul volanului crește rapid în complexitate cu fiecare generație de automobile, cerințele mecanice și tehnice la care trebuie să facă față se amplifică permanent, la fel și numărul de teste mecanice și nemecanice la care este supus. În acest fel se crează un larg domeniu de aplicare pentru analiza cu elemente finite, incluzând analize statice și dinamice. Oboseala volanului datorită utilizării continue nu e un fenomen atât de important încât să necesite analiză numerică, iar simularea procesului de turnare, deși e un domeniu important și în plină dezvoltare, depășește cadrul acestei lucrări. În lucrare atenția s-a acordat simulării testelor de impact și testelor statice. Simularea testelor de impact se lovește de problema găsirii unui model de comportare a materialului care să poată fi folosit de programul de analiză cu element finit și care să asigure o concordanță cât mai bună cu datele experimentale, având în vedere că proprietățile aliajelor de magneziu turnate variază mult în funcție de condițiile de turnare. Pentru a găsi un astfel de model se folosește testul Charpy, ale cărui rezultate experimentale sunt ușor de obținut. Simularea testelor statice este de mare importanță practică, întrucât este o metodă rapidă și eficientă de îmbunătățire a formei piesei.

Cunoașterea testelor la care e supus volanul, sau părți din el, e foarte utilă în dezvoltarea unui produs corespunzător calitativ. Nu trebuie uitat faptul că timpii alocați dezvoltării și omologării produselor sunt într-o continuă scădere în ultimii ani, la fel și costurile, iar în industria auto se manifestă o concurență acerbă. În aceste condiții, orice îmbunătățire are importanța ei. S-a făcut o comparație a performanțelor între scheletele de aluminiu și cele din magneziu din punctul de vedere al încercării la impact, iar pentru aceasta au trebuit clarificate mai întâi

mărimile mecanice care determină performanța scheletului de volan la această încercare.

În final s-a folosit simularea testelor statice pentru a studia influența formei scheletului volanului asupra performanțelor sale, inclusiv la încercările la impact, tratându-se încercarea la impact ca solicitare la șoc, a cărei rezolvare este binecunoscută din rezistența materialelor. Chiar dacă pare simplă, această tratare poate fi eficientă în reducerea costurilor de dezvoltare a volanului, întrucât atât testarea cât și simularea dinamică la impact sunt foarte costisitoare.

Importanța temei rezidă mai ales în rezultatele și metodele practice, aplicabile în dezvoltarea și producția scheletului de automobil, bazate pe proprietățile unice ale aliajelor de magneziu.

2. Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu în industria de automobile

2.1 Proprietățile magneziului

Magneziul este un metal din grupa a doua principală a tabelului periodic, plasat în căsuța cu numărul atomic 12. Această poziție determină proprietățile lui chimice și fizice. Cristalizează în rețea hexagonală compactă. Are densitatea de numai $1,74 \text{ g/cm}^3$ și e printre cele mai ușoare metale cunoscute, fiind depășit doar de calciu și metalele alcaline. Cum metalele alcaline și calciul sunt deosebit de reactive și au proprietăți mecanice slabe, se poate spune că magneziul este cel mai ușor metal utilizabil pe scară largă în industrie. De asemenea, punctul de topire scăzut, aflat la o temperatură de 650°C , iar cel de fierbere în jur de 1090°C , facilitează turnarea. Cantitatea totală de magneziu e de 2% din masa scoarței terestre și are o concentrație de 0.13% în apa mării, deci e relativ larg răspândit în natură, mai ales sub formă de carbonați și cloruri.

Magneziul reacționează cu apa fierbinte, formând hidroxidul de magneziu, iar în aer arde cu o flacără albă strălucitoare, formând oxidul de magneziu. Piese noi au o culoare albă argintie, dar cu timpul se acoperă cu un strat cenușiu de oxid. Potențialul electrochimic foarte scăzut determină un fenomen puternic de coroziune galvanică.

Adăugarea de mici cantități din alte metale îmbunătățește simțitor proprietățile lui mecanice, ridicând duritatea, rezistența mecanică și la coroziune. Aceste aliaje au numeroase calități mecanice și tehnologice cum sunt: densitate mică, rezistență, rigiditate, ductilitate, amortizarea vibrațiilor, conductivitate termică și electrică, turnabilitate, prelucrabilitate prin așchiere, reciclabilitate, ecranare electrică și radio, stabilitate dimensională în timp. În mod deosebit, magneziul are o bună rezistență raportată la masă între metale și o turnabilitate excepțională. Datorită acesteia, magneziul tinde să înlocuiască aluminiul în numeroase domenii, în special în industria aeronautică, industria auto și electrotehnică. El se livrează sub forma de table, bare sau lingouri și poate fi asamblat prin sudare și nituire sau turnat.

2.2 Utilizarea aliajelor de magneziu cu aluminiu în industria de automobile

Ceea ce face magneziul deosebit de atractiv în industria auto este greutatea sa specifică foarte redusă. În plus, prin turnare se pot obține pereți foarte subțiri, ceea ce reduce și mai mult din masa piesei. Construirea de autovehicule mai ușoare devine un obiectiv major în lupta pentru protecția mediului, siguranța rutieră și

10 Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu-2

reducerea costurilor de transport. Beneficiile includ: scăderea consumului de combustibil, reducerea emisiilor de gaze poluante, uzura mai lentă a drumurilor, cauciucurilor și autovehicolului în general, creșterea siguranței participanților la trafic.

De asemenea, și prețul unitar poate fi sensibil mai scăzut decât al pieselor de oțel, la producția de serie mare. Față de aluminiu, prețul magneziului e cu 20% mai mare pe kilogramul de materie primă. Prețul magneziului are tendință de scădere datorită creșterii rapide a producției pe plan mondial.

În afară de acestea, aliajele magneziului mai au și alte calități importante pentru industria auto:

- stabilitate dimensională mare,
- capacitate mare de absorbție a vibrațiilor și șocurilor,
- rezistență satisfăcătoare la șocuri,
- rezistență satisfăcătoare la oboseală,
- conductivitate termică bună,
- lipsa toxicității,
- lipsa proprietăților magnetice,
- prelucrabilitate foarte bună.

La ora actuală, un automobil mediu are piese de magneziu în greutate totală de 4 kg. În general, magneziul se folosește la piesele din interiorul habitacului, unde condițiile de funcționare sînt mai ușoare.

Domeniile de aplicare în industria auto sînt :

- la transmisie: carcasa cutiei de viteze,
- la motor: galerii de admisie pentru aer și ulei, conectori electrici,
- la amenajările interioare: scheletul scaunului, scheletul volanului, piese din coloana de direcție, diverse carcase, parasolarul, oglinda retrovizoare, acoperișul, panouri de bord.
- la șasiu și caroserie: ușile, stâlpul A, stâlpul B, jentile.

Majoritatea acestor piese se obțin prin turnare. Avantajele turnării sînt:

- număr total de piese mic,
- operații mai puține,
- precizie și repetabilitate bune.

Un alt material folosit în industria auto pentru producerea de piese turnate este aluminiul. Avantajele magneziului față de acesta sînt:

- densitate mai mică,
- alungire specifică mai mare,
- ciclu de turnare cu 20% - 30% mai scurt,
- durata de viață a matriței de turnare aproape dublă,
- abilitatea de turna pereți mai subțiri.

Subsistem	Potențial de înlocuire (kg)	Masa de magneziu (kg)	Masa economisită (kg)
Motor și transmisie	88	58	30
Șasiu	80	35	45
Caroserie	12	5	7
Interior	31	21	10
Total	211	119	92

Tabelul 2.1 Posibilitățile de folosire a magneziului în construcția automobilului (estimare Ford Motors Company din anul 2002)

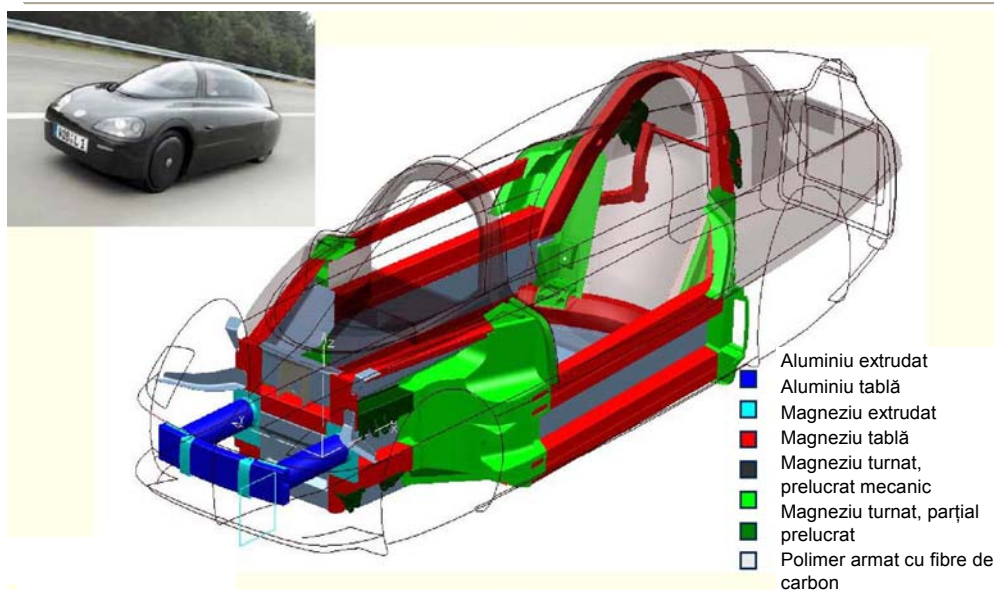


Figura 2.1 Automobilul economic prototip Volkswagen

Totuși magneziul are câteva dezavantaje mari :

- Fluajul. Magneziul prezintă un pronunțat fenomen de fluaj, chiar și la temperatura ambiantă. Unele aliaje prezintă fenomenul de fluaj la 20°C la numai 40% din tensiunea de curgere. O asamblare cu șurub executată din aliaj comun de magneziu pierde total strângerea după 20 000 de ore de funcționare la 150°C . Din acest motiv nu este indicat a se folosi magneziul la părțile componente ale motorului, în special la blocul motor.
- Corodarea. În ciuda progreselor în tehnologia acoperirii magneziului cu pulberi sau fosfați, acesta se corodează foarte ușor, mai ales în mediu umed și sărat.
- Poluarea. Tehnologia clasică de turnare a magneziului folosește unele substanțe (de ex. hexacloretan și hexaflorură de sulf) interzise de normele de mediu.
- Reciclabilitatea. Deși e material reciclabil, procesul tehnologic e mai dificil decât la majoritatea metalelor. Din cauză că magneziul topit arde în prezența oxigenului, topirea se face în atmosferă controlată. Nici impuritățile nu se ridică la suprafața topiturii, ca la alte metale, ci se separă cu site din oțel inoxidabil.

La acestea se adaugă și alte dezavantaje mai mici:

- Coefficient de dilatare termică relativ mare.
- Ductilitate mică.
- Capacitate de absorbție a energiei la impact uneori insuficientă.
- Valori relativ mici și instabile ale rezistenței la oboseală.

2.3 Prezentare generală a aliajelor de magneziu

În scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice și de rezistență la coroziune magneziul se aliază cu diverse alte metale. Totuși, posibilitățile de aliere rămân

12 Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu-2

limitate de faptul că prezența anumitor metale are efect de înrăutățire a proprietăților aliajului.

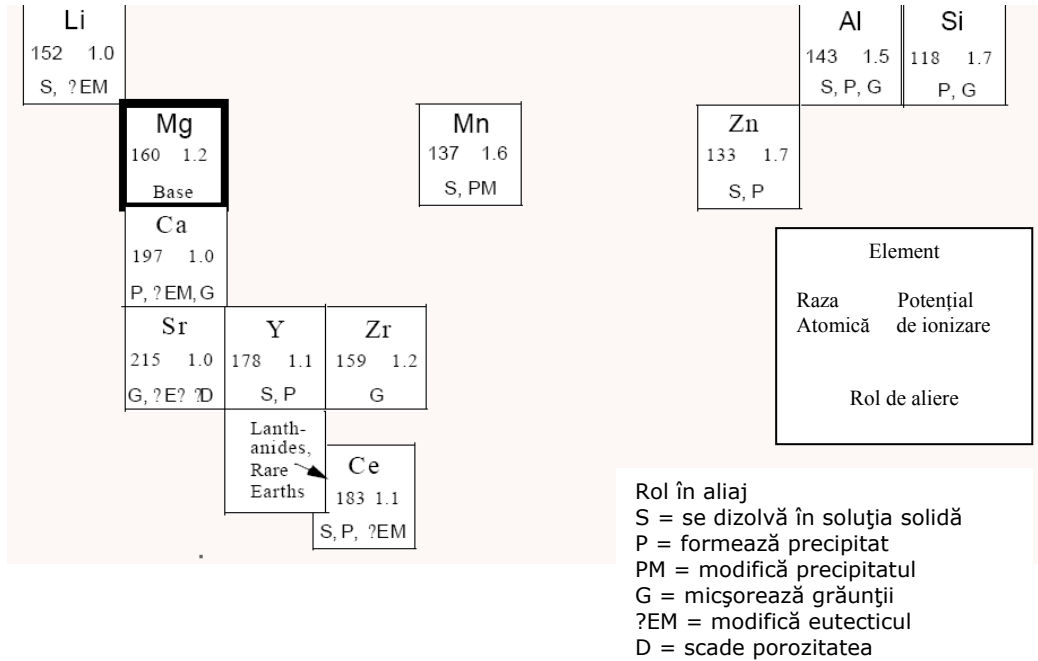


Figura 2.2 Elementele de aliere ale magneziului și rolul lor.

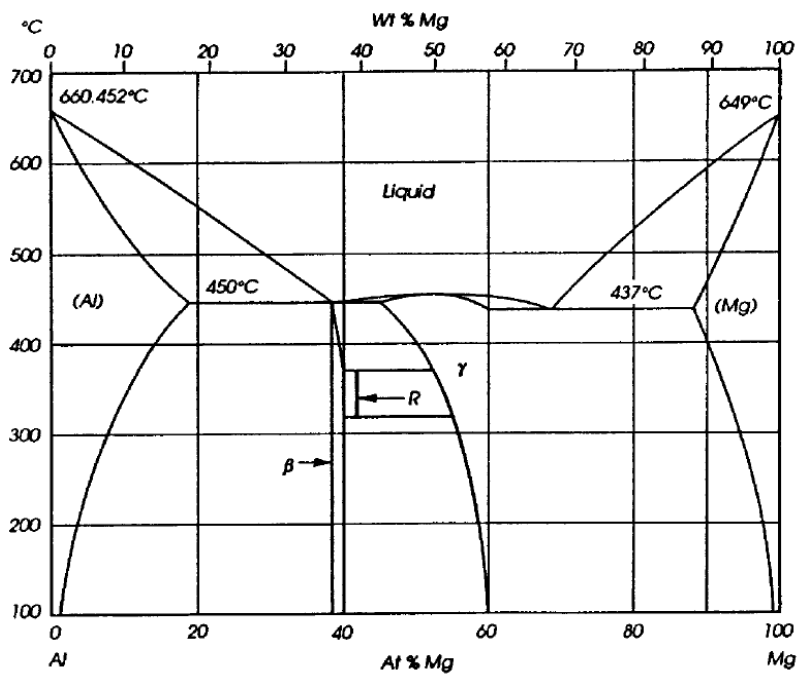


Figura 2.3 Diagrama Aluminiu – Magneziu

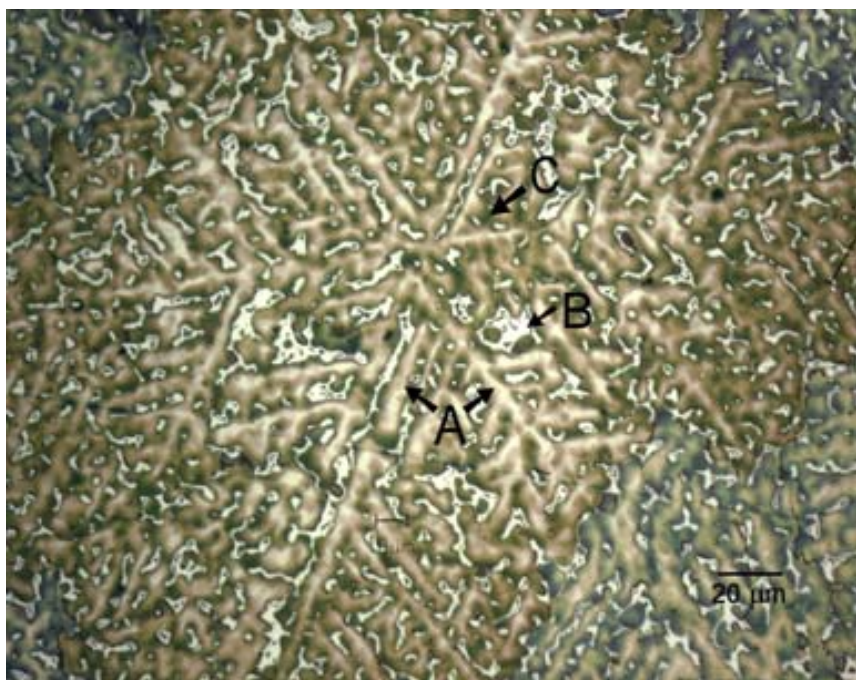


Figura 2.4 Aliaj cu 15%Al: A-dendrite de magneziu complet dezvoltate, B-eutectic Mg₁₇Al₁₂, C-solutie solidă

Cel mai folosit element de aliere este aluminiul. El crește rezistența mecanică, îmbunătățește turnabilitatea și scade porozitatea pieselor turnate. Aliajele magneziului cu aluminiul constau din amestecul în matricea de magneziu a doua faze: faza α -Mg de soluție solidă și faza β -Mg₁₇Al₁₂ interdendritică. Ea are un punct de topire scăzut și e principala cauză responsabilă de fluajul puternic al aliajelor magneziului cu aluminiul. În afară de aceasta, aliajele respective au și o mare sensibilitate la creștătura și risc mare de fisurare când sunt presate la rece. Procentul volumic maxim admis de fază β este de 10% din cauza prezenței de planuri suplimentare de alunecare în interiorul ei. Peste acest procent proprietățile mecanice ale aliajului scad rapid de aceea aliajele nu conțin de regulă mai mult de 10% aluminiu. Pentru creșterea ductilității se reduce procentul de aluminiu, dar ductilitatea aliajelor e redusă datorită rețelei hexagonale a magneziului care necesită o energie mare de deformare și ușurează apariția fisurilor din cauza planurilor de alunecare.

Pentru creșterea rezistenței la coroziune, cel mai potrivit element de aliere este manganul. El formează compuși stabili cu atomii de fier din rețea și ușurează producerea unui film protector eficient pe suprafața piesei. În plus, precipitații FeMn reduc fenomenul de fluaj și îmbunătățesc sudabilitatea. Totuși filmul protector e atacat de mediul umed și manganul nu poate împiedica coroziunea galvanică la contactul cu alte metale, în special cu fierul.

Zincul formează un precipitat dur care mărește rezistența mecanică la temperatura ambiantă și mărește fluiditatea topiturii. Procentul de zinc e limitat la 2% din masă pentru că prezintă fenomenul de segregare intercristalină la răcire, ceea ce fragilizează aliajul.

Aliajele de magneziu cu zinc la care se adaugă ytriu prezintă mult mai puține defecte ale rețelei.

De asemenea, prezența zirconiumului îmbunătățește proprietățile mecanice prin micșorarea dimensiunii grăunților.

În cantități foarte mici, de sub 0.1% din masă se folosește și siliciul, care, prin formarea unor precipitații dure cu magneziul și zincul, reduce fluajul.

Pentru aliaje speciale se mai adaugă mici cantități de ceriu, rheniu, stronțiu, thoriu, argint, calciu, litiu, pentru unele din aceste aliaje prezența aluminiului fiind dăunătoare.

În practică se întâlnesc două sisteme de aliere ale magneziului. Primul cuprinde aliajele cu un conținut de aluminiu între 2% și 10%, și mici cantități de mangan și zinc. Sunt cele mai folosite și ieftine aliaje de magneziu, dar domeniul lor de utilizare este restrâns la temperaturi sub 120°C, medii uscate și necorozive. Al doilea cuprinde aliaje cu zinc până la 2% și zirconiu în cantitate mică, la care se adaugă argint, thoriu și pământuri rare. Acestea au proprietăți superioare la temperaturi ridicate și medii corozive, dar sunt mult mai scumpe.

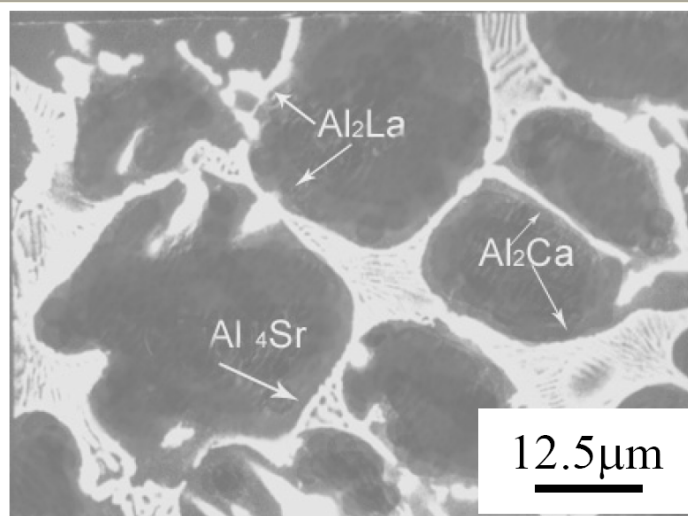


Figura 2.5 Microstructura unui aliaj de magneziu cu pământuri rare cu calciu și stronțiu.

Dezvoltarea aliajelor de magneziu se face pe trei direcții: creșterea ductilității, creșterea rezistenței la temperaturi ridicate, armarea.

2.4 Coroziunea aliajelor de magneziu

Un mare defect al magneziului și aliajelor sale este rezistența foarte mică la coroziune. Aceasta este determinată de poziția magneziului în seria potențialelor de ionizare a metalelor. Cu un potențial standard de ionizare la 25°C de -2.363 V este cel mai activ metal utilizat în industrie din serie. El tinde să înlocuiască din soluție aproape orice metal, ceea ce duce la o corodare puternică a magneziului în soluțiile foarte multor săruri. Mai mult, cum potențialul de electrod al hidrogenului în aceleași condiții e de -0.41 V, magneziul tinde să înlocuiască hidrogenul din apă. Acest lucru se și observă experimental în apă fierbinte.

Magneziul expus în aer uscat se acoperă cu un film protector de oxid. În prezența apei acest film e stabil numai în mediu bazic datorită formării unui strat de hidroxid de magneziu. Ionii de clor, brom, sulfat, clorat distrug filmul protector. Același efect îl are și dioxidul de carbon. În mediu neutru și acid prin înlocuirea hidrogenului are loc o coroziune puternică. Pasivarea apare numai în mediu foarte bazic datorită unui film protector de hidroxid de magneziu, care este însă solubil pe termen lung, deci protecția dispăre în timp.

Influența elementelor de aliere asupra rezistenței la coroziune a aliajelor de magneziu este foarte mare deoarece magneziul devine anod pentru orice metal dintre cele folosite în industrie, ca urmare apare o interacțiune galvanică cu atât mai mare cu cât metalul este mai electropozitiv. Contaminările cele mai distructive sunt produse de fier, cupru, nichel și cobalt, primele trei având o mare solubilitate în aliajele de magneziu. Manganul și zincul se adaugă în aliaj tocmai pentru a forma compuși stabili cu aceste metale. Procentul de fier admis în aliaj e direct proporțional cu cel de mangan, iar cel de nichel depinde în plus de mărimea

graunților, care sunt direct influențați de presiunea de turnare, grosimea piesei și răcirea matriței.

De asemenea metalele grele de mai sus produc și o foarte puternică electrocoroziune de contact, ceea ce impune o grijă deosebită la alegerea elementelor de asamblare. Contactul direct dintre fier și magneziu este cu desăvârșire interzis și se evită acumularea umezelii în zona de îmbinare.

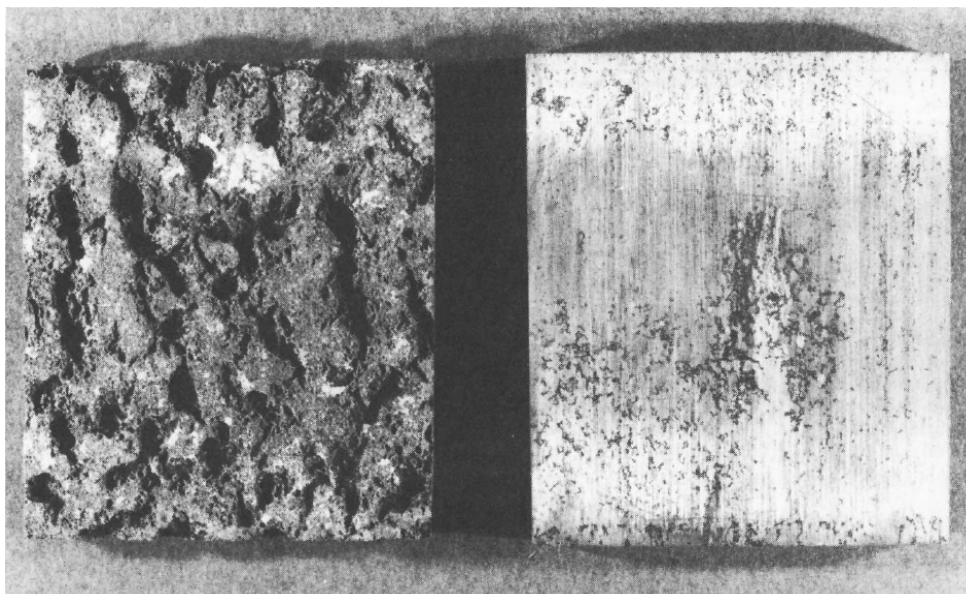


Figura 2.6 Influența contaminării cu fier în testul cu ceață sărată ASTM 117 B (comparație între 160ppmFe și 19ppmFe)

Aliajele magneziului cu zirconiu au o rata de coroziune mai redusă. Pentru a obține o rezistență satisfăcătoare la medii agresive acestea trebuie finisate corespunzător și trebuie folosite acoperiri anticorozive.

2.5 Compoziția chimică și proprietățile mecanice

Compoziția chimică a aliajelor de magneziu pentru turnare și a lingourilor de aliaj de magneziu este prezentată în ISO 16220:2000. Același standard prezintă și proprietățile mecanice ale aliajilor de magneziu determinate pe epruvete turnate separat sau pe epruvete prelevate din piese turnate.

Grupa aliajului	Simbol ISO	Simbol CEN	Simbol ASTM	Denumire comercială
MgAlZn	ISO-MgAl8Zn1	EN-MC21110	AZ 81	AZ 81
	ISO-MgAl9Zn1(A)	EN-MC21120	AZ91	AZ 91
	ISO-MgAl9Zn1(B)	EN-MC21121	-	AZ 91
MgAlMn	ISO-MgAl2Mn	EN-MC21210	-	AM 20
	ISO-MgAl5Mn	EN-MC21220	-	AM 50
	ISO-MgAl6Mn	EN-MC21230	AM 60	AM 60
MgAlSi	ISO-MgAl2Si	EN-MC21310	-	AS 21
	ISO-MgAl2Si	EN-MC21320	AS 41	AS 41
MgZnCu	ISO-MgZn6Cu3Mn	EN-MC32110	ZC 63	-
MgZnREZr	ISO-MgZn4RE1Zr	EN-MC35110	ZE 41	RZ5
	ISO-MgRE3Zn2Zr	EN-MC65120	EZ 33	ZRE1
MgREAgZr	ISO-MgAg2RE2Zr	EN-MC65210	QE 22	MSR
	ISO-MgRE2Ag1Zr	EN-MC65220	EQ 2	-
MgYREZr	ISO-MgY5RE4Zr	EN-MC95310	WE 54	-
	ISO-MgY4RE3Zr	EN-MC95320	WE 43	-

Tabelul 2.2 Corespondența denumirilor aliajelor de magneziu după ISO 16220

Aliaj	Metoda turnare	min max	Compoziția chimică în procente de masă													alte feccare	Fe/Mn	
			Mg	Al	Zn	Mn	RE	Zr	Ag	Y	Li	Si	Fe	Cu	Ni			
MgAl8Zn1	D	min. 100%	pînă la 8,7	7,0	0,35	0,1	-	-	-	-	-	-	0,10	0,005	0,03	0,002	0,01	-
MgAl8Zn1	S,K,L	min. 100%	pînă la 8,7	7,0	0,4	0,10	-	-	-	-	-	-	0,20	0,005	0,03	0,001	0,01	-
MgAl9Zn1(A)	D	min. 100%	pînă la 9,7	8,3	0,35	0,15	-	-	-	-	-	-	0,10	0,005	0,03	0,002	0,01	0,032
MgAl9Zn1(A)	S,K,L	min. 100%	pînă la 9,7	8,3	0,4	0,17	-	-	-	-	-	-	0,20	0,005	0,03	0,001	0,01	0,032
MgAl9Zn1(B)	D,S,K,L	min. 100%	pînă la 10	8	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	0,3	0,03	0,2	0,01	0,01	-
MgAl2Mn	D	min. 100%	pînă la 2,6	1,6	-	0,33	-	-	-	-	-	-	0,10	0,004	0,01	0,002	0,01	0,012
MgAl5Mn	D	min. 100%	pînă la 4,4	4,4	-	0,26	-	-	-	-	-	-	0,10	0,004	0,01	-	0,01	0,015
MgAl6Mn	D	min. 100%	pînă la 5,5	5,5	-	0,24	-	-	-	-	-	-	0,10	0,005	0,01	0,002	0,01	0,021
MgAl2Si	D	min. 100%	pînă la 2,6	1,8	-	0,18	-	-	-	-	-	0,7	1,2	0,004	0,01	0,002	0,01	0,022
MgAl2Si	D	min. 100%	pînă la 5,0	3,5	-	0,18	-	-	-	-	-	0,5	1,5	0,004	0,010	0,002	0,01	0,022
MgZn6Cu3Mn	S,K,L	min. 100%	pînă la 0,2	-	5,5	0,25	-	-	-	-	-	-	0,20	0,05	3,0	0,01	0,01	-
MgZn4RE1Zr	S,K,L	min. 100%	pînă la -	3,5	-	0,75	0,4	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01	-
MgRE3Zn2Zr	S,K,L	min. 100%	pînă la -	2	-	2,5	0,4	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01	-
MgAg2RE2Zr	S,K,L	min. 100%	pînă la -	2	-	0,4	2,0	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01	-
MgRE2Ag1Zr	S,K,L	min. 100%	pînă la -	0,2	0,15	3,0	1,0	1,3	-	-	-	-	0,01	0,01	0,10	0,005	0,01	-
MgY5RE4Zr	S,K,L	min. 100%	pînă la -	-	-	1,5	0,4	-	4,75	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01	-
MgY4RE3Zr	S,K,L	min. 100%	pînă la -	0,2	0,15	4,4	1,0	4,3	3,7	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01	-

Tabelul 2.3 Compoziția chimică a aliajelor de magneziu, după ISO 16220

18 Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu-2

Observații:

- RE = Pământuri rare
- Metoda de turnare: S = în nisip, K = în forme permanente, D = sub presiune, L = cu ceară pierdută.
- Raportul Fe/Mn e valabil dacă nu se atinge conținutul minim de Mn
- MgZn4RE1Zr și MgRE3Zn2Zr conțin RE bogate în ceriu
- MgAg2RE2Zr și MgRE2Ag1Zr conțin RE bogate în neodimiu
- MgY5RE4Zr și MgY4RE3Zr conțin RE bogate în neodimiu și pământuri rare grele iar rezistența la coroziune crește dacă nu se depășește 0,03% Mn, 0,01% Fe, 0,02%Cu, 0,2% Zn+Ag

Conținutul maxim de mangan este determinat de necesitatea de a reduce solubilitatea fierului la un conținut maxim de 0,004% și depinde de temperatura topiturii. Temperaturi ridicate necesită mai mult mangan, temperaturi joase duc la precipitarea nedorită a manganului.

Conținutul maxim de cupru și nichel trebuie de asemenea limitat sever. Limita superioară a conținutului de nichel e de 0,001%.

De asemenea, mulți producători impun ca aliajele pentru turnare în nisip să nu conțină decât 5-15 ppm beriliu.

Aliaj	Tratament	Rezistența la rupere Rm (Mpa)	Limita de curgere Rp0,2 (Mpa)	Alungirea A %	Duritatea Brinell HB
MgAl8Zn1	F	160	90	2	50 - 65
	T4	240	90	8	50 - 65
MgAl9Zn1(A)	F	160	90	2	55 - 65
	T4	240	110	6	55 - 70
	T6	240	150	2	60 - 90
MgZn6Cu3Mn	T6	195	125	2	55 - 65
MgZn4RE1Zr	T5	200	135	2.5	55 - 70
MgRE3Zn2Zr	T5	140	95	2.5	50 - 60
MgAg2RE2Zr	T6	240	175	2	70 - 90
MgRE2Ag1Zr	T6	240	175	2	70 - 90
MgY5RE4Zr	T6	250	170	2	80 - 90
MgY4RE3Zr	T6	220	170	2	75 - 90

Tabelul 2.4 Caracteristicile mecanice ale aliajelor de magneziu turnate în nisip, după ISO 16620

2.5 - Compoziția chimică și proprietățile mecanice 19

Aliaj	Tratament	Rezistența la rupere Rm (Mpa)	Limita de curgere Rp0,2 (Mpa)	Alungirea A %	Duritatea Brinell HB
MgAl8Zn1	F	160	90	2	50 - 65
	T4	240	90	8	50 - 65
MgAl9Zn1(A)	F	160	110	2	55 - 65
	T4	240	120	6	55 - 70
	T6	240	150	2	60 - 90
MgZn6Cu3Mn	T6	195	125	2	55 - 65
MgZn4RE1Zr	T5	210	135	3	55 - 70
MgRE3Zn2Zr	T5	145	100	3	50 - 60
MgAg2RE2Zr	T6	240	175	3	70 - 90
MgRE2Ag1Zr	T6	240	175	2	70 - 90
MgY5RE4Zr	T6	250	170	2	80 - 90
MgY4RE3Zr	T6	220	170	2	75 - 90

Tabelul 2.5 Caracteristici mecanice ale aliajelor de magneziu turnate în forme permanente, după ISO 16620

Tratamentul termic:

- F = netratat
- T4 = tratat termic și îmbătrânit natural
- T5 = netratat termic și îmbătrânit artificial
- T6 = tratat termic și îmbătrânit artificial

Aliaj	Tratament	Rezistența la rupere Rm (Mpa)	Limita de curgere Rp0,2 (Mpa)	Alungirea A %	Duritatea Brinell HB
MgAl8Zn1	F	200 - 250	140 - 160	1 - 7	60 - 85
MgAl9Zn1(A)	F	200 - 260	140 - 170	1 - 6	65 - 85
MgAl2Mn	F	150 - 220	80 - 100	8 - 18	40 - 55
MgAl5Mn	F	180 - 230	110 - 130	5 - 15	50 - 65
MgAl6Mn	F	190 - 250	120 - 150	4 - 14	55 - 70
MgAl2Si	F	170 - 230	110 - 130	4 - 14	50 - 70
MgAl2Si	F	200 - 250	120 - 150	3 - 12	55 - 80

Tabelul 2.6 Caracteristici mecanice ale aliajelor de magneziu turnate sub presiune, după ISO 16620

De asemenea se folosesc mult și standardele americane ASTM B 93-98 și ASTM B 94-05

20 Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu-2

Aliaj	min max.	Compoziția chimică în procente de masă													alte fiecare		
		Mg	Al	Zn	Mn	RE	Zr	Ag	Th	Y	Li	Si	Fe	Cu		Ni	
AM100A	min. max.	pînă la 100%	9,4 10,6	- 0,2	0,13 0,35	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,08	0,010	0,01	
AZ63A	min. max.	pînă la 100%	5,5 6,6	2,7 3,3	0,15 0,35	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,02	0,010	0,01	
AZ81A	min. max.	pînă la 100%	7,2 8,0	0,5 0,9	0,15 0,35	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,08	0,010	0,01	
AZ91C	min. max.	pînă la 100%	8,3 9,2	0,45 0,9	0,15 0,35	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,08	0,010	0,01	
AZ91E	min. max.	pînă la 100%	8,3 9,2	0,45 0,9	0,17 0,35	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,015	0,0010	0,01	
AZ92A	min. max.	pînă la 100%	8,5 9,5	1,7 2,3	0,13 0,35	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,02	0,010	0,01	
EQ21A	min. max.	pînă la 100%	- -	- -	- -	1,5 3,0	0,3 1,0	1,3 1,7	- -	- -	- -	0,10	0,005	0,10	0,05 0,01	0,01	0,01
EZ33A	min. max.	pînă la 100%	- -	2,0 3,0	- -	2,6 3,9	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	0,10	0,005	0,03	0,010	0,01	
HK31A	min. max.	pînă la 100%	- -	- 0,25	- -	- -	0,3 1,0	- -	2,6 3,8	- -	- -	0,7 1,2	- 0,005	- 0,10	- 0,010	- 0,01	- 0,01
HK32A	min. max.	pînă la 100%	- -	1,8 2,4	- -	- 0,10	0,3 1,0	- -	2,6 3,8	- -	- -	0,5 1,5	- 0,005	- 0,03	- 0,010	- 0,01	- 0,01
K1A	min. max.	pînă la 100%	- -	- -	- -	- -	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	0,20	0,005	0,03	0,010	0,01	
QE22A	min. max.	pînă la 100%	- -	- 0,2	- 0,15	1,9 2,4	0,3 1,0	2,0 3,0	- -	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	
QH21A	min. max.	pînă la 100%	- -	- 0,2	- 0,15	0,6 1,5	0,3 1,0	2,0 3,0	0,6 1,5	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	
WE43A	min. max.	pînă la 100%	- -	- 0,20	- 0,15	2,4 4,4	0,3 1,0	- -	- -	3,7 4,3	0,2	0,01	-	0,03	0,005	0,01	
WE54A	min. max.	pînă la 100%	- -	- 0,20	- 0,15	1,5 4,0	0,3 1,0	- -	- -	4,75 5,5	0,2	0,01	0,005	0,03	0,005	0,01	
ZC63A	min. max.	pînă la 100%	- -	5,5 6,5	0,25 0,75	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,20	-	2,4 3,0	0,001	0,01	
ZE41A	min. max.	pînă la 100%	- -	3,7 4,6	- 0,15	1,0 1,75	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	
ZE63A	min. max.	pînă la 100%	- -	5,5 6,0	- -	2,0 3,0	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	
ZH62A	min. max.	pînă la 100%	- -	5,3 6,0	- -	- -	0,3 1,0	- -	1,5 2,1	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	
ZK51A	min. max.	pînă la 100%	- -	3,8 6,3	- -	- -	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	
ZK61Ar	min. max.	pînă la 100%	- -	5,7 6,3	- -	- -	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	0,01	0,005	0,03	0,010	0,01	

Tabelul 2.7 Compoziția chimică a aliajelor de magneziu pentru turnare în nisip și în forme permanente, după ASTM B 93-98

Observații:

- RE = Pământuri rare
- EQ21A, QE22A, QH21A conțin pământuri rare compuse din 70% neodimiu și conținut substanțial de platină
- QH21A conține Th+RE între 1,5% și 2,4%
- WE43A și WE54A conțin RE bogate în neodimiu (2,0-2,5, respectiv 1,5-2,0 din total aliaj) și pământuri rare grele.
- Totalul elementelor nespecificate sub 0,30%.

2.5 - Compoziția chimică și proprietățile mecanice 21

Aliaj	min max	Compoziția chimică în procente de masă										altele fiecare	altele total	Fe/Mn	
		Mg	Al	Zn	Mn	RE	Sr	Si	Fe	Cu	Ni				
AS41A	min.	pînă la	3,5	-	0,20	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-
	max.	100%	5,0	0,12	0,50	-	-	1,5	-	0,06	0,03	-	0,03	-	
AS41B	min.	pînă la	3,5	-	0,35	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	5,0	0,12	0,7	-	-	1,5	0,0035	0,02	0,002	0,02	0,03	0,010	
AM50A	min.	pînă la	4,4	-	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	5,4	0,22	0,6	-	-	0,10	0,004	0,010	0,002	0,02	0,03	0,015	
AM60A	min.	pînă la	5,5	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	6,5	0,22	0,6	-	-	0,50	-	0,35	0,03	-	0,03	-	
AM60B	min.	pînă la	5,5	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	6,5	0,22	0,6	-	-	0,10	0,005	0,010	0,002	0,02	0,03	0,015	
AZ91A	min.	pînă la	8,3	0,35	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	9,7	1,0	0,50	-	-	0,50	-	0,35	0,03	-	0,03	-	
AZ91B	min.	pînă la	8,3	0,35	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	9,7	1,0	0,50	-	-	0,50	-	0,10	0,03	-	0,03	-	
AZ91D	min.	pînă la	8,3	0,35	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	9,7	1,0	0,50	-	-	0,10	0,005	0,030	0,002	0,02	0,03	-	
AJ52A	min.	pînă la	4,5	-	0,24	-	1,7	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	5,5	0,22	0,6	-	2,3	0,10	0,004	0,010	0,001	0,01	0,03	0,021	
AJ62A	min.	pînă la	5,5	-	0,24	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	6,6	0,22	0,6	-	2,8	0,10	0,004	0,010	0,001	0,01	0,03	0,021	
AS21A	min.	pînă la	1,8	-	0,18	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	2,5	0,20	0,7	-	-	1,2	0,005	0,01	0,001	0,01	0,03	0,032	
AS21B	min.	pînă la	1,8	-	0,05	0,06	-	0,7	-	-	-	-	-	-	
	max.	100%	2,5	0,25	0,15	0,25	-	1,2	0,0035	0,008	0,001	0,01	0,03	-	

Tabelul 2.8 Compoziția chimică a aliajelor de magneziu pentru turnare sub presiune, după ASTM B 94-05

Observație: Aliajele AJ52A, AJ62A și AS21B sunt patentate pentru aplicații la temperaturi înalte

Aliajul AM60A are o greutate specifică în jur de 1,78. E recomandat în acele aplicații unde e nevoie de o bună alungire, rezistență la rupere și o limită de curgere ridicată.

Aliajul AS41A are o greutate specifică în jur de 1,78. El prezintă la temperatură în jur de 20°C o bună alungire, rezistență la rupere și o limită de curgere ridicată. La temperaturi de 175°C are o rezistență la fluaj mai mare decât aliajele AZ91A, AZ91B și AM60A. Rezistența maximă la fluaj se obține la cel mai mic conținut de aluminiu.

Aliajele AZ91A și AZ91B au o greutate specifică în jur de 1,81. Conținutul de nichel și cupru în AZ91A trebuie menținut scăzut pentru a minimiza coroziunea. Rezistența la coroziune a AZ91B scade cu creșterea procentului de cupru și piesele din acest material trebuie folosite în condiții atmosferice cunoscute în care durata de viață a piesei poate fi considerată satisfăcătoare. AZ91 B este aliajul de magneziu cel mai folosit la turnarea sub presiune.

Aliajele AS41B, AM60B și AZ91D sunt versiuni de înaltă puritate ale AS41A, AM60A și AZ91B. în consecință, ele au o rezistență sporită la coroziune în mediu salin.

Aliajul AM50A este un aliaj de înaltă puritate rezistent la coroziune similar cu AM60B, dar cu o ductilitate sporită datorită conținutului mai scăzut de aluminiu. împreună cu AM60B este foarte folosit în industria auto. Pentru piese deosebite din industria auto se folosește AM20A (MgAl2Mn) datorită ductilității și tenacității sporite.

Aliajele AJ52A și AJ62A au compoziții bazate pe aluminiu cu adaosuri de stronțiu pentru a îmbunătăți rezistența la fluaj și proprietățile mecanice la

22 Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu-2

temperaturi înalte față de aliajele AS. Rezistența la coroziune a AJ52A și AJ62A este comparabilă cu cea a aliajelor de înaltă puritate de mai sus. Aliajul AJ62A are o turnabilitate mai bună și o rezistență la fluaj ușor mai scăzută față de AJ52A.

Aliajele AS21 și AS21B au rezistență la fluaj și proprietăți mecanice îmbunătățite față de aliajele AS41A și AS41B. Ambele posedă o bună turnabilitate și ductilitate. Aliajul AS21B are compoziția modificată pentru a obține aceeași rezistență la coroziune în mediu sărat ca aliajele de înaltă puritate.

Aliajul	Rezistența la rupere Rm (Mpa)	Limita de curgere la tracțiune (Mpa)	Limita de curgere la compresiune (Mpa)	Alungirea A (%)	Energia la impact (J) epruveta necrestată	Rezistența la forfecare (Mpa)	Rezistența la oboseală 500.000.000 cicluri (Mpa)	Duritatea Brinell HB	Duritatea Rockwell, scara F HRCF
AM50A	200	110	-	10	-	-	-	58	-
AM60A	220	130	-	8	-	-	-	62	-
AS41A	210	140	-	6	-	-	-	-	-
AS41B	210	140	-	6	-	-	-	-	-
AZ91A	230	160	160	3	2	140	100	63	75
AZ91B	230	160	160	3	2	140	100	63	75
AZ91D	230	160	160	3	2	140	100	63	75
AM60B	220	130	-	8	-	-	-	62	-
AJ52A	221	141	90	7	5	-	60	60	-
AJ62A	232	141	105	7	10	-	80	61	-
AS21A	230	120	106	12	3.7	-	-	55	-
AS21B	231	122	106	13	3.7	-	-	55	-

Tabelul 2.9 Caracteristici mecanice ale aliajelor de magneziu turnate sub presiune, după ASTM B 94-05

2.5 - Compoziția chimică și proprietățile mecanice 23

Aliajul	Metoda de turnare	Tratament termic	Tracțiune			Compresiune		Energia la impact (J) epruveta necreatată	Rezistența la forfecare (MPa)	Oboseală		Duritatea HB
			Rezistența la rupere Rm (MPa)	Limita de curgere (MPa)	Alungirea A (%)	Rezistența la rupere Rm (MPa)	Limita de curgere (MPa)			epruvetă necreatată (MPa)	epruvetă creatată (MPa)	
AM50A	D	F	200	110	10	-	-	9.5	-	-	70	57
AM60B	D	F	220	130	8	-	-	6.1	-	-	70	62
AZ81A	S	F	140	85	2	280-340	75-90	-	-	75-85	58-65	55-70
		T4	200	80	7	325-415	75-90	-	-	75-90	60-70	55-70
	K	F	185	85	4	-	-	-	-	-	-	-
		T4	230	80	10	260	105	-	140	-	70	55-70
AZ91B	S	F	125	95	-	280-340	85-110	-	-	77-85	58-65	60-75
		T4	200	80	4	185-432	75-110	-	-	77-92	65-77	60-75
		T6	200	120	-	385-465	110-140	-	-	70-77	58-62	85-100
	K	F	170	100	2	-	-	-	-	-	-	-
		T4	215	80	5	-	-	-	-	-	-	-
		T6	215	120	2	-	-	-	-	-	-	-
AZ91D	D	F	230	160	3	230	160	2.2	140	100	70	75
ZC63	S	T6	210	125	2	206	104	-	-	90	-	60-75
QE22	S	T6	240	175	2	310-385	165-200	-	-	100-110	60-70	80-105
	K	T6	240	175	2	-	-	-	-	-	-	-
MSR-8	S	T6	240	185	2	310-385	165-200	-	-	100-110	60-70	80-105
	K	T6	240	185	2	-	-	-	-	-	-	-
EQ21	S	T6	240	175	2	310-385	165-200	-	-	100-110	60-70	80-105
	K	T6	240	175	2	-	-	-	-	-	-	-
RZ5	S	T5	200	135	3	330-365	130-150	-	140	90-105	75-90	60-80
	K	T5	215	135	4	-	-	-	-	-	-	-
ZRE1	S	T5	140	95	3	275-340	85-120	-	-	66-75	50-55	55-70
	K	T5	155	100	3	-	-	-	-	-	-	-
WE43	S	T6	220	172	2	323	187	-	-	85	-	85-105
	K	T6	220	172	2	-	-	-	-	-	-	-
WE54	S	T6	255	185	2	410	167-175	-	-	95-100	-	90-105
	K	T6	255	185	2	-	-	-	-	-	-	-
Elektron21	D	T6	280	170	5	367	168	-	172	115-120	-	55

Tabelul 2.10 Proprietățile mecanice ale aliajelor de magneziu la 20°C, după Magnesium Elektron

24 Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu-2

Proprietatea	U.m.	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS31	AS21	AE44	AE42
Rezistența la rupere, Rm	MPa	248	247	237	206	240	216	230	245	237
Limita de curgere 0,2% , Rp02	MPa	148	123	116	94	130	130	120	142	134
Limita de curgere la compresiune	MPa	148	-	113	74	-	-	106	-	103
Alungirea (Lo =50 mm)	%	6.6	12	14	16	10	8	12	10	10
Modulul de elasticitate	GPa	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Modulul de elasticitate transversal	GPa	17	-	-	-	-	-	-	-	-
Duritatea Brinell	HBS 1/5	70	65	60	45	60	-	55	62	60
Reziliența Charpy, fără crestătură	J	6	17	18	18	4	-	5	15	18

Tabelul 2.11 Proprietățile mecanice ale aliajelor de magneziu la 20°C, după Norsk Hydro. Coeficientul lui Poisson se consideră 0.35 pentru toate aliajele.

Aluminiu %	Rezistența la rupere (MPa)	Limita de curgere (MPa)	Alungirea relativă. (%)
2.0	217 (3)	99 (7)	18.8 (2.0)
4.8	229 (12)	116 (3)	15.2 (1.7)
5.3	249 (6)	123 (3)	16.0 (1.3)
5.8	253 (8)	125 (5)	16.1 (1.4)
6.4	250 (12)	131 (6)	14.3 (2.9)
6.9	248 (14)	132 (5)	12.8 (2.5)
7.5	258 (10)	151 (9)	8.7 (1.8)
8.0	245 (7)	159 (18)	5.4 (1.6)

Tabelul 2.12 Rezistența și alungirea aliajelor de magneziu în funcție de conținutul de aluminiu, după IMA

Ali Aliaj	Proprietate	Viteza încercării (mm/min)				
		0.5	1	20	100	200
AZ91	Rm (MPa)	246 (10)	243 (11)	250 (12)	246 (5)	252 (7)
	Rp0,2 (MPa)	150 (5)	147 (7)	155 (6)	176 (5)	163 (23)
	A5 (%)	6.8 (1.0)	6.6 (0.8)	7.1 (1.2)	6.6 (0.6)	7.1 (0.9)
AM60	Rm (MPa)	246 (11)	250 (8)	253 (2)	246 (3)	247 (11)
	Rp0,2 (MPa)	119 (5)	120 (3)	133 (7)	143 (4)	142 (3)
	A5 (%)	15.8 (2.2)	17.2 (2.5)	16.1 (1.8)	14.4 (1.7)	13.1 (2.7)

Tabelul 2.13 Dependența alungirii și rezistenței aliajelor de magneziu de viteza de încercare, după IMA

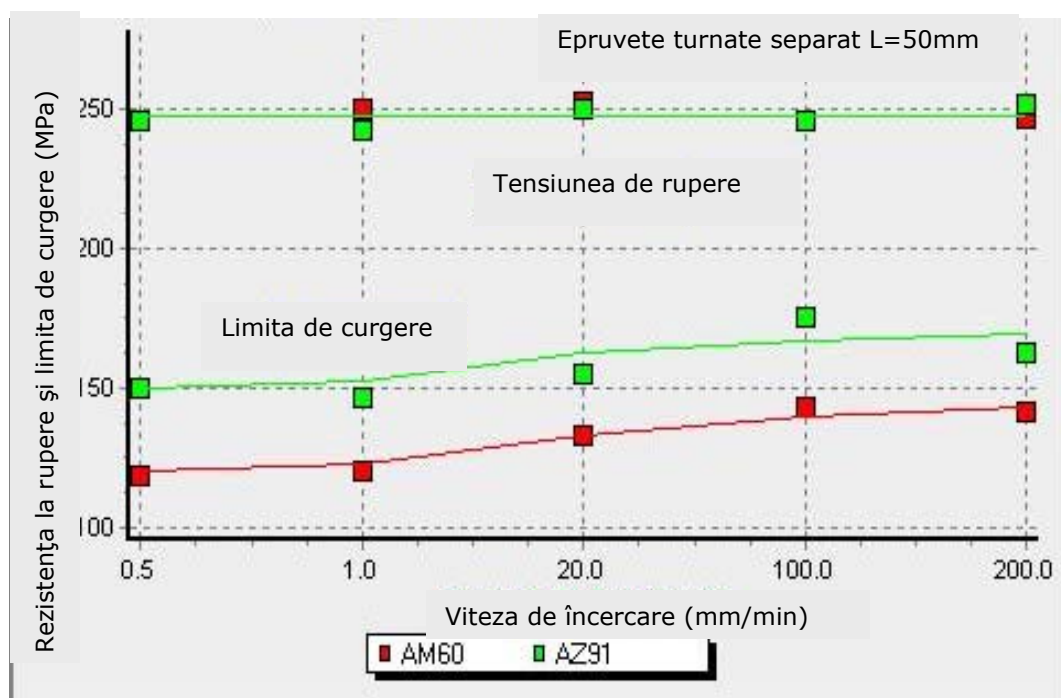


Figura 2.9 Dependența rezistenței aliajelor de magneziu de viteza de încercare, după IMA

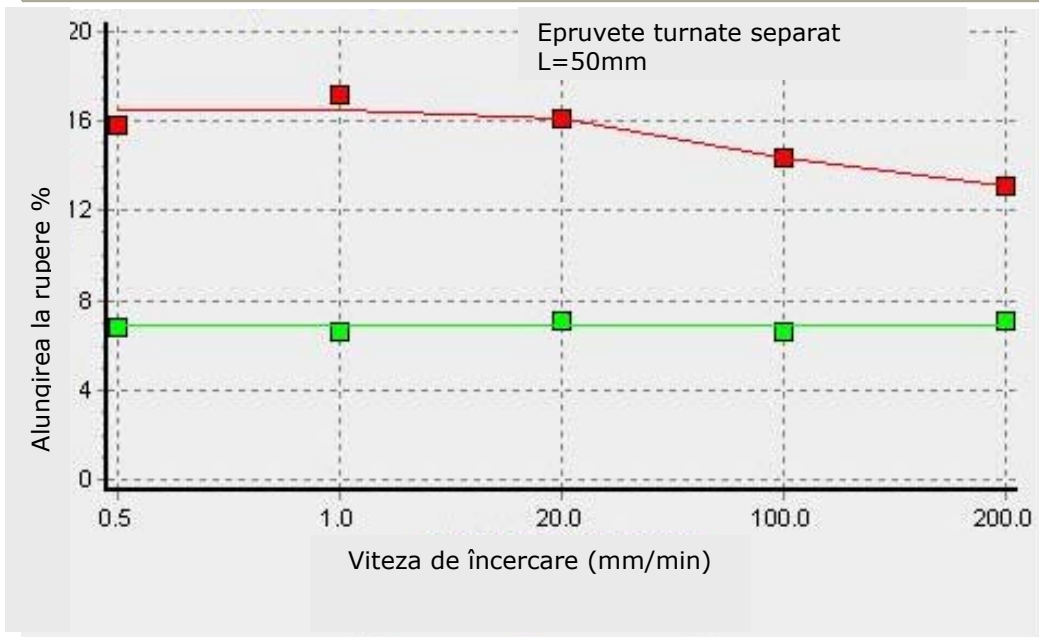


Figura 2.10 Dependența alungirii la rupere a aliajelor de magneziu de viteza de încercare, după IMA

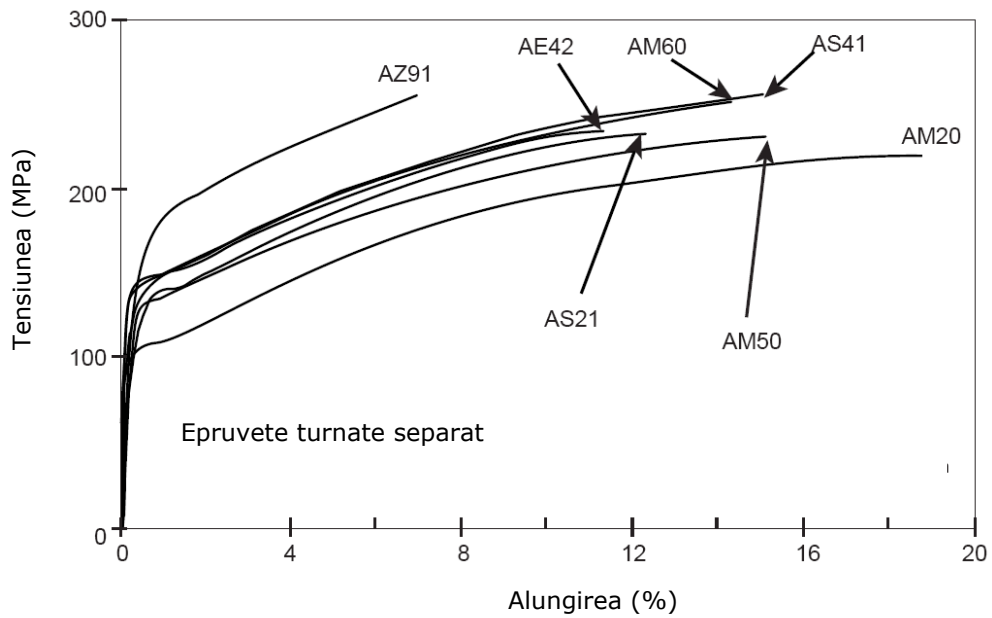


Figura 2.11 Curbele caracteristice la tracțiune pentru aliajele de magneziu, după Norsk Hydro

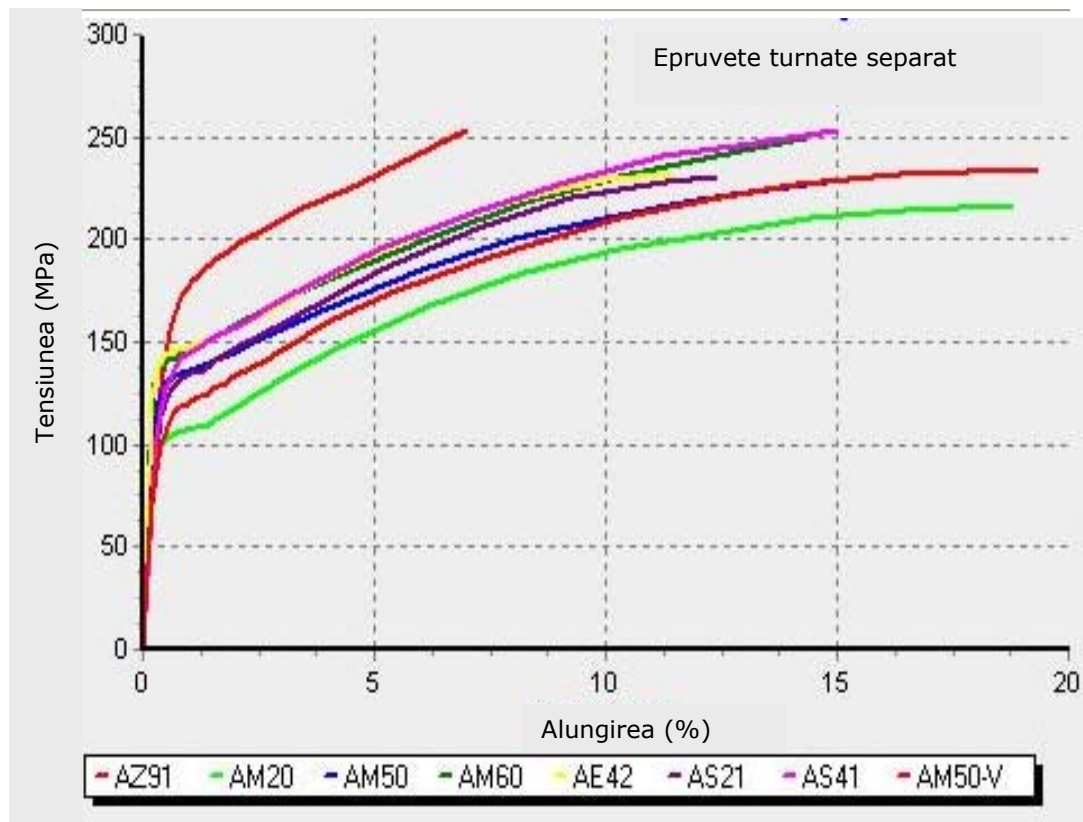


Figura 2.12 Curbele caracteristice la tracțiune pentru aliajele de magneziu, după IMA

T (°C)	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A5 (%)
23	217 (3)	99 (7)	18.8 (2.0)
75	191 (2)	95 (8)	27.1 (1.9)
100	176 (2)	88 (4)	24.6 (1.0)
125	155 (7)	81 (5)	20.0 (2.9)
150	135 (6)	77 (3)	22.0 (6.1)

Tabelul 2.14 Rezistența și alungirea aliajului AM20 la diferite temperaturi, după IMA

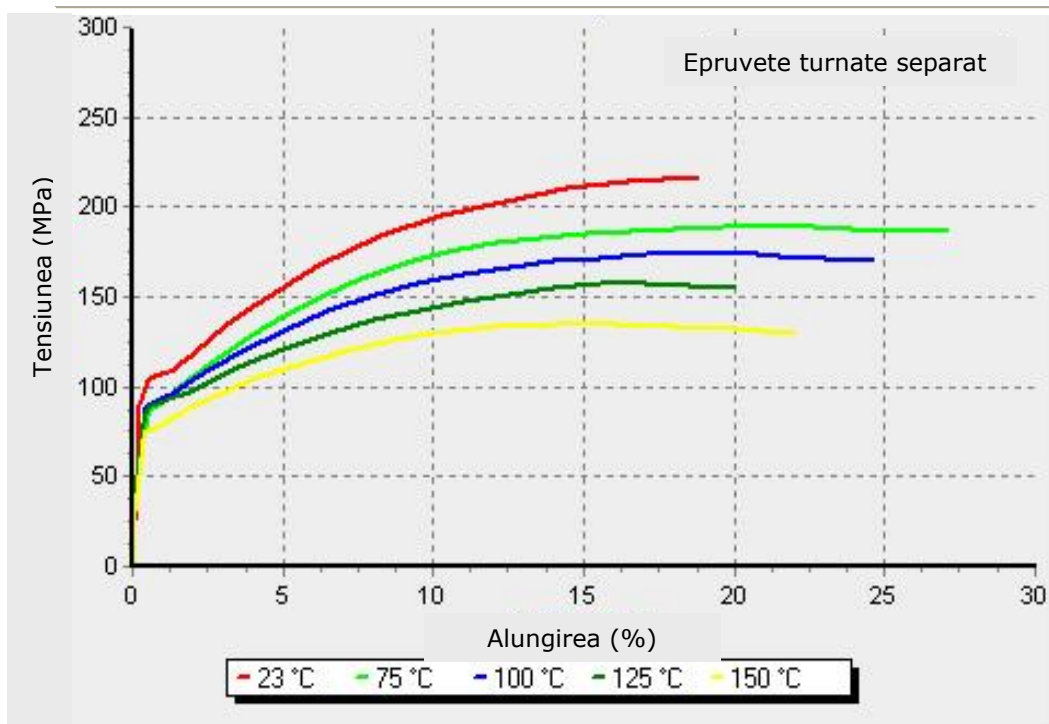


Figura 2.13 Curbele caracteristice la tracțiune la diferite temperaturi pentru aliajul AM20, după IMA

T (°C)	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A5 (%)
23	250 (12)	131 (6)	14.3 (2.9)
75	223 (9)	128 (4)	14.0 (1.8)
100	216 (2)	115 (2)	24.9 (1.8)
150	152 (3)	100 (6)	24.0 (9.2)

Tabelul 2.15 Rezistența și alungirea aliajului AM60 la diferite temperaturi, după IMA

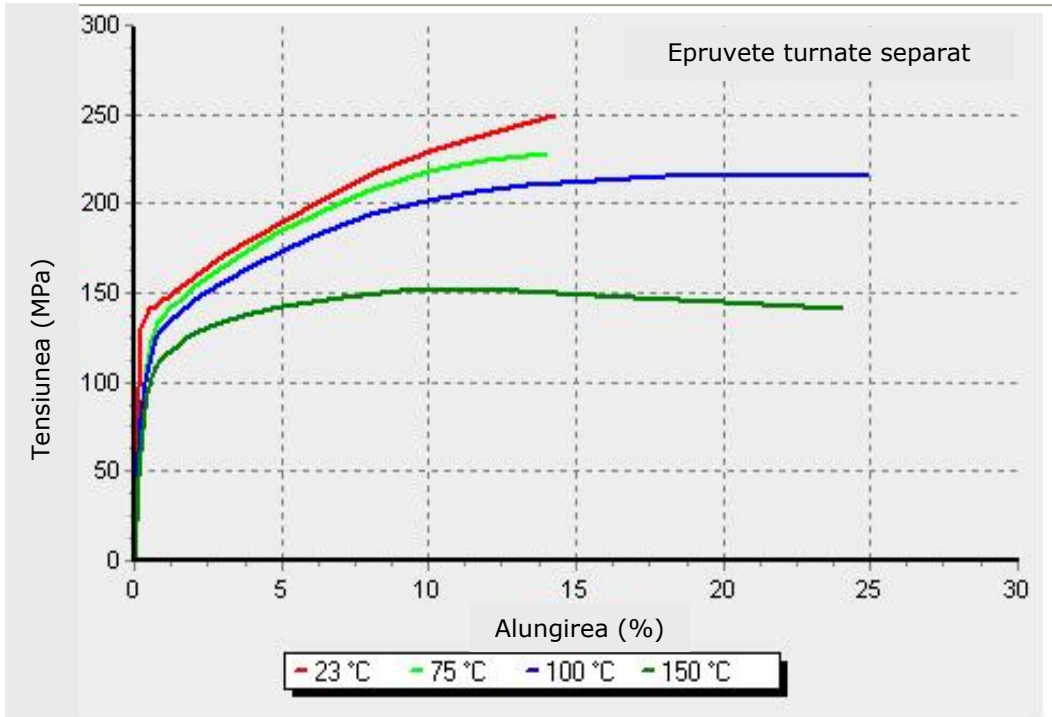


Figura 2.14 Curbele caracteristice la tracțiune la diferite temperaturi pentru aliajul AM60, după IMA

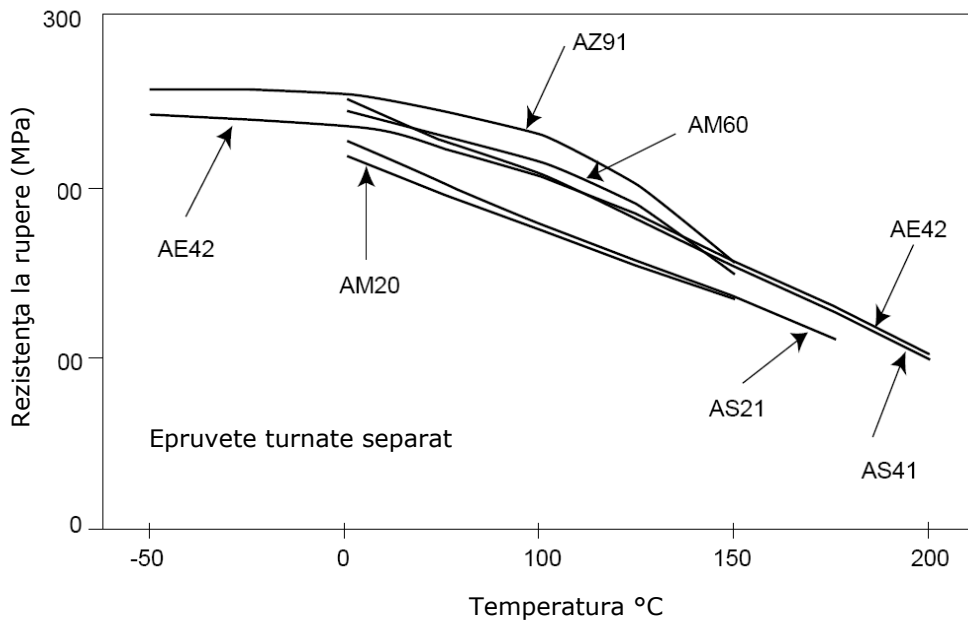


Figura 2.15 Rezistența la rupere în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după Norsk Hydro.

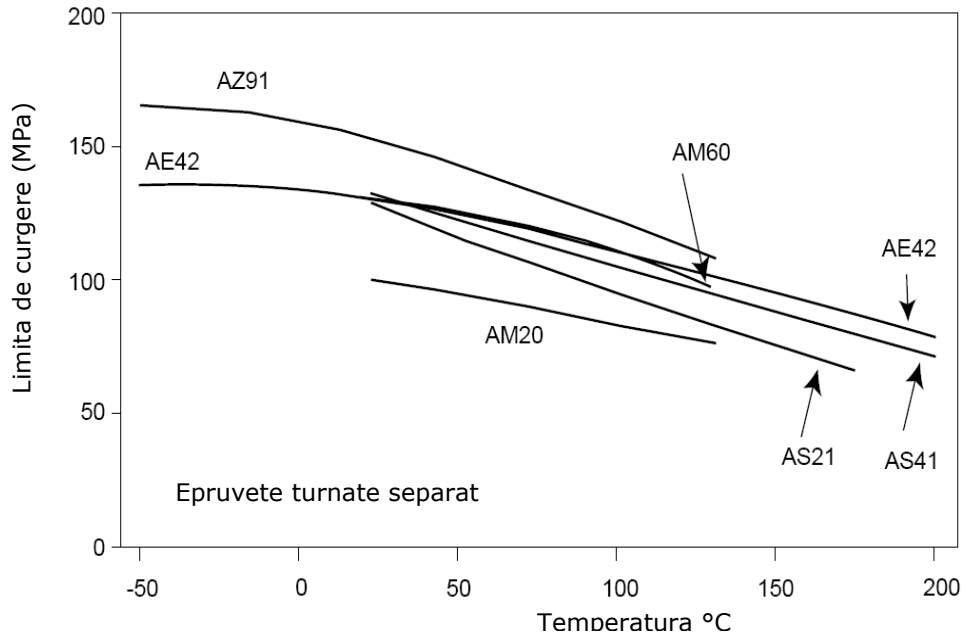


Figura 2.16 Limite de curgere în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după Norsk Hydro.

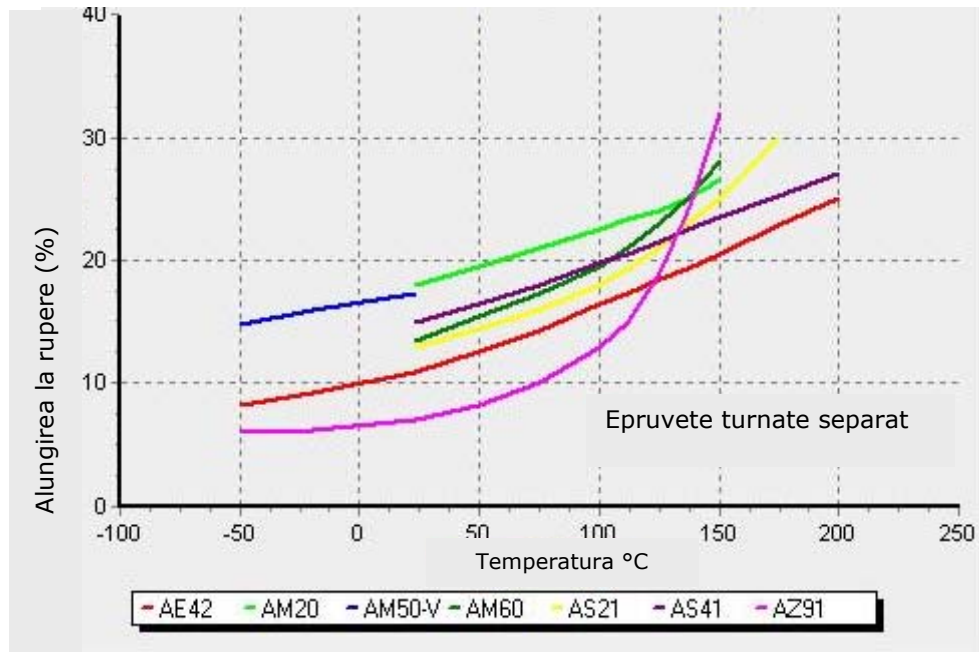


Figura 2.17 Alungirea la rupere în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după IMA

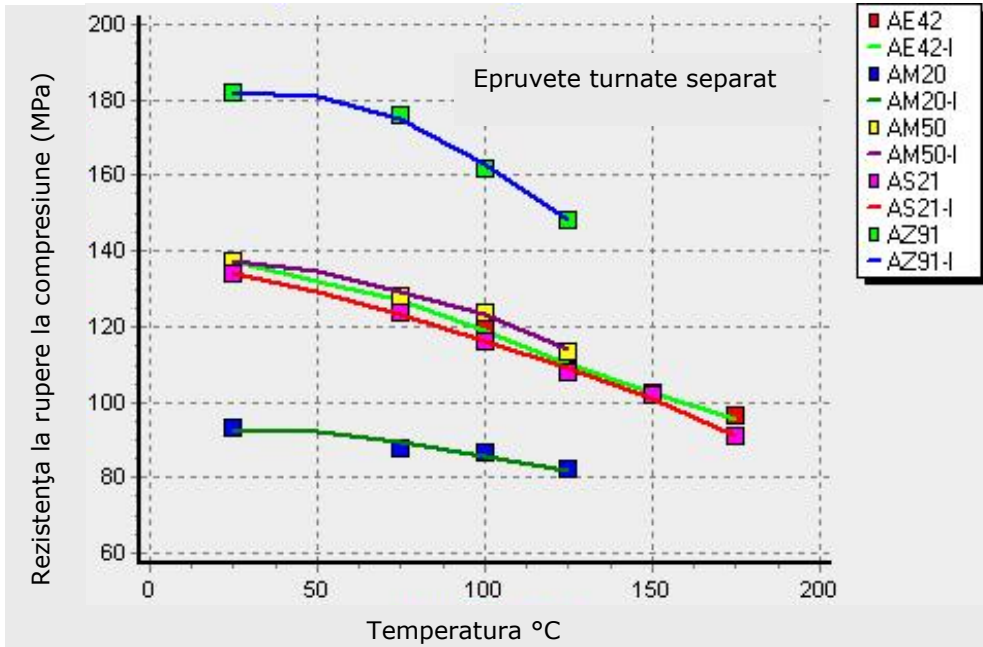


Figura 2.18 Rezistența la rupere la compresiune în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după IMA

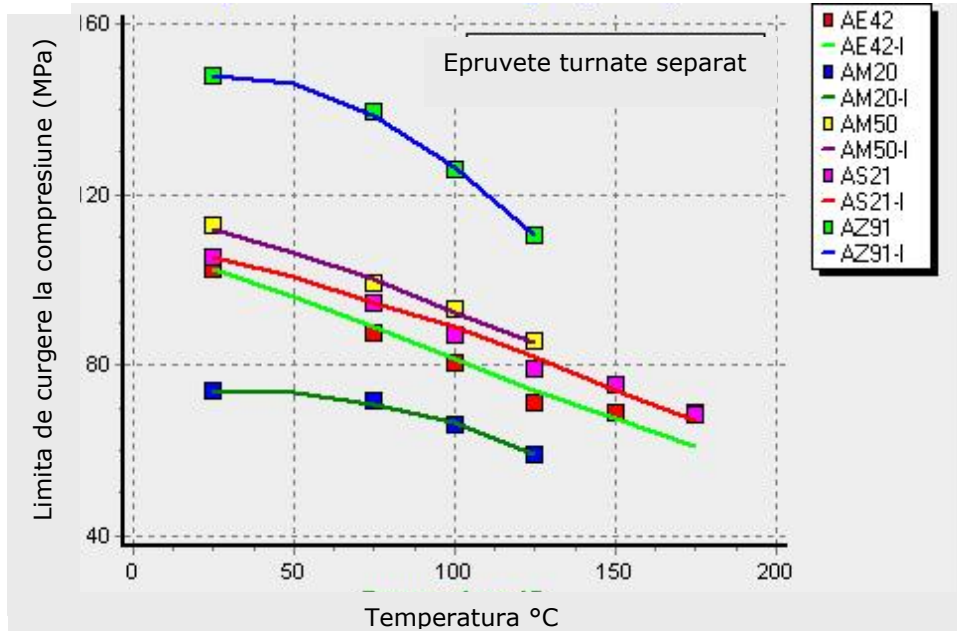


Figura 2.19 Limita de curgere la compresiune în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după IMA

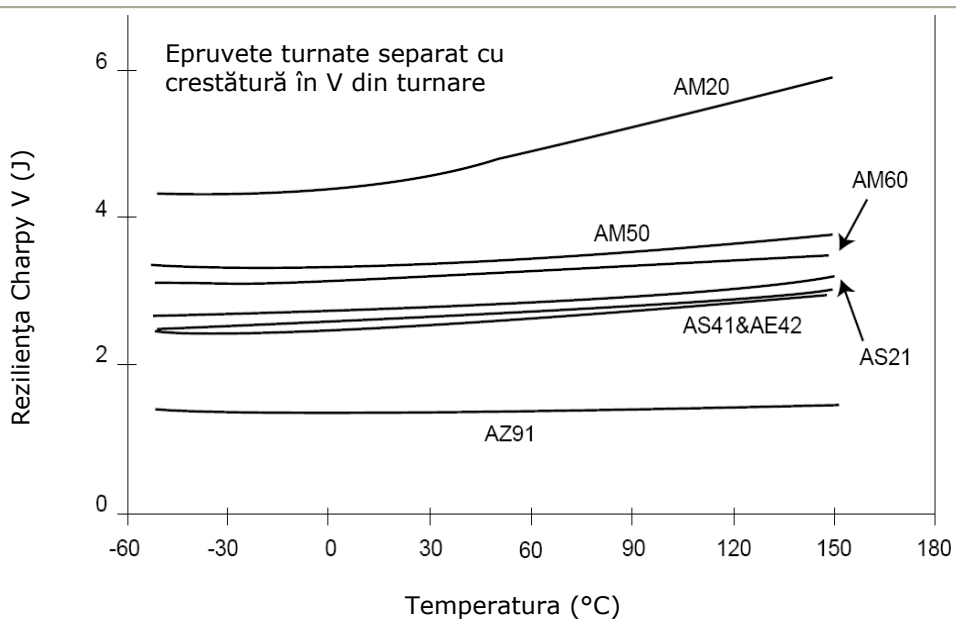


Figura 2.20 Reziliența Charpy V în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după Norsk Hydro.

Reziliența pe epruvete turnate individual				
Aliaj	Charpy V (J)	Necreată (J)	Alungirea la rupere (mm)	Comentarii
AE42	2.7 (0.1)	12.4 (1.8)	11.4	3.8% Al, 2.3% RE
AM20	4.4 (0.2)	18.4 (4.8)	18.8	2.0% Al
AM50	5.4 (0.3)	36.8 (4.5)	19.3	4.8% Al (Vid)
AM50	3.2 (0.3)	17.7 (5.2)	16.0	5.3% Al
AM50	3.3 (0.4)	18.3 (4.0)	15.2	4.8% Al
AM60	2.8 (0.2)	18.1 (5.0)	14.3	6.4% Al
AM60	3.1 (0.2)	16.7 (4.3)	16.1	5.8% Al
AM70	1.8 (0.2)	7.2 (2.4)	8.7	7.5% Al
AM70	2.4 (0.3)	18.0 (3.9)	12.8	6.9% Al
AM80	1.1 (0.4)	3.8 (1.7)	5.4	8.0% Al
AS21	2.9 (0.1)	11.6 (1.4)	14.0	2.0% Al, 0.7% Si
AS41	2.7 (0.1)	15.8 (1.4)	15.0	4.0% Al, 0.7% Si
AZ91	1.4 (0.1)	9.3 (2.0)	7.0	9.2% Al

Tabelul 2.16 Reziliența la 23°C a aliajelor de magneziu, după IMA

Reziliența (J)					
Aliajul	-50° C	-20° C	23° C	75° C	150° C
AZ91	1.3 (0.2)	1.4 (0.1)	1.4 (0.1)	1.4 (0.2)	1.5 (0.1)
AM20	4.4 (0.2)	4.2 (0.4)	4.4 (0.2)	5.2 (0.2)	5.9 (0.5)
AM50	3.3 (0.2)	3.3 (0.3)	3.3 (0.4)	3.5 (0.1)	3.7 (0.5)
AM60	3.2 (0.2)	3.0 (0.1)	3.1 (0.2)	3.5 (0.2)	3.5 (0.4)
AE42	2.4 (0.2)	2.5 (0.2)	2.7 (0.1)	2.7 (0.4)	3.2 (0.4)
AS21	2.6 (0.1)	2.8 (0.2)	2.8 (0.2)	2.9 (0.2)	3.2 (0.3)
AS41	2.6 (0.2)	2.5 (0.1)	2.6 (0.2)	2.8 (0.4)	3.0 (0.1)

Tabelul 2.17 Reziliența Charpy V în funcție de temperatură a aliajelor de magneziu, după IMA

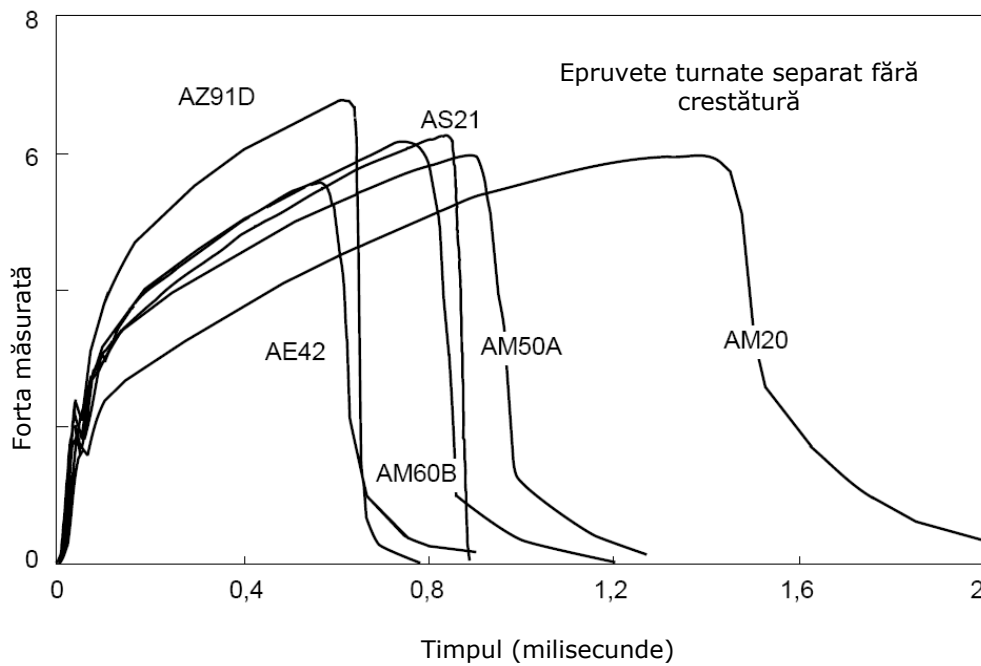


Figura 2.22 Încercarea la șoc pe epruvete netede a aliajelor de magneziu, după Norsk Hydro

3. Particularități tehnologice ale prelucrării aliajelor de magneziu folosite în industria de automobile

3.1 Tehnologia de obținere pieselor din magneziu

Magneziul se obține industrial prin două metode, având costuri, consum energetic și pondere apropiate pe piața mondială. Acestea sunt procedeul silicotermic și electroliza clorurii de magneziu. Procedeul silicotermic, sau procedeul Pidgeon, constă în reducerea oxidului de magneziu, sub formă de praf de dolomită calcinată, cu ferosiliciu. Numai siliciul participă la reacție, fierul se recuperează. Magneziul se îndepărtează din cuptor sub formă de vapori care ulterior sunt distilați. Procedeul electrolitic constă în electroliza clorurii de magneziu. În Europa se folosește cu precădere procedeul electrolitic.

În industrie magneziul se folosește de un secol, dar mult timp utilizarea a lui a fost frânată de prețul ridicat și rezistența mică la coroziune. Descoperit în 1808 de Humphrey Davy, și izolat douăzeci de ani mai târziu de Antoine Bussy, a început să fie produs industrial în 1886 în cantități mici. Consumul de magneziu pentru turnare a crescut rapid, cu peste 25% în medie pe an după 1980 datorită apariției unor aliaje suficient de rezistente la coroziune. În prezent este al treilea metal ca utilizare în construcția de mașini și componente, după fier și aluminiu, iar în 2007 s-a estimat o producție de 750 000 tone, împărțită în 4 domenii: 40-45% aliere cu aluminiul, 33-35% construcția de mașini, în principal piese turnate, 13% producția oțelului (desulfurare), restul electrochimie. Aproximativ 80% din piesele turnate din magneziu se folosesc în industria auto. Cel mai mare producător în 2007 a fost China, cu peste 600 000 tone.

Aliajele din magneziu se pot turna prin mai multe procedee, în funcție de compoziție: în nisip, în forme permanente, cu ceară pierdută, sub presiune. Procedeul care asigură o bună precizie pentru forme complexe și e cel mai folosit în industria auto este turnarea sub presiune. Injecția la turnarea sub presiune se face la presiune înaltă și viteză ridicată, uzual fiind împărțită în două etape cu regimuri diferite. Condițiile de lucru duc la o curgere turbulentă a metalului topit în matriță.

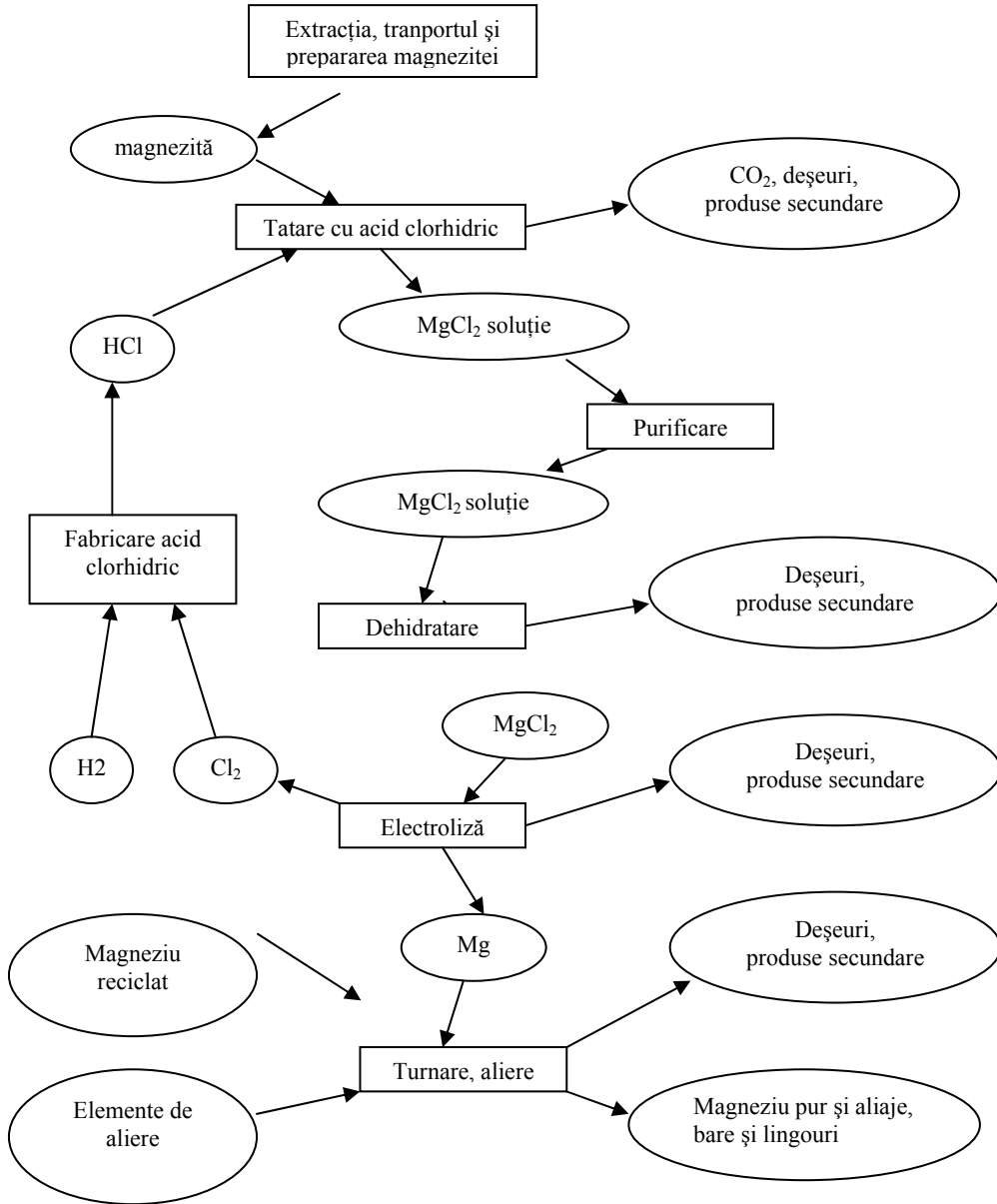


Figura 3.1 Obținerea industrială a magneziului prin procedeul electrolic (după Norsk Hydro)

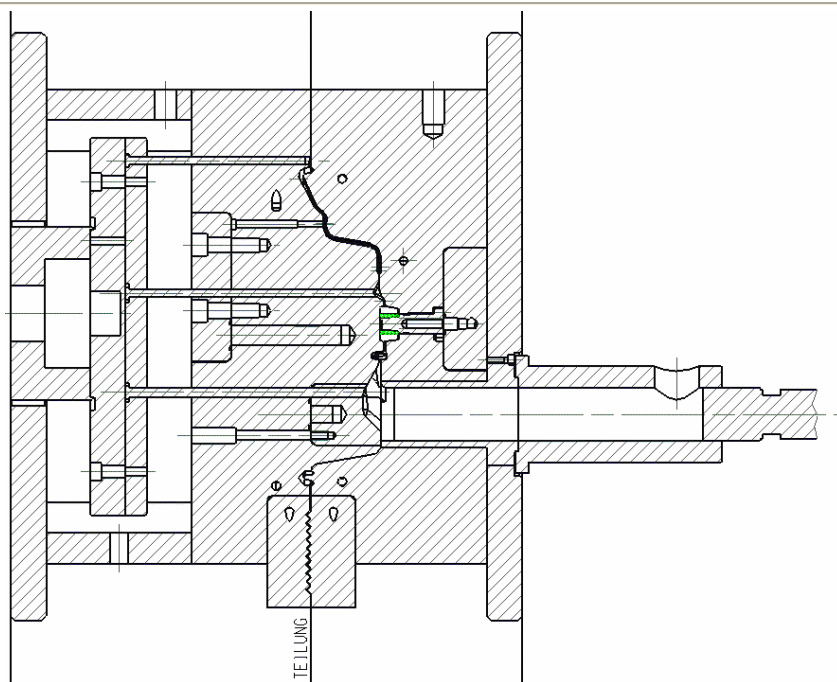


Figura 3.2 Fazele turnării sub presiune. Pregătirea și închiderea matriței

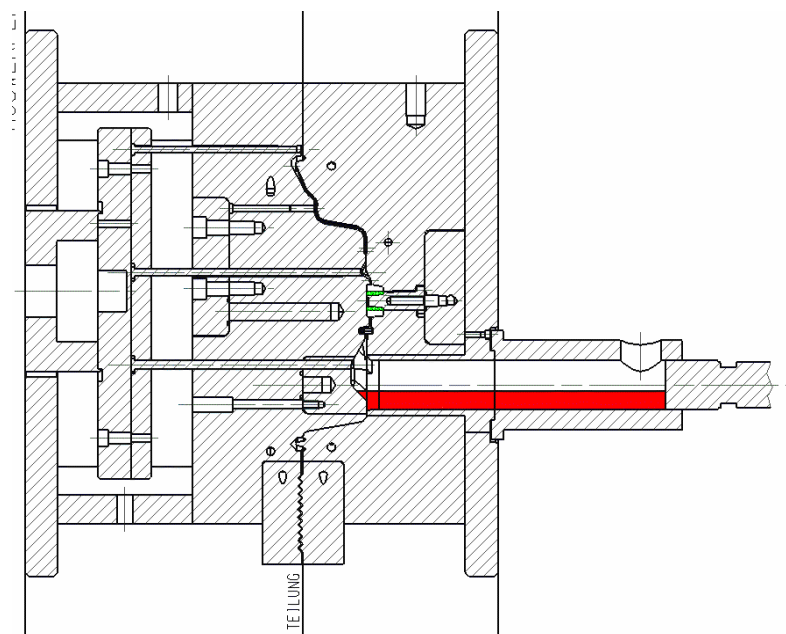


Figura 3.3 Fazele turnării sub presiune. Pregătirea topiturii pentru injecție

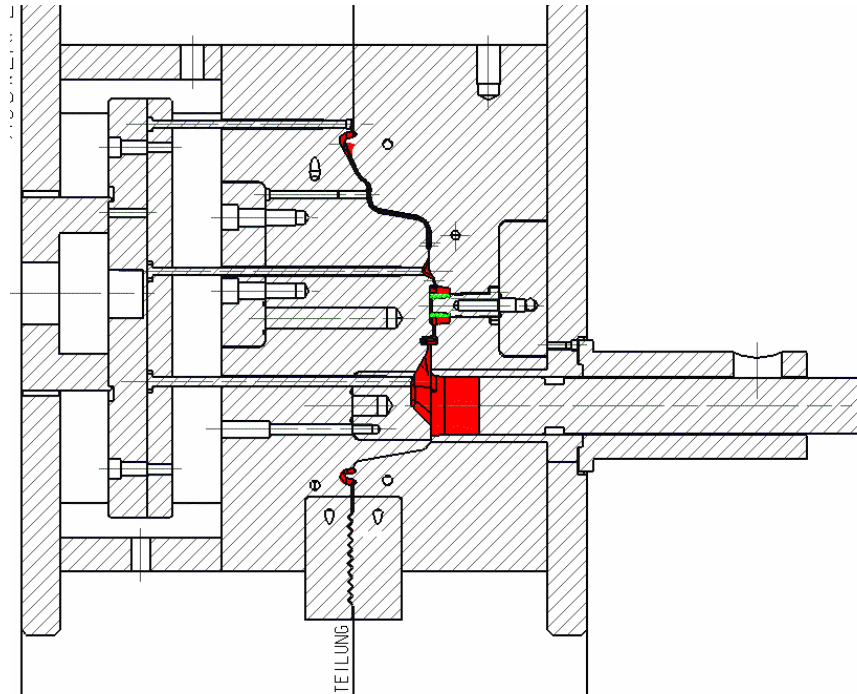


Figura 3.4 Fazele turnării sub presiune. Injecția

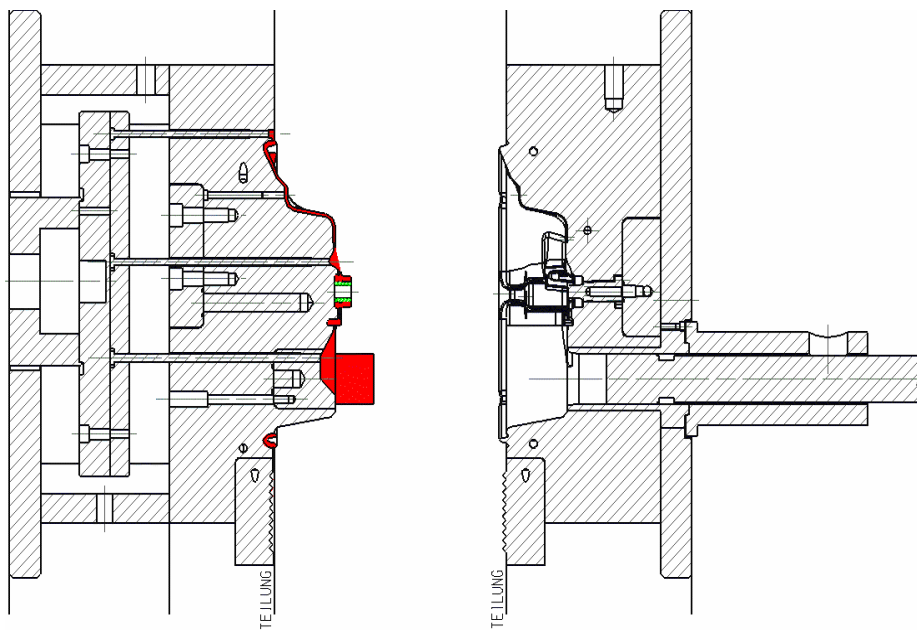


Figura 3.5 Fazele turnării sub presiune. Deschiderea matriței și extragerea piesei

3.2 Porozitatea pieselor turnate din aliaje de magneziu

Aliajele folosite obișnuit pentru turnarea sub presiune, AM60 și AM50 prezintă o structură metalografică formată din trei componente, și anume în matricea de magneziu se găsesc segregări și compușii intermetalici $Al_{12}Mg_{17}$ și Al_6Mn .

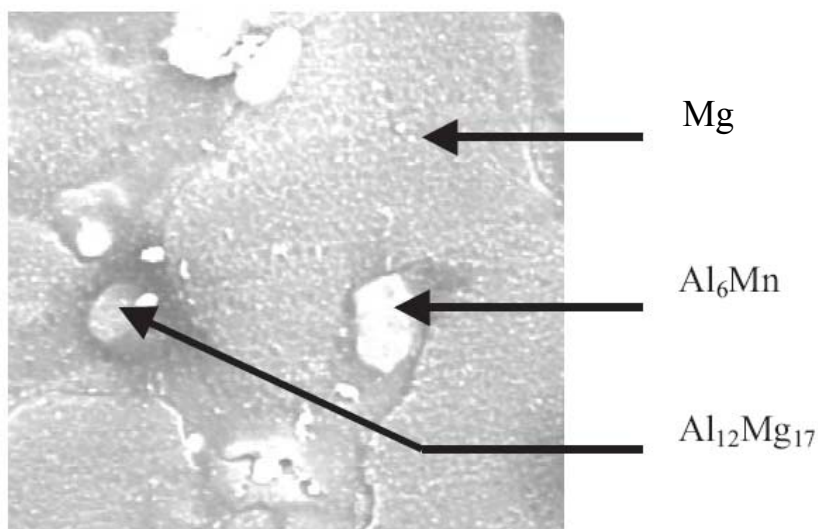


Figura 3.6 Structura aliajului AM50A turnat sub presiune

Din cauza curgerii turbulente la turnare și a altor factori, în piesă apar defecte de turnare sub formă de pori și segregarea grăunților. Măsurând nivelul porozității în zone diferite ale unor piese turnate s-au observat variații mari în funcție de zona de unde s-a prelevat proba. Microduratea și dimensiunea grăunților variază nu numai de la exterior spre interior în fiecare secțiune, dar și de la o zona la alta a piesei. Mai jos e dat exemplul unui schelet de volan.

Zona	Numărul grăunților pe unitatea de secțiune			Microduratea în secțiune		
	centru	margine	medie	centru	margine	medie
jantă jos	8.8	9.2	9.1	61.666	64.050	62.858
jantă sus	7.3	9.4	8.6	59.730	66.780	63.255
zona injecție	7.4	8.4	8.0	57.042	62.608	59.825
spiță laterală	8.3	8.5	8.4	58.950	65.523	62.237

Tabelul 3.1 Mărimea grăunților și microduratea Vickers în diferite zone ale unui schelet de volan

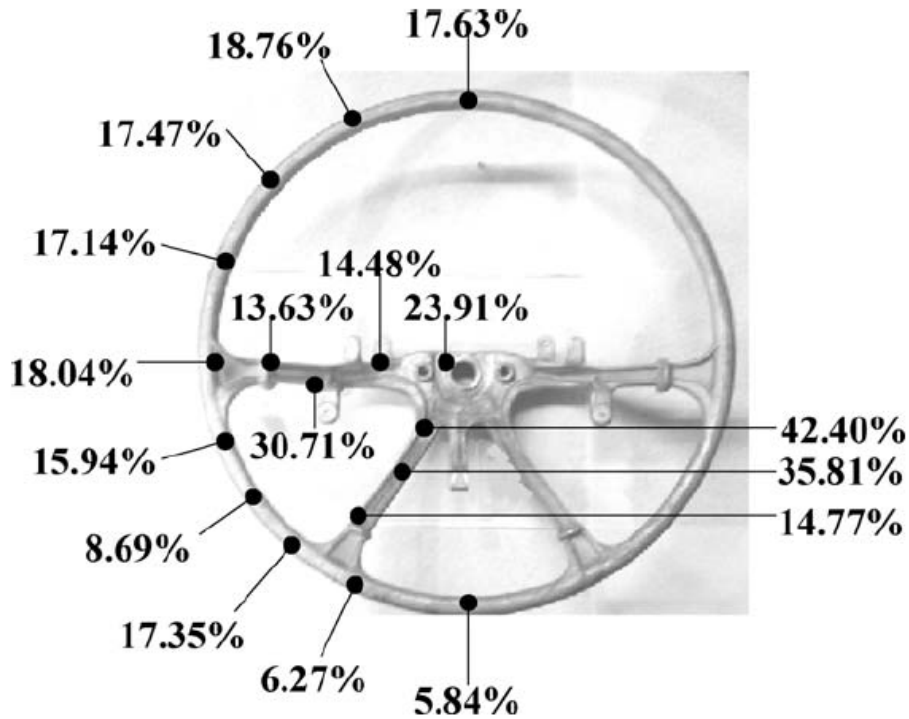


Figura 3.7 Distribuția porozității în volumul unui schelet de volan turnat din aliaj de magneziu

În lucrarea [41] s-a studiat porozitatea aliajului AM60B în funcție de parametrii de turnare și s-a observat ca nivelul porozității scade în general cu creșterea presiunii, creșterea vitezei fazei a doua de turnare, scăderea vitezei primei faze de turnare și scăderea cursei de turnare a pistonului. S-a mai observat că aceste dependențe nu se pot descrie suficient de precis și că porozitatea variază în volumul piesei, în principal în funcție de distanța de la punctul de injecție.

Optimizarea regimului de turnare folosind programe de simulare a turnării pentru a obține o structură uniformă au dus la caracteristici mecanice omogene, după cum se arată în același articol, unde abaterile caracteristicilor mecanice s-au situat în limita a 5% în jurul mediei pentru 5 regiuni diferite ale scheletului volanului. De asemenea, porozitatea este mult redusă în cazul turnării tixotropice a magneziului, care în plus asigură caracteristici mecanice superioare și precizie dimensională sporită.

3.3 Tehnologia de injecție a magneziului în stare semisolidă

Aliajele de magneziu se pot turna în forme nu numai în stare lichidă, ci și în stare semisolidă, prin tehnologia de formare în stare semisolidă care are trei

variate: thixomolding, thixocasting și rheocasting. Metoda cu cele mai mari perspective de viitor este tehnologia thixomolding. Formarea materialului în stare semisolidă se bazează pe fenomenul de thixotropie, care a fost descoperit în 1972 de către M.C. Fleming și D. B. Spencer în studiile lor asupra plasticității unor materiale formate din 60% stare solidă și 40% stare lichidă. Thixotropia este fenomenul prin care vâscozitatea unui material vâscoelastic scade în urma agitației mecanice. Studii ulterioare au atârnat rolul tensiunilor tangențiale din material și a deplasărilor relative dintre straturi. Datorită tensiunilor tangențiale formațiunile dendritice sunt mărunțite și materialul thixotropic capătă o structură globulară. Structura globulară se păstrează și după răcire.

Tehnologia „Thixomolding” a fost brevetată în 1990 de firma Thixomat după un procedeu descoperit de Dow chemicals

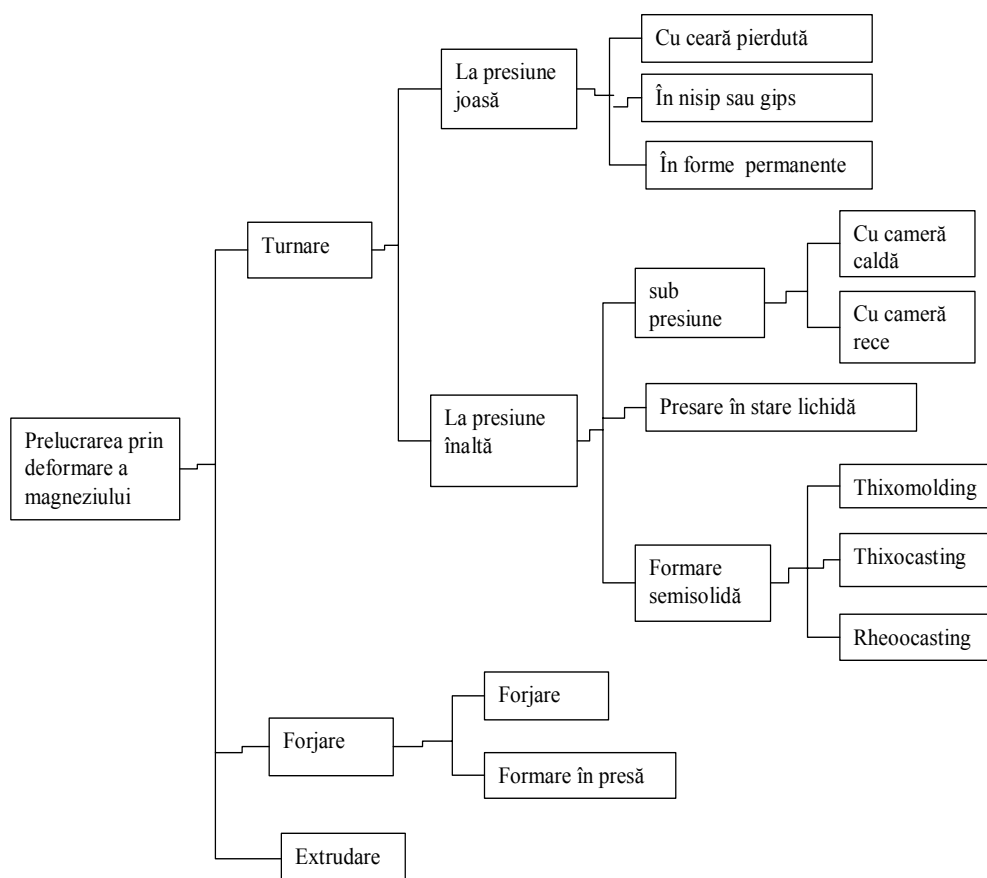


Figura 3.8 Procedeele de prelucrare prin deformare a aliajelor de magneziu

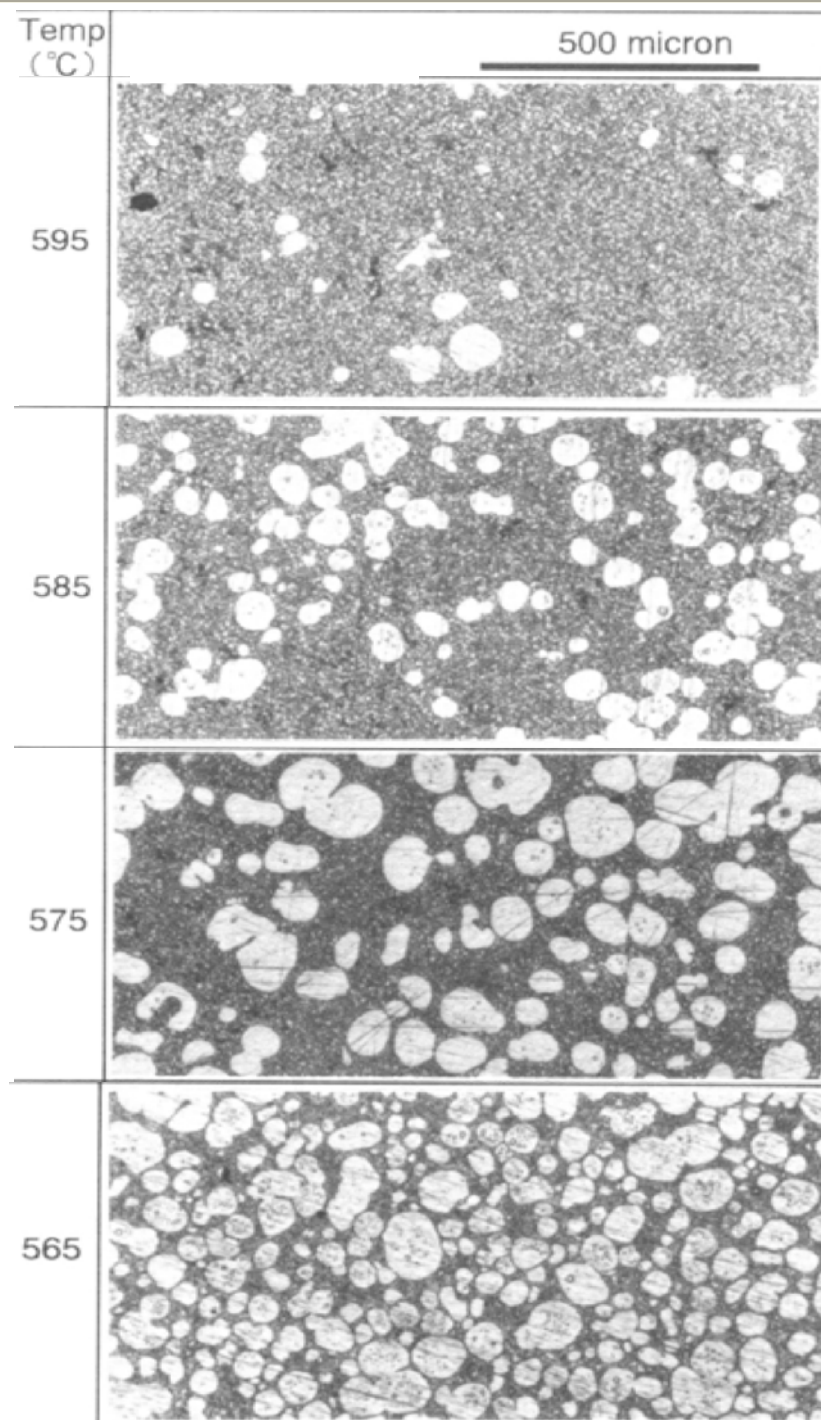


Figura 3.9 Structura aliajului AZ91D la diferite temperaturi

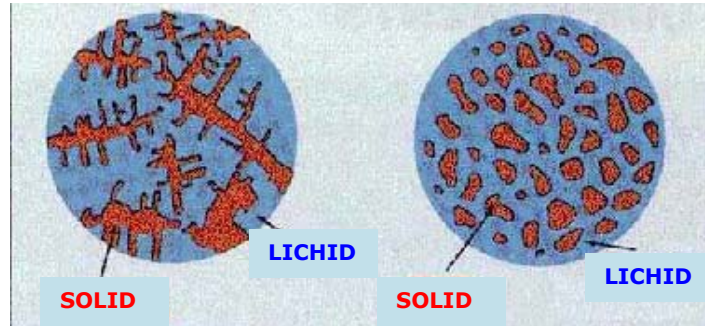


Figura 3.10 Structura topiturii obișnuite (stânga) și cea thixotropică (dreapta) la aceeași temperatură

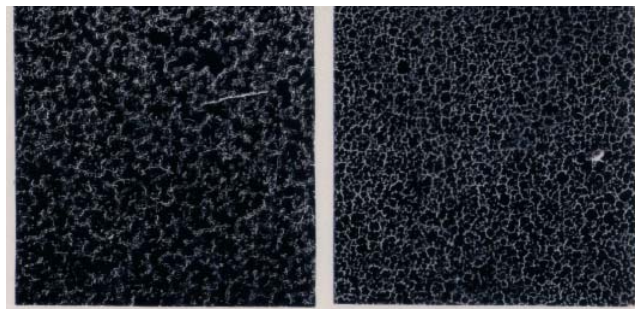


Figura 3.11 Structura unei piese turnate sub presiune (stânga) și a unei piese obținute prin injecție thixotropică (dreapta)

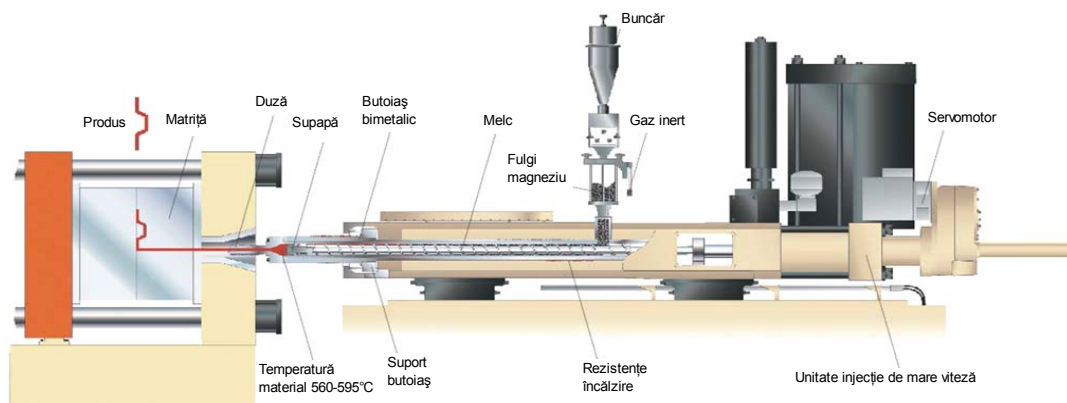


Figura 3.12 Schema mașinii de injecție a magneziului prin tehnologia thixomolding

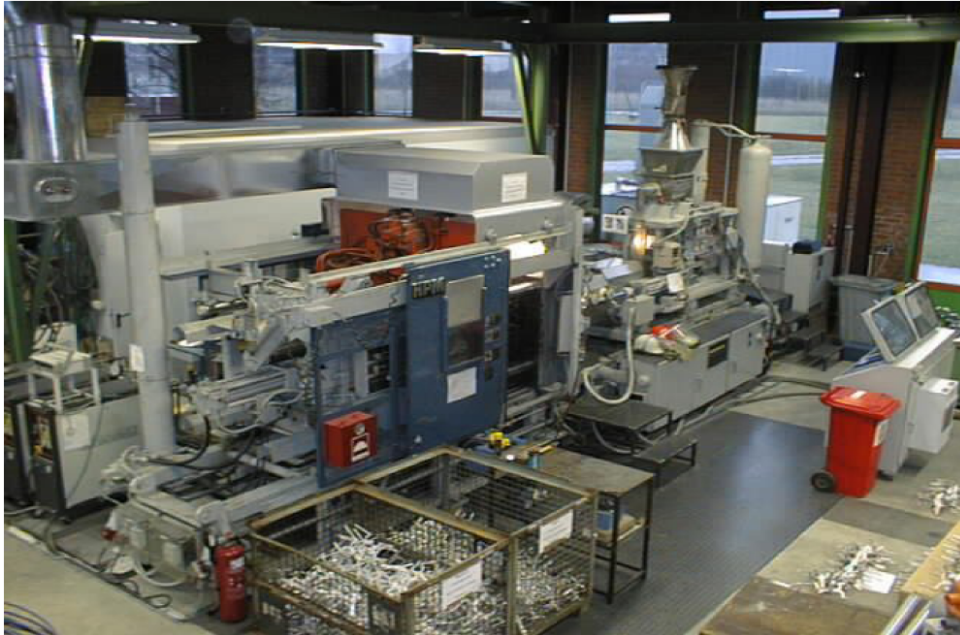


Figura 3.13 Mașina de injecție a magneziului prin tehnologia thixomolding

Mașina de injecție thixomolding e similară cu cea de injectat materiale termoplastice. Ea se alimentează cu aliaj metalic măcinat la dimensiunea de 1-2cm. Prin rotirea melcului, materialul e adus în zona de încălzire prin rezistențe electrice, unde e amestecat și topit și datorită forțelor tăietoare mari capătă o structură thixotropică. Întregul proces se desfășoară în atmosferă de argon. Materialele cele mai potrivite pentru prelucrarea pe această mașină sunt aliajele de magneziu. La acestea, temperatura de lucru e cu 50°C - 80°C mai mică decât la turnare.

Avantajele tehnologiei thixomolding față de injecția plasticului:

- rezistență mecanică
- rigiditate
- rezistență termică
- ecranare electrică și radio
- deformări mult mai mici la răcirea piesei
- suprafețe fără defecte de contracție.
- transfer termic și conductivitate electrică mult mai bune.
- reciclabilitate mai bună.

Avantajele tehnologiei thixomolding față de turnarea magneziului:

- porozitate cu până la 50% mai mică.
- precizie dimensională mai mare.
- repetabilitate dimensională mai bună.
- proprietăți mecanice superioare.
- posibilitatea de turna forme mai complexe.
- posibilitatea de turna înclinări de până la 0° (uzual 0.5°-2°)
- posibilitatea de a turna pereți mai subțiri, până la 0.5 mm, implicit piese mai ușoare.
- pornire, oprire și schimbare mai rapidă procesului tehnologic.

-eliminarea pierderilor la topire.
-mai ecologică, folosește argon față de hexaclorețanul și hexaflorura de sulf folosită la turnarea clasică.

O îmbunătățire a tehnologiei constă în încălzirea culeei și a rețelei de injecție, pentru a împiedica solidificarea materialului injectat pe căile de acces la cavitatea de formare.

Avantajele sistemului cu rețea de turnare și culee caldă:

- reduce deșeurile cu 20-50%
- reduce ciclul de lucru cu 30%
- stabilizează calitatea producției
- permite folosirea de cavități multiple
- permite injectarea de piese mari

Dezvoltarea aplicațiilor tehnologiei thixomolding se face în trei direcții:

- piese complexe supuse la cerințe estetice, de masă și de funcționare, de ex. carcase de aparate electrice
- piese de dimensiuni mici supuse la forțe și solicitări importante, de ex. piese pentru mecanisme, roți dințate
- piese mari structurale, de exemplu armături, suporturi, șasiuri.

4. Cercetări teoretice și experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice ale aliajelor de magneziu folosite în industria de automobile

4.1 Introducere

Industria pieselor de magneziu este un domeniu în plină dezvoltare datorită avantajelor oferite de acest material, a abundenței și a prețului scăzut. Ca urmare a cererii, pe piață au apărut aliaje care încearcă să elimine unul din dezavantajele majore ale sistemelor uzuale de aliere a magneziului cu aluminiul sau zincul, și anume fluajul. Primele succese s-au obținut prin alierea cu pământuri rare. Mai recent au apărut și alte posibilități de aliere cu proprietăți comparabile sau superioare, dar un cost mai scăzut.

Firma Takata are în vedere lărgirea domeniului de activitate și se încearcă în mod constant folosirea de noi materiale. S-au încercat următoarele aliaje: AM50A și AM60B, aliaje uzuale cu o bună turnabilitate și proprietăți de absorbție a șocurilor, AE42 și AS21B, aliaje de referință pentru rezistența la fluaj, și AJ50X, AJ52X, MRI-153, aliaje dezvoltate recent, care încearcă să combine rezistența la fluaj cu o bună turnabilitate și un preț scăzut.

4.2 Procedura experimentală

Toate epruvetele au fost turnate în matriță cu mai multe cavități. Analiza chimică a verificat compoziția chimică a aliajelor ca fiind cea prevăzută în ASTM, respectiv specificațiile producătorului. De asemenea, cu ocazia turnării epruvetelor, s-a verificat și turnabilitatea fiecărui aliaj.

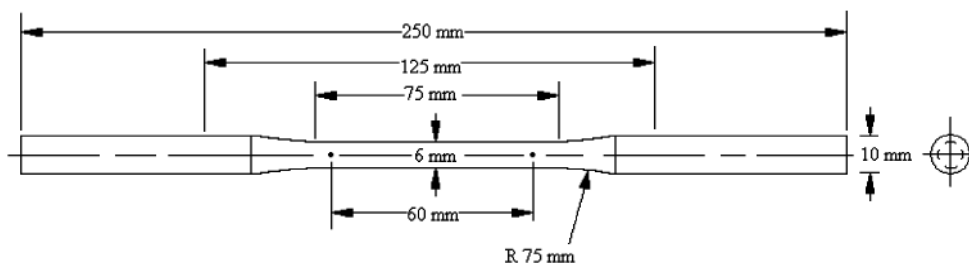


Figura 4.1 Epruveta pentru încercarea la tracțiune conform ASTM B 557M-94

Aliaj	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Fe	Alte elemente
AM50A	4.49	0.27	0.02	<0.01	0.001	0.004	<0.001 Ni
AM60B	5.93	0.28	0.020	<0.01	0.001	0.009	<0.001 Ni
AE42	3.55	0.23	0.002	-	<0.001	0.003	2.15 RE
AJ52X	4.53	0.27	0.018	0.010	0.002	0.006	1.75 Sr
AJ50X	4.55	0.25	0.001	<0.010	<0.001	0.010	0.19 Ca, 0.53 Sr
AS21B	2.02	0.060	0.22	1.03	0.0004	0.0023	0.064 RE, 0.0010 Ni, 8 ppm Be
MRI-153	4.5-10	0.15-1.0	-	-	-	0.003	0.05-1.0 RE, 0.01-0.2 Sr, 0.5-1.2 Ca

Tabelul 4.1 Compoziția chimică a epruvetelor încercate, conform analizei chimice.

Proprietățile de rezistență la întindere compresiune au fost măsurate conform ASTM E-8 și ASTM B-557 pe o mașină universală de încercat servohidraulică controlată de computer Instruon 8872. Pentru măsurarea alungirilor până la 1% s-a folosit un extensometru cu marcă tensometrică de 25.4 mm. Viteza inițială de creștere a alungirii a fost de 0.002/min. La alungirea de 1% testul a fost întrerupt pentru îndepărtarea extensometrului apoi testul a fost reluat cu o viteză de 2.54 mm/min. până la rupere.

Pentru determinarea modulului de elasticitate și a coeficientului de contracție transversală s-au folosit mărci tensometrice. În prealabil epruvetele au suferit 5 cicluri de întindere-compresiune până la 50% din tensiunea de curgere pentru a se înlătura tensiunile remanente.

O incintă termică ATS a fost folosită pentru testele la temperaturi între 85°C și 175°C. Pentru măsurarea alungirilor până la 1% s-a folosit un extensometru cu marcă tensometrică de 12.7 mm. Viteza de încercare a fost de 0.5 mm/min. La alungirea de 1% testul a fost întrerupt pentru îndepărtarea extensometrului apoi testul a fost reluat până la rupere.

Testul Charpy s-a efectuat pe epruvete necrestate cu un pendul Tinius Olsen. Deoarece nu a fost permisă prelucrarea mecanică a epruvetelor aria secțiunii a fost măsurată pentru fiecare epruvetă și valorile au fost normalizate, iar reziliența exprimată în J/cm².

Proprietățile de fluaj au fost determinate la 85°C, 125°C și 175°C conform cu ASTM E139 la 35MPa și 70MPa timp de 200 ore.

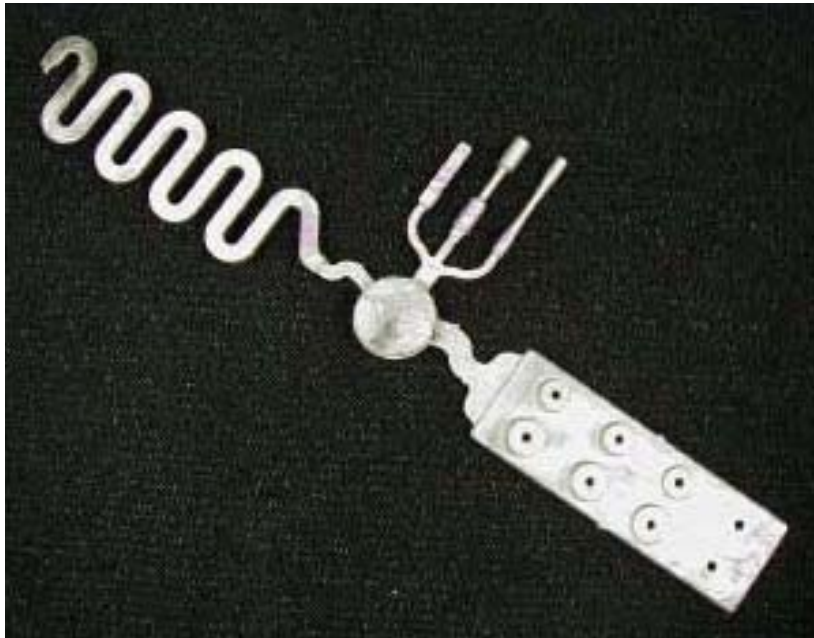


Figura 4.2 Epruvete turnate în matrița cu mai multe cavități.



Figura 4.3 Echipamentul folosit în încercarea la tracțiune.



Figura 4.4 Echipamentul folosit pentru măsurarea alungirilor.

Apoi s-a măsurat strângerea rămasă într-o asamblare cu șurub de oțel printr-o epruvetă din fiecare aliaj, după un timp petrecut la temperaturi de 85°C și 175°C. În acest scop s-au folosit un șurub M8 din oțel cu piuliță M8, șaibe călite 58-60HRC și un senzor de forță rezistent la temperaturi înalte Lebow 3718-112-8MM. Gaura de trecere a șurubului a fost lărgită cu burghiul la Ø7.9 mm. Senzorul a fost atașat de șurub între o șaibă specială lată și una M8 standard, apoi șurubul a fost trecut prin gaură. A doua șaibă standard a fost pusă sub piuliță înainte de strângere. Senzorul de forță a fost conectat la o placă de achiziție de date PCI-DAS64/M2/16 Measurements Computing printr-un amplificator Measurements group 2120B. Pentru înregistrarea a datelor s-a folosit programul SoftWIRE. În prealabil ansamblul de măsurare a datelor a fost calibrat. Șuruburile au fost strânse până la o tensiune de 70+/-1 MPa sau 105+/-1 MPa și au fost plasate într-o incintă termică Grieve cu circuit de aer și menținute la 85°C, 125°C, 150°C sau 175°C +/-1°C. Tensiunea din șurub și temperatura au fost monitorizate permanent. După 100 de ore, epruvetele au fost scoase din etuvă și stabilizate la temperatura de 20°C timp de 2 ore pentru a se măsura strângerea remanentă.



Figura 4.5 Epruveta și senzorul folosite pentru măsurarea strângerii remanente.



Figura 4.6 Montarea senzorului folosit pentru măsurarea strângerii remanente.



Figura 4.7 Montarea piuliței pentru măsurarea strângerii remanente.

4.3 Rezultatele experimentale

Aliaj	Modulul de elasticitate, GPa	Coeficientul lui Poisson
AM50A	41	0.29
AM60B	40	0.30
AE42	42	0.32
AJ52X	40	0.28
AJ50X	40	0.29
AS21X	40	0.32
MRI-153	41	0.28

Tabelul 4.3 Modulul de elasticitate și coeficientul lui Poisson la 20°C

Aliaj	20°C	85°C	125°C	175°C
AM50A	43	41	41	39
AM60B	42	42	40	37
AE42	41	41	42	42
AJ52X	42	42	41	42
AJ50X	42	43	41	38
AS21X	42	42	42	40
MRI-153	43	43	41	39

Tabelul 4.4 Modulul de elasticitate în GPa la diverse temperaturi

Aliaj	Tesiunea de rupere, MPa	Limita de elasticitate, MPa	Alungirea la rupere, %
AM50A	218 ± 7.6	121 ± 2.8	9.38 ± 1.56
AM60B	213 ± 14.1	130 ± 3.1	6.35 ± 1.54
AE42	228 ± 11.4	133 ± 4.0	8.91 ± 2.41
AJ52X	185 ± 7.0	129 ± 3.9	4.52 ± 1.12
AJ50X	194 ± 15.5	126 ± 2.9	6.02 ± 2.00
AS21X	210 ± 13.5	121 ± 3.7	7.20 ± 1.92
MRI-153	197 ± 7.8	157 ± 3.2	2.18 ± 0.72

Tabelul 4.5 Proprietățile de rezistență la 20°C

Aliaj	Tesiunea de rupere, MPa	Limita de elasticitate, MPa	Alungirea la rupere, %
AM50A	192 ± 10.5	106 ± 2.2	11.33 ± 0.46
AM60B	207 ± 0.5	115 ± 2.5	9.14 ± 1.05
AE42	189 ± 8.1	113 ± 2.5	16.04 ± 6.38
AJ52X	175 ± 0.5	117 ± 0.8	6.65 ± 0.15
AJ50X	67 ± 18.0	111 ± 3.3	5.90 ± 2.68
AS21X	180 ± 13.2	104 ± 6.5	13.83 ± 4.28
MRI-153	184 ± 7.0	146 ± 2.5	3.00 ± 0.25

Tabelul 4.6 Proprietățile de rezistență la 85°C

Aliaj	Tesiunea de rupere, MPa	Limita de elasticitate, MPa	Alungirea la rupere, %
AM50A	156 ± 5.8	96 ± 1.0	15.77 ± 0.49
AM60B	166 ± 3.1	102 ± 2.2	11.99 ± 1.24
AE42	156 ± 1.0	106 ± 0.6	22.99 ± 1.54
AJ52X	151 ± 3.2	105 ± 5.7	7.64 ± 0.66
AJ50X	142 ± 9.5	101 ± 4.2	4.84 ± 2.82
AS21X	141 ± 2.0	91 ± 4.8	13.69 ± 1.75
MRI-153	170 ± 1.6	134 ± 3.2	3.10 ± 0.60

Tabelul 4.7 Proprietățile de rezistență la 125°C

Aliaj	Tesiunea de rupere, MPa	Limita de elasticitate, MPa	Alungirea la rupere, %
AM50A	112 ± 2.0	81 ± 2.0	16.93 ± 3.23
AM60B	115 ± 1.7	87 ± 1.0	16.01 ± 4.70
AE42	118 ± 1.1	95 ± 0.8	25.86 ± 1.53
AJ52X	126 ± 1.0	98 ± 0.8	9.29 ± 1.29
AJ50X	108 ± 9.2	88 ± 3.0	4.58 ± 4.39
AS21X	105 ± 1.7	79 ± 0.4	22.72 ± 4.65
MRI-153	139 ± 0.7	113 ± 0.2	3.39 ± 0.84

Tabelul 4.8 Proprietățile de rezistență la 175°C

Aliaj	Temperatura		
	85°C	125°C	175°C
AM50A	0.072 ± 0.027	0.249 ± 0.031	5.86 ± 0.70
AM60B	0.024 ± 0.012	0.342 ± 0.168	6.77 ± 0.17
AE42	0.059 ± 0.041	0.063 ± 0.013	0.037 ± 0.008
AJ52X	0.046 ± 0.027	0.048 ± 0.021	0.177 ± 0.104
AJ50X	0.036 ± 0.024	0.030 ± 0.027	0.295 ± 0.197
AS21X	0.036 ± 0.011	0.045 ± 0.026	0.095 ± 0.070
MRI-153	0.009 ± 0.007	0.057 ± 0.036	0.479 ± 0.028

Tabelul 4.9 Alungirea după 200 de ore la 35 MPa (%).

Aliaj	Temperatura		
	85°C	125°C	175°C
AM50A	0.230 ± 0.043	4.26 ± 1.47	6.83 ± 4.66
AM60B	0.271 ± 0.035	4.06 ± 0.67	11.53 ± 2.11
AE42	0.044 ± 0.030	0.103 ± 0.016	0.184 ± 0.058
AJ52X	0.051 ± 0.021	0.079 ± 0.073	0.143 ± 0.106
AJ50X	0.072 ± 0.047	0.306 ± 0.094	2.67 ± 0.97
AS21X	0.089 ± 0.052	0.442 ± 0.018	8.95 ± 1.86
MRI-153	0.082 ± 0.032	0.275 ± 0.080	4.01 ± 0.90

Tabelul 4.10 Alungirea după 200 de ore la 70 MPa (%).

Aliaj	Temperatura				
	20°C	85°C	125°C	150°C	175°C
AM50A	96.6%	83.5%	49.7%	34.2%	7.4%
AM60B	97.6%	79.6%	49.0%	32.7%	5.2%
AE42	96.5%	87.6%	72.0%	64.9%	49.6%
AJ52X	96.6%	87.6%	74.1%	73.2%	48.6%
AJ50X	96.3%	86.6%	63.8%	56.1%	27.7%
AS21X	95.4%	82.6%	62.0%	54.6%	29.3%
MRI-153	97.5%	87.5%	65.6%	41.8%	10.9%

Tabelul 4.11 Strângerea rămasă în asamblarea cu șurub după 100 de ore la 70 MPa (%)

Aliaj	Temperatura			
	20°C	85°C	125°C	175°C
AM50A	97.2%	74.4%	46.4%	6.5%
AM60B	95.8%	72.3%	46.8%	5.8%
AE42	95.3%	84.8%	68.9%	47.7%
AJ52X	96.4%	85.2%	73.0%	47.2%
AJ50X	96.6%	83.8%	65.2%	26.6%
AS21X	94.8%	78.3%	62.2%	19.7%
MRI-153	96.7%	84.0%	53.9%	11.5%

Tabelul 4.12 Strângerea rămasă în asamblarea cu șurub după 200 de ore la 105 MPa (%).

Aliaj	Reziliența, J/cm ² la 20°	Reziliența, J/cm ² la 40°
AM50A	19.93 ± 4.75	19.49 ± 3.91
AM60B	14.23 ± 3.56	14.84 ± 3.27
AE42	15.03 ± 3.41	13.70 ± 3.61
AJ52X	9.13 ± 1.01	8.12 ± 1.18
AJ50X	12.73 ± 1.98	12.50 ± 2.02
AS21X	12.37 ± 3.35	10.33 ± 2.53
MRI-153	3.68 ± 0.46	3.58 ± 0.55

Tabelul 4.13 Rezultatele testului Charpy.

Epruveta ruptă la șoc indica o mică zonă de rupere fragilă în apropierea suprafeței probei și o zonă mare de rupere ductilă în centrul ei.

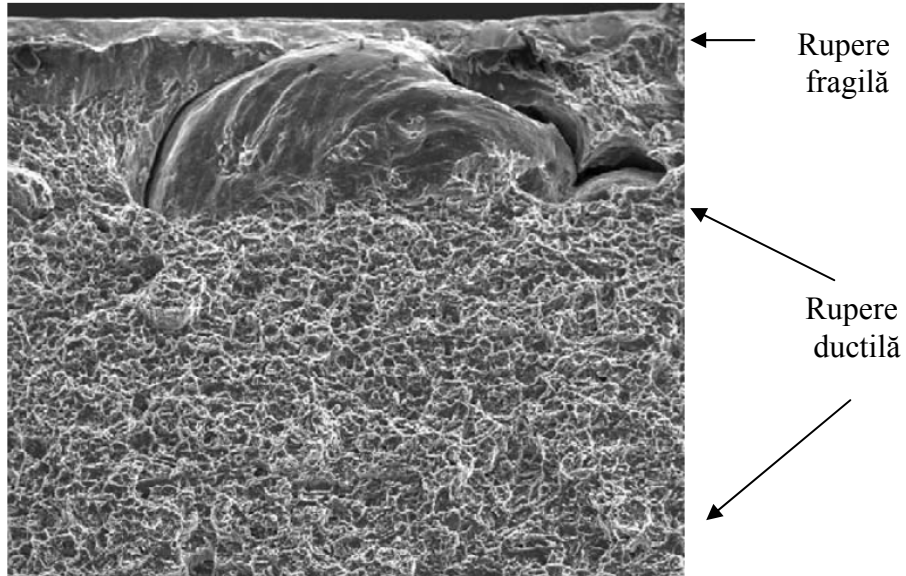


Figura 4.8 Suprafața de rupere a epruvetei încercate la șoc

Pentru ambele încercări, la examinarea în continuarea secțiunilor se observă că mărimea grăunților crește dinspre marginea epruvetei spre centru iar duritatea Vickers scade dinspre marginea epruvetei spre centru.

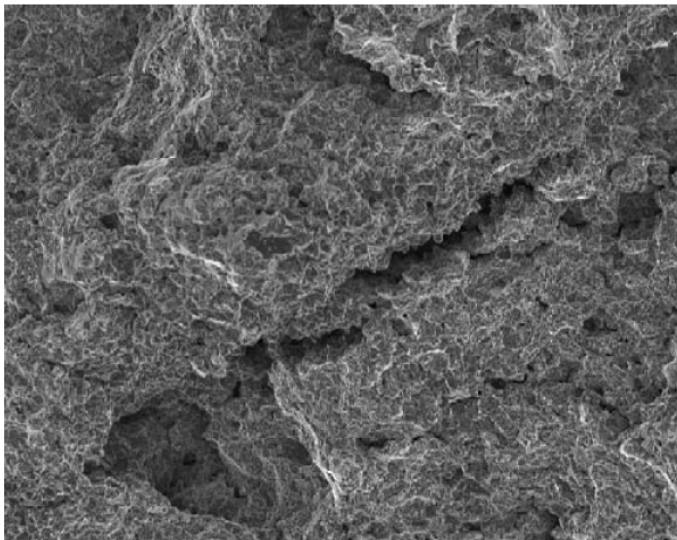


Figura 4.9 Por în suprafața de rupere a epruvetei la șoc

De asemenea se observă prezența porilor. La epruveta supusă întinderii aria ocupată în secțiune de pori variază între 0.006% la marginea secțiunii și 0.055%

spre centrul ei. În epruvetele încercate la șoc s-au observat chiar mai mulți pori, de dimensiuni mai mari și distribuți mai neregulați

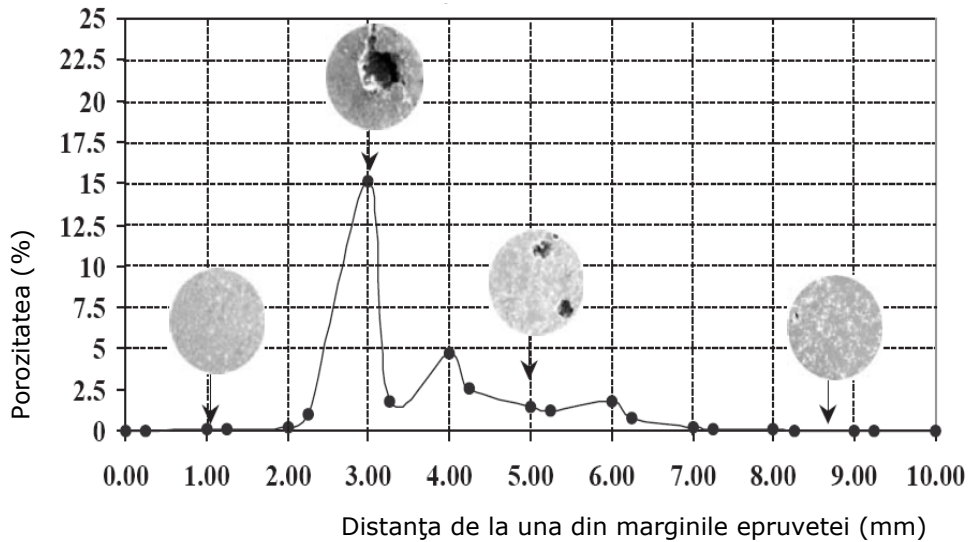


Figura 4.10 Distribuția porilor în suprafața de rupere a unei epruvete încercate la șoc

4.4 Curba caracteristică a aliajului AM50

Pentru aliajul AM50A s-a trasat curba caracteristică și s-a corectat modul în care poate fi corelată cu modelele teoretice.

În articolul [16] s-a studiat influența vitezei de deformare asupra diagramei specifice a aliajelor de magneziu turnate AM60B și AM50A. S-a observat că viteza de deformare nu afectează alungirea maximă, dar are influență asupra tensiunii în domeniul plastic. Rezultatele au fost confirmate în articolul [26] asupra aliajului AM60B pe un domeniu de viteze de deformare cuprins între 10^{-3} și 10^3 s^{-1} . Legea de variație a fost dată de Johnson și Cook în lucrarea [46], în funcție de tensiune de curgere, deformare și viteza de deformare.

$$\sigma = (\sigma_0 + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_R} \right) \right) \left(1 - \left(\frac{T - T_{\text{room}}}{T_{\text{melt}} - T_{\text{room}}} \right)^m \right).$$

unde σ_0 este tensiunea de curgere, B este coeficientul de ecruisare, ϵ este deformația plastică, n este coeficientul lucrului mecanic de ecruisare, C este coeficientul de sensibilitate la viteza de deformare, $\dot{\epsilon}$ este viteza de deformare, $\dot{\epsilon}_R$ este viteza de deformare de referință, T_{melt} este temperatura de topire, T_{room} este temperatura standard, T este temperatura materialului, iar m este coeficientul temperaturii. Uzual temperatura standard e 300 K, temperatura de topire 893 K și m 100, deci factorul de temperatură se poate neglija. Atunci ecuația constitutivă se poate simplifica la forma de mai jos.

$$\sigma = (\sigma_0 + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_R} \right) \right)$$

unde constantele relației se dau în tabel.

Aliaj	σ_0 (MPa)	B (MPa)	n	C
AM50A	88	599	0.5966	0.019
AM60B	103	562	0.5813	0.023
AZ91D	129	616	0.5975	0.019

Tabelul 4.14 Constantele relației Johnson-Cook.

ϵ_p^a	σ (MPa)	ϵ_p^a	σ (MPa)	ϵ_p^a	σ (MPa)	ϵ_p^a	σ (MPa)
0.00	1.046×10^2	2.5×10^{-3}	1.308×10^2	8.0×10^{-3}	1.405×10^2	2.0×10^{-2}	1.599×10^2
1.0×10^{-4}	1.080×10^2	3.5×10^{-3}	1.330×10^2	9.0×10^{-3}	1.422×10^2	2.2×10^{-2}	1.634×10^2
2.5×10^{-4}	1.115×10^2	4.0×10^{-3}	1.340×10^2	1.0×10^{-2}	1.438×10^2	2.4×10^{-2}	1.666×10^2
6.0×10^{-4}	1.182×10^2	4.5×10^{-3}	1.347×10^2	1.2×10^{-2}	1.469×10^2	4.14×10^{-2}	1.946×10^2
1.0×10^{-3}	1.232×10^2	5.0×10^{-3}	1.358×10^2	1.4×10^{-2}	1.502×10^2	1.035×10^{-1}	2.972×10^2
1.5×10^{-3}	1.269×10^2	$6.0 \cdot 10^{-3}$	1.375×10^2	1.6×10^{-2}	1.535×10^2		
2.0×10^{-3}	1.293×10^2	$7.0 \cdot 10^{-3}$	1.389×10^2	1.8×10^{-2}	1.568×10^2		

unde ϵ_p^a reprezintă alungirea plastică efectivă

Tabelul 4.15 Rezultatele încercării la tracțiune pentru AM50A.

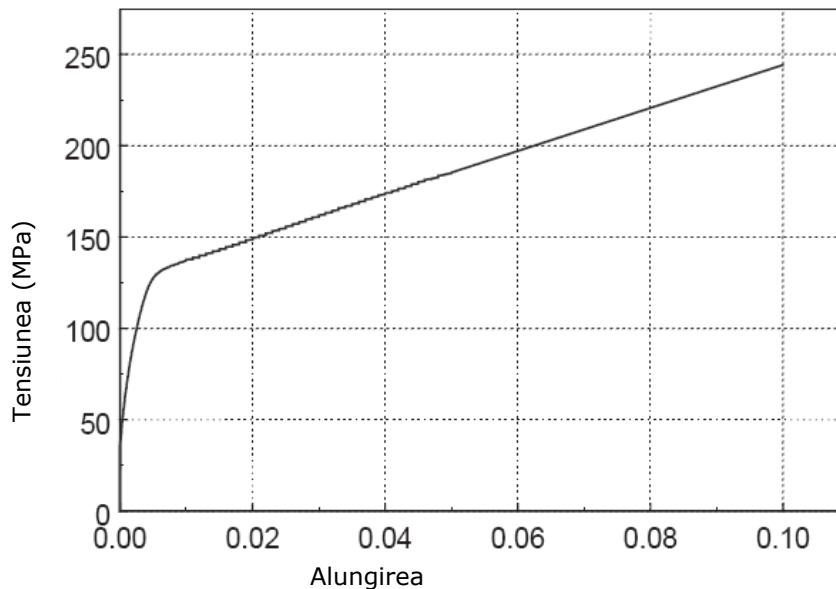


Figura 4.11 Rezultatul încercării la tracțiune pentru aliajul AM50A.

Pentru epruveta încercată la tracțiune se evidențiază aspectul unei ruperi ductile.

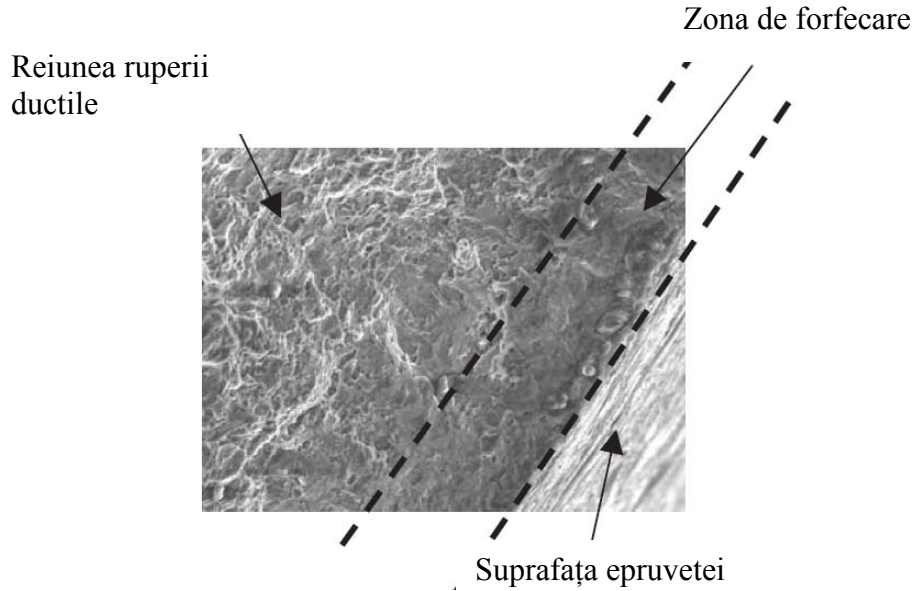


Figura 4.12 Suprafața de rupere a epruvetei în urma tracțiunii

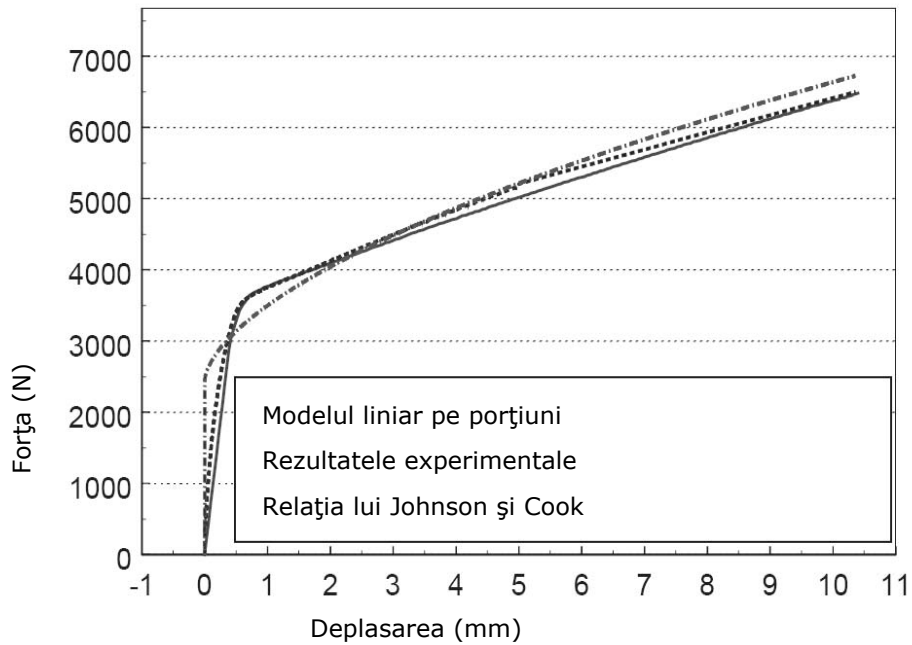


Figura 4.13 Rezultatul încercării la tracțiune pentru aliajul AM50A.

Din interpretarea datelor experimentale coeficientul lui Poisson a rezultat 0.35, tensiunea de curgere 104,60 MPa, modulul lui Young 31.26 GPa, iar

coeficientul de ecrisare 1,64 GPa. Aceasta se corelează cu modelul liniar pe două porțiuni, descris de relațiile

$\sigma = E\varepsilon$ pe zona elastică

și

$$\sigma = \sigma_c \left(1 - \frac{E_{pl}}{E} \right) + E_{pl} \varepsilon$$

pe zona de întărire

Corelarea nu e foarte bună pentru zona elastică, valoarea modulului lui Young acceptată în literatură fiind de 44.8 Gpa.

Pentru relația lui Johnson și Cook s-au calculat constantele σ_0 , B, C și n care permit o corelație maximă de 0.991 cu datele experimentale.

Constanta	σ_0 (MPa)	B (MPa)	n	C
Acceptată curent	88	599	0.5966	0.019
Calculată	116.58	1114.17	0.812	0.019

Tabelul 4.16 Constantele relației lui Johnson și Cook pentru aliajul AM50A.

4.5 Proprietăți de rezistență la rupere ale aliajului AM50

Pentru aliajul AM50A s-au mai măsurat proprietăți la rupere, și anume rezistența la inițierea fisurii J_Q și modulul de rupere.

J_Q este definit în ASTM E-1820 ca energia necesară pentru inițierea fisurii.

Modulul de rupere T se definește ca fiind parametrul adimensional

$$T = \frac{E dJ}{\sigma_f^2 da}$$

unde σ_f se estimează ca media dintre tensiunea de rupere și tensiunea de curgere. Cu a se notează deschiderea fisurii.

În epruvetele de 5 mm grosime au fost executate prin electroprelucrare amorse late de 0.1 mm. În vârful amorsei s-a inițiat o fisură prin oboseală, adâncă de 2.6 mm. Epruvetele s-au prelevat după trei orientări diferite față de direcția de curgere a materialului la turnare.

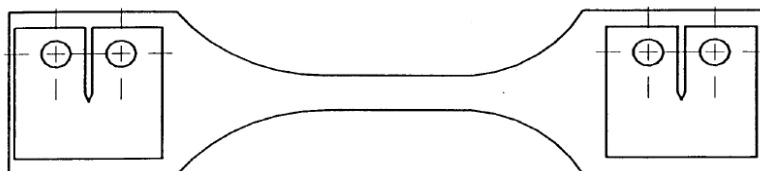


Figura 4.14 Prelevarea probelor

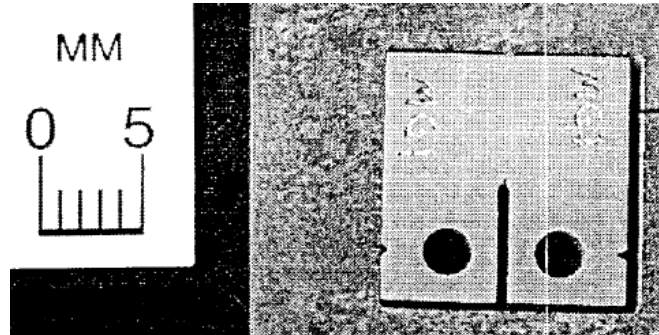


Figura 4.15 Epruveta

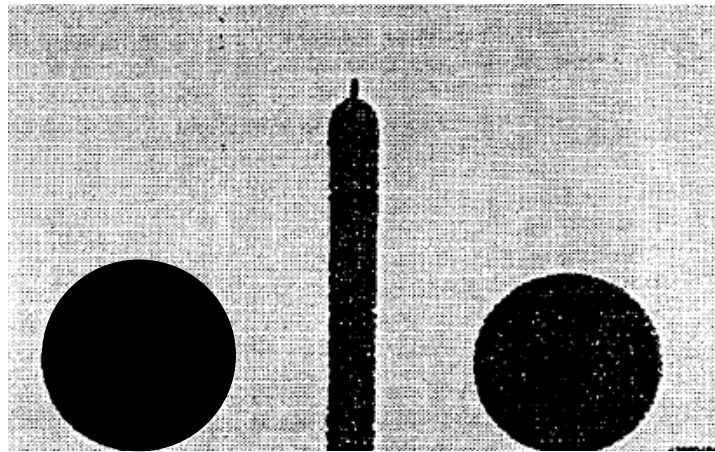


Figura 4.16 Fisura inițială

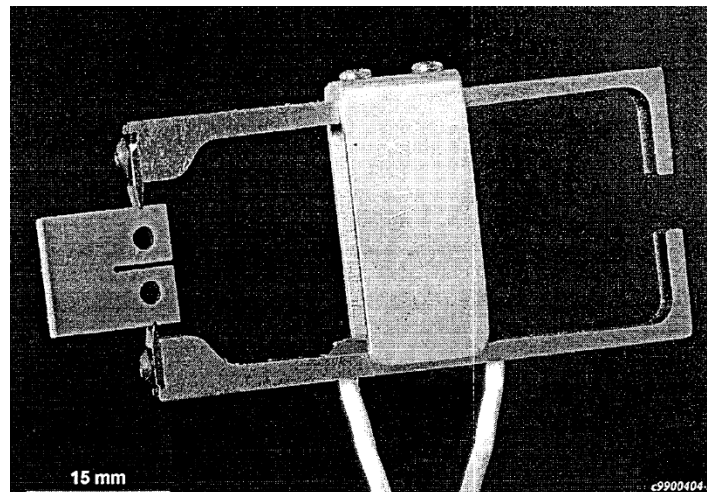


Figura 4.17 Senzorul pentru măsurarea deschiderii fisurii.

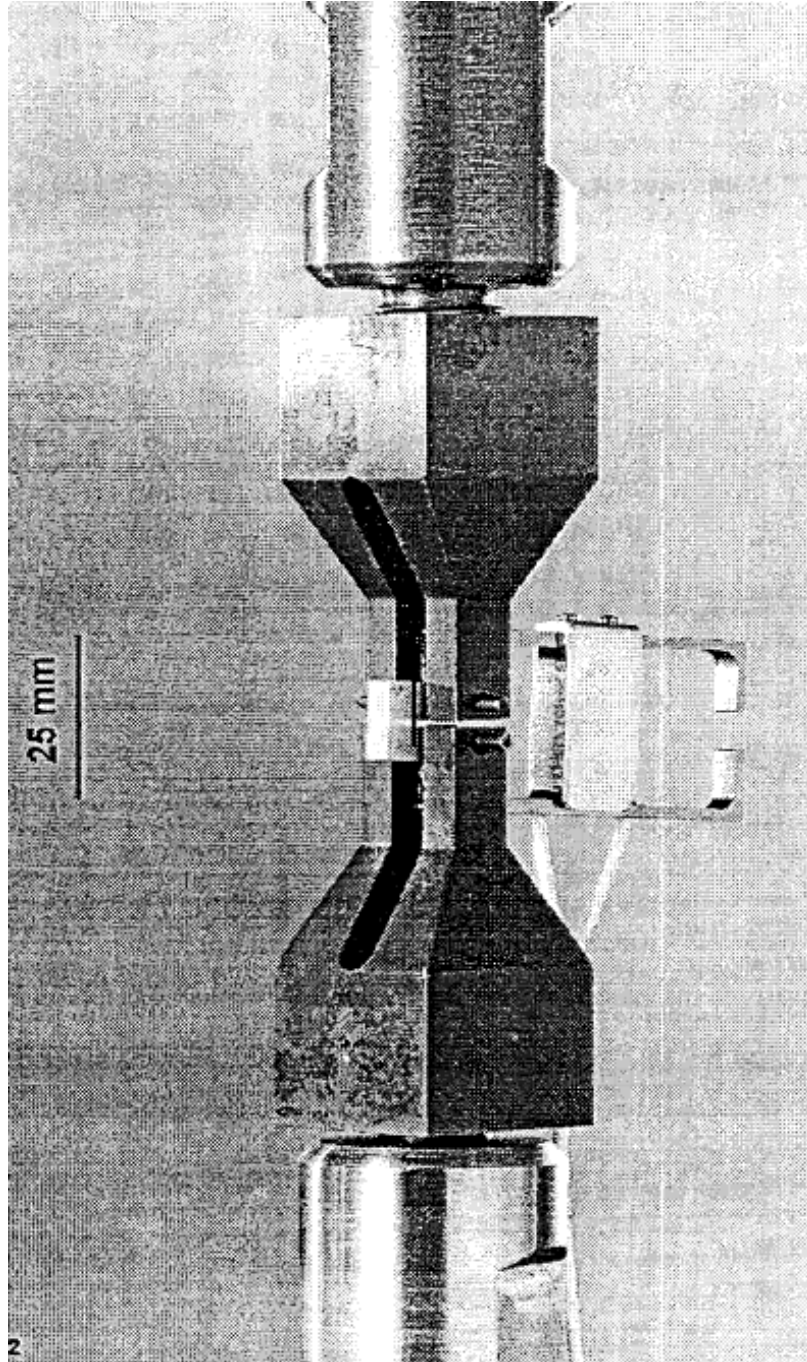


Figura 4.18 Montajul probei în mașina de tracțiune.

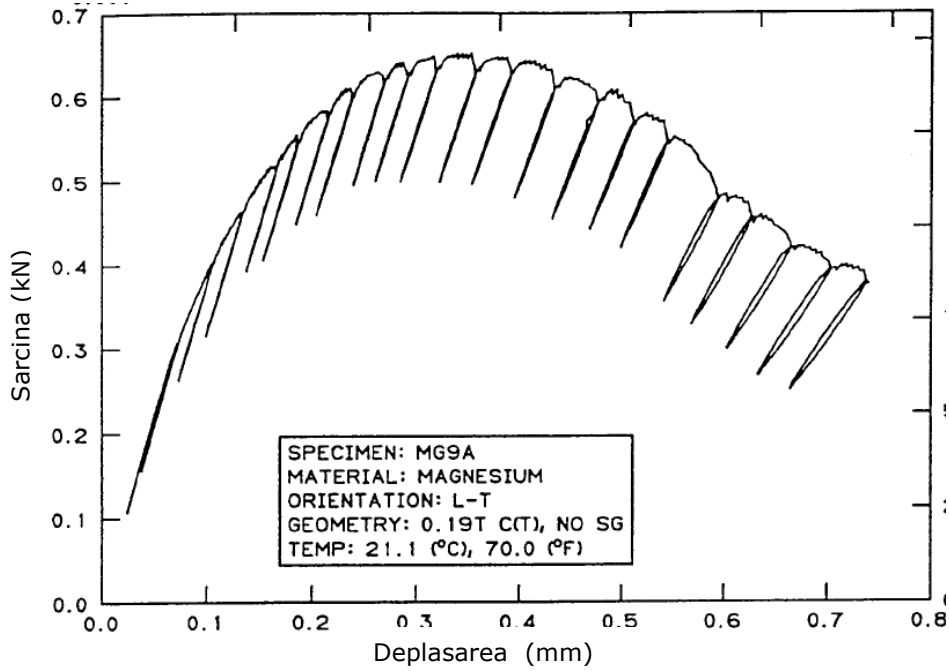


Figura 4.19 Diagrama sarcină - deplasare

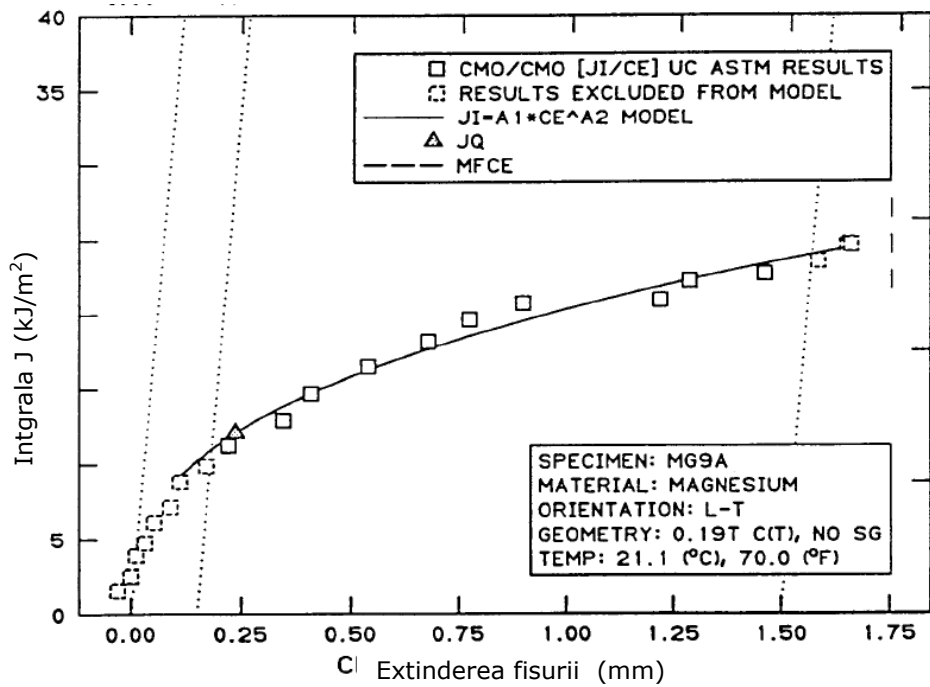


Figura 4.20 Integrala J în funcție de extinderea fisurii

Epruveta	Temperatura de încercare (°C)	Modulul de rupere T	Rezistența la inițierea fisurii JQ (kJ/m ²)
9LT5	-40	13	10
8LT4	-40	9	11
9A	20	14	12
9A1	20	20	11
1LT1	120	17	26
1LT2	120	13	23
8TL3	-40	8	10
8TL4	-40	6	12
1	20	16	11
1A1	20	17	12
9TL5	120	13	21
9TL6	120	13	12

Tabelul 4.17 Rezultatele încercării la rupere pentru aliajul AM50A.

4.6 Concluzii

a) Aliajul AE42 este dificil de turnat, prezentând toate tipurile de defecte de turnare. Aliajul AJ50X este ceva mai ușor de turnat, dar prezintă contracții neuniforme la răcire și tendința de a adera la matriță. O turnabilitate bună au arătat, în ordine crescătoare, aliajele AJ52X, AS21B și MRI-153. Aliajele uzuale AM50A și AM60B au dovedit proprietăți de turnare deosebite, după cum era de așteptat.

b) Rezistențele la întindere sunt în bună concordanță cu valorile cunoscute din alte surse. Totuși, pentru modulul de elasticitate și coeficientul de contracție transversală s-au obținut valori mai mici decât cele indicate de literatură tehnică.

c) Proprietățile mecanice scad rapid peste temperatura de 100°C, limita domeniului de utilizare tinzând spre 200°C pentru doar câteva din aliajele speciale, cum ar fi AE42 și AJ52X.

d) Strângerea remanentă s-a caracterizat prin valorile medii și mici măsurate. Acestea se datorează deformațiilor plastice produse în material în timp la temperaturi ridicate.

e) Testul Charpy a indicat valori bune ale rezilienței, cu excepția a două aliaje, AJ52X și MRI-153.

f) Pentru aliajul AM50A Rezultatele încercării statice la tracțiune indică valori mai mici ale modulului de elasticitate, coeficientului lui Poisson și a tensiunii de rupere decât cele determinate anterior în alte cercetări. Totuși, corelarea cu modelul liniar pe porțiuni și cu ecuația constitutivă a lui Johnson și Cook este bună, după ajustarea valorilor constantelor.

g) Încercarea la rupere indică o propagare stabilă a fisurii și izotropia materialului la propagarea fisurilor și rezistența la rupere, indiferent de direcția de curgere a materialului la turnare. Din valorile ridicate ale J_0 și T se deduce că este nevoie de cantități relativ mari de energie pentru inițierea și propagarea fisurii. Acestea indică o rezistență bună la rupere a aliajului AM50A

h) Prezența porilor și a altor defecte de turnare afectează în măsură importantă caracteristicile mecanice ale aliajelor studiate. Pentru piese industriale împrăștierea datelor experimentale datorată defectelor de turnare e mai mare decât pentru epruvetele de laborator.

5. Contribuții privind aplicarea metodelor numerice la studiul stării de tensiuni și deformații a structurii de rezistență a volanului de automobil

5.1 Introducere

La ora actuală, pentru fiecare tip de volan aflat în producție sau dezvoltare sunt specificate peste 30 de tipuri de teste. Dintre acestea, cel puțin 15 sunt teste de rezistență mecanică a structurii volanului. Astfel, există multe posibilități de a reduce costurile, timpii și de a îmbunătăți calitatea produsului prin aplicarea metodei elementelor finite. Testele virtuale se împart în trei categorii de analiza: analiză modală, analiză statică și analiză dinamică.

Prin analiza modală se determină frecvențele proprii ale volanului. De interes sunt doar primele două frecvențe. Pentru aceasta se folosește întreg ansamblul volan. Pentru dezvoltarea produsului se determină întâi frecvența proprie a volanului neechipat și a scheletului.

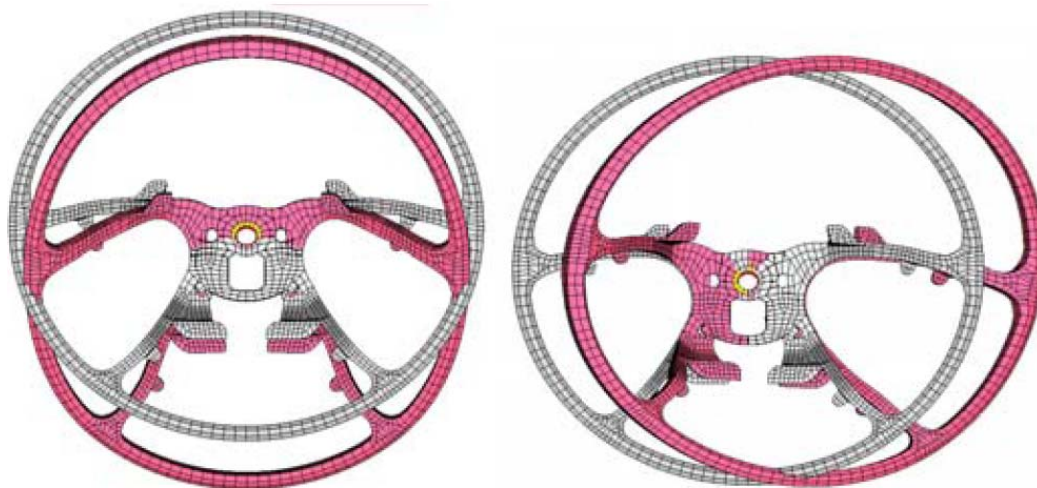


Figura 5.1 Primele două moduri de vibrație ale scheletului volanului.

Prin analiza statică se simulează toate testele statice la care e supus volanul. Uzual scheletul volanului este cel care suportă toate analizele statice, celelalte piese și componente neavând rol structural în construcția volanului. Cele mai importante sunt testele de încovoiere statică și rigiditate axială, apoi cele de torsiune statică. De

asemenea, din analiză mai rezultă și masa modelului și momentul de inerție în jurul axei bucșei.

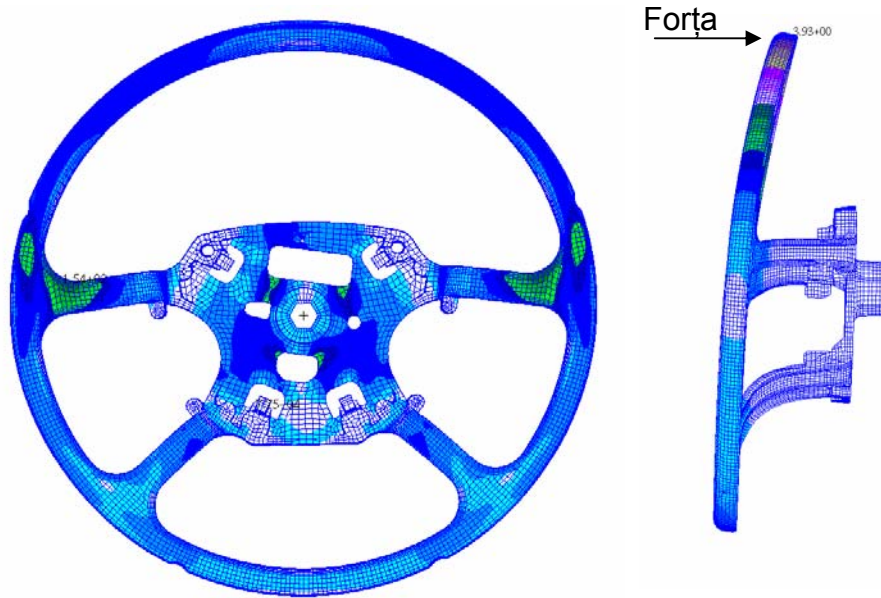


Figura 5.2 Simularea testului de încovoiere statică a scheletului.

Prin analiză dinamică se simulează testele de impact cu manechinul și impact cu capul manechinului. Și acestea se fac inițial pe scheletul volanului. Simularea impactului cu întreg ansamblul volan necesită un cost atât de mare datorită volumului de muncă, încât se trece direct la testarea ansamblului real.

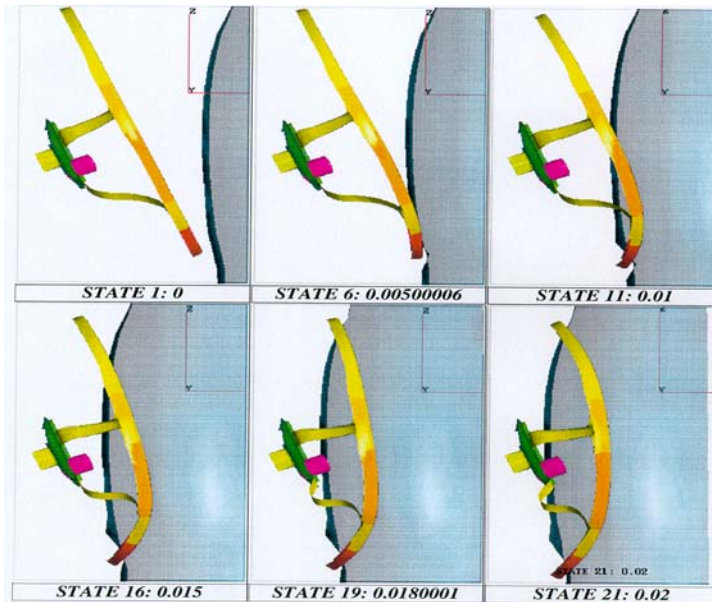


Figura 5.3 Simularea testului de impact cu manechinul.

În mod uzual, simularea testelor statice se face cu un program general de analiză cu element finit, de exemplu Nastran, în timp ce testele dinamice se fac cu programe de analiză dinamică, de exemplu LS-Dyna. Deoarece analiza dinamică necesită discretizarea piesei cu elemente hexaedrale, iar discretizarea automată este posibilă în momentul actual doar pentru elemente tetraedrale, un mare volum de muncă se consumă cu discretizarea manuală a modelelor.

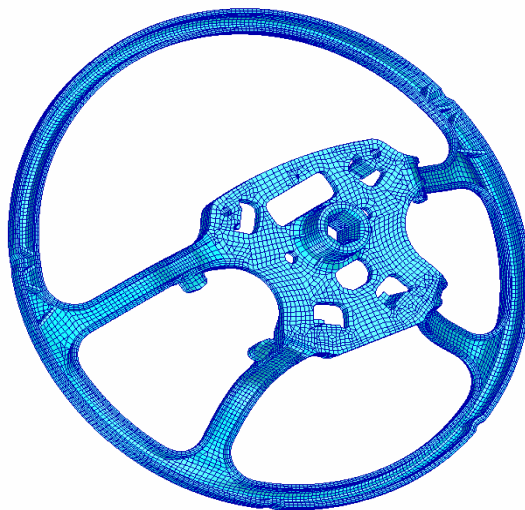


Figura 5.4 Discretizarea scheletului volanului cu elemente hexaedrale

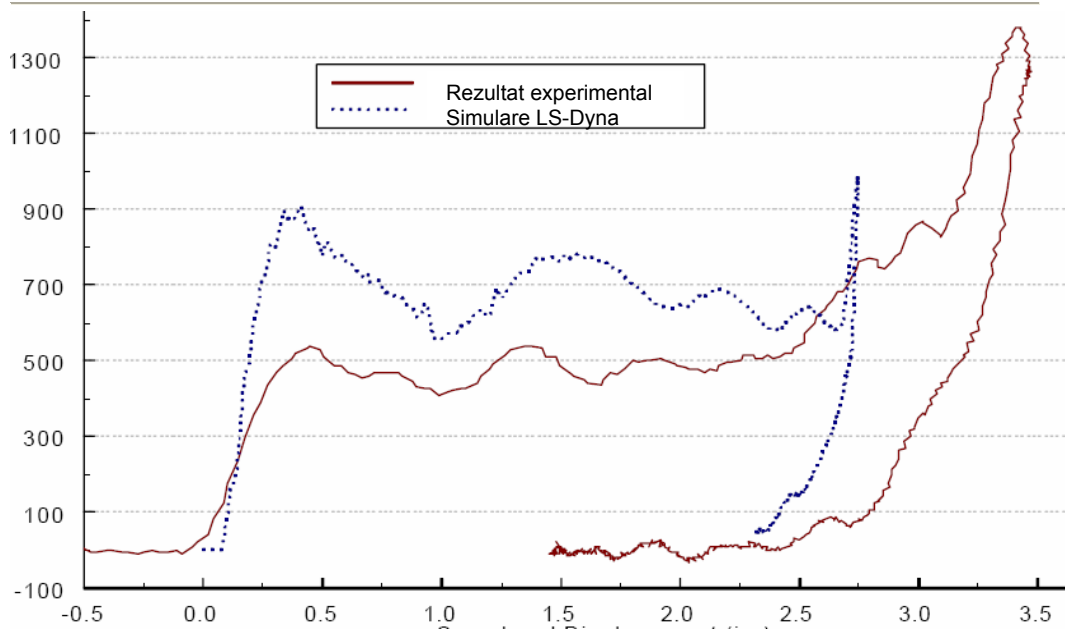


Figura 5.5 Diagrama forță - deplasare pentru un test de impact

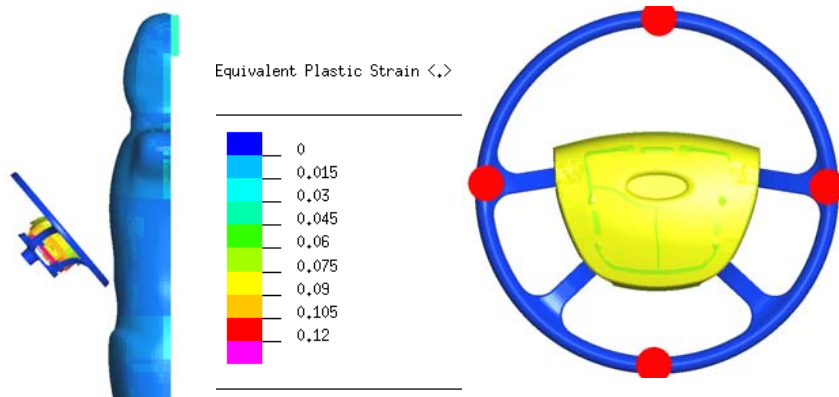


Figura 5.6 Datele inițiale pentru simularea testului la impact. Zonele roșii indică punctele de impact.

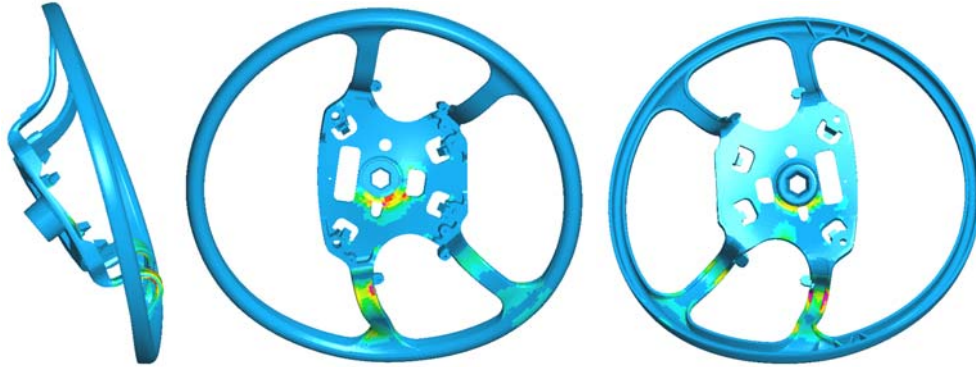


Figura 5.7 Exemplu de rezultate ale simulării la impact. Se prezintă trei vederi ale formei deformate, cu roșu se indică zonele în care procentul de material trecut în starea plastică depășește procentul admis.

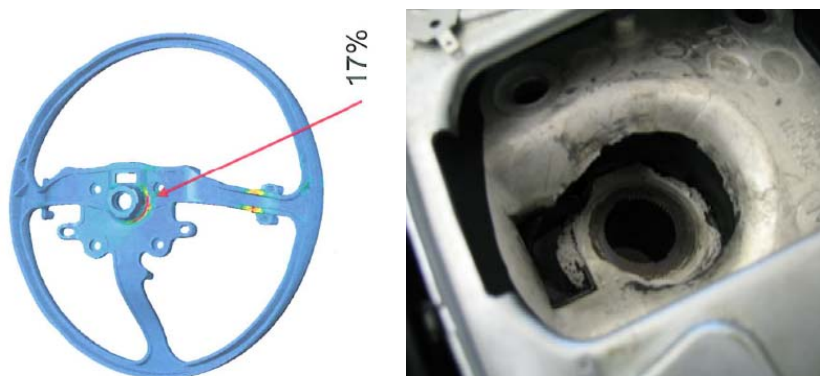


Figura 5.8 Exemplu de rezultate ale simulării la impact confirmate de testul fizic.

În afară de diagrama forță – deplasare, la firma Takata se calculează și procentul de material care trece în starea plastică în zonele cele mai solicitate.

5.2 Compararea rezultatelor simulării cu elemente finite cu rezultatele încercărilor la impact cu manechinul pentru scheletul de volan

Pentru estimarea preciziei simulării dinamice se folosește simularea testului Charpy, ale cărui rezultate experimentale sunt cunoscute. Pentru simularea numerică a testului Charpy se folosesc două modele ale stării limită. Primul model consideră că starea limită se atinge la o alungire de 10.35%, determinată din încercarea la tracțiune. În al doilea, starea limită e determinată de momentul în care tensiunea tangențială atinge jumătate din tensiunea de rupere la tracțiune. În ambele cazuri, curba experimentală se află sub rezultatele simulării.

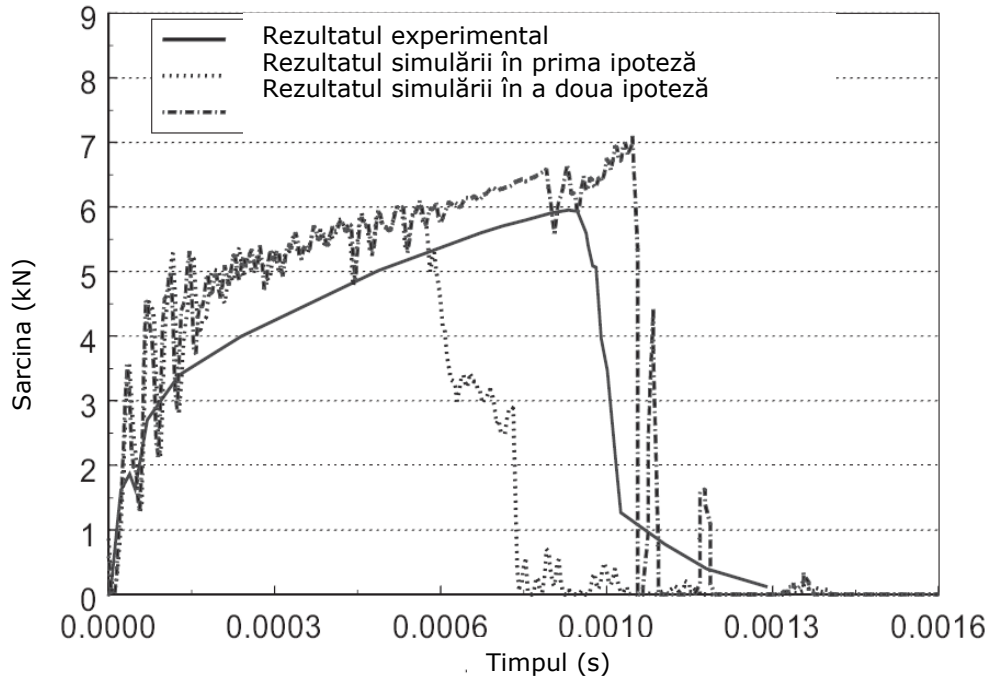


Figura 5.9 Compararea simulării cu rezultatul testului Charpy

De asemenea s-a făcut simularea unor teste de impact în paralel cu desfășurarea testelor reale. Scopul a fost de a se face o comparație între rezultatele simulării și rezultatele experimentale.

Pentru aceasta trebuie ca atât scheletul cât și manechinul să fie modelate ca elemente deformabile, având în vedere că manechinul e acoperit în zona de impact cu un strat elastic de material plastic și piele. Modelarea manechinului ca rigid duce la rezultate eronate ale simulării.

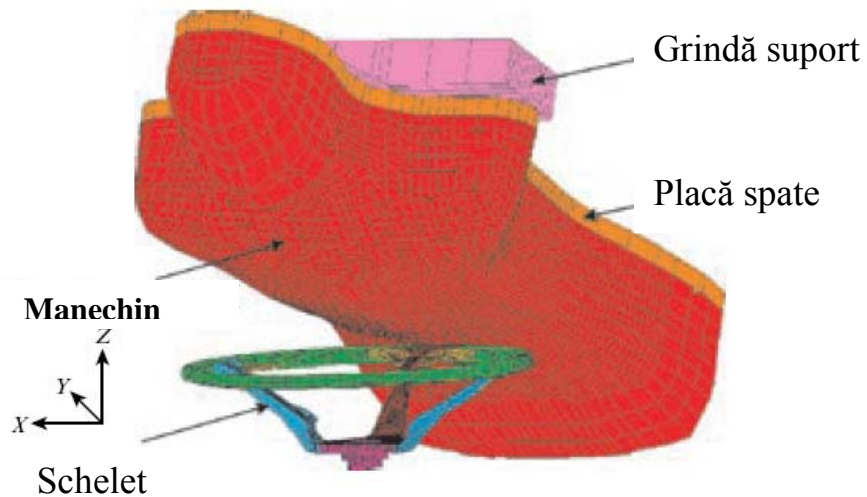


Figura 5.10 Discretizarea încercării la impact cu manechinul

Nr test	Rotirea volanului (°)	Viteza de impact (m/s)	Nr test	Rotirea volanului (°)	Viteza de impact (m/s)
1	180	1.66	9	90	1.66
2	180	2.24	10	90	2.24
3	180	2.67	11	90	2.67
4	180	3.13	12	90	3.13
5	150	1.66	13	0	1.33
6	150	2.24	14	0	2.17
7	150	2.67	15	0	2.51
8	150	3.13	16	0	2.67

Tabelul 5.1 Sumarul condițiilor de testare

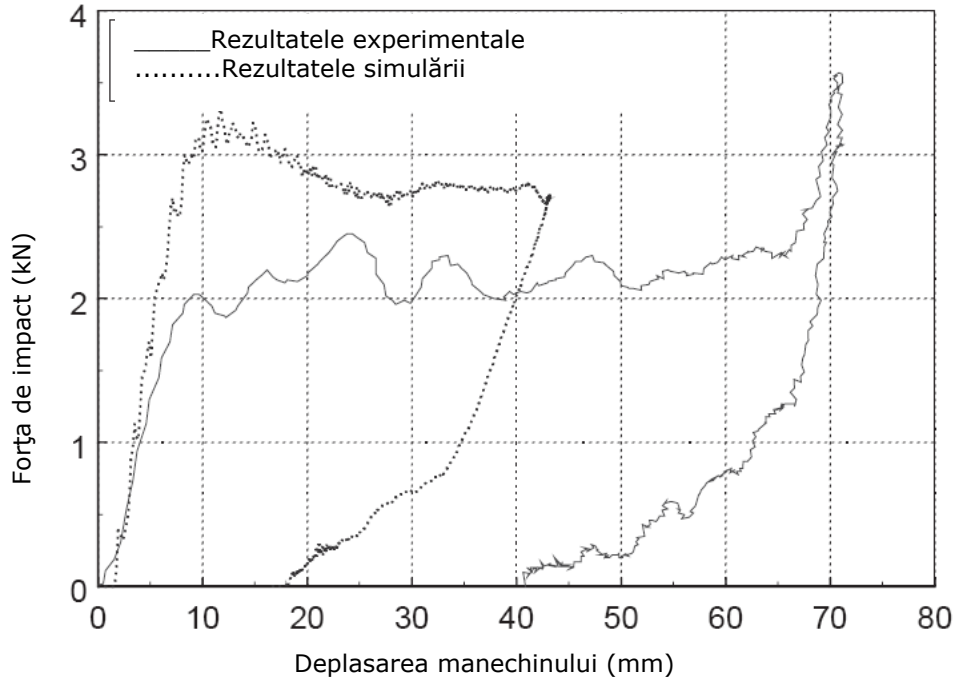


Figura 5.11 Test 1.

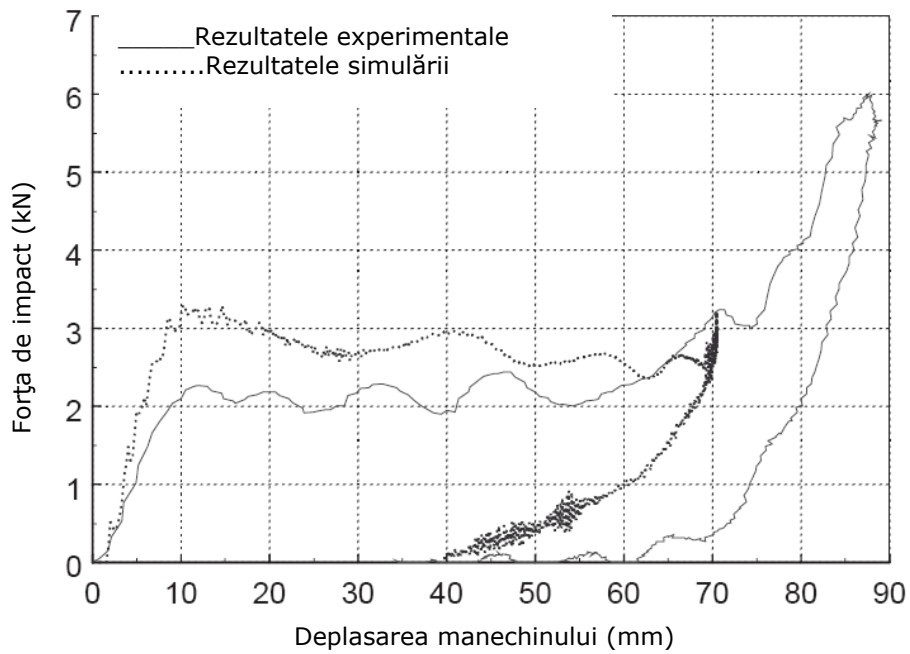


Figura 5.12 Test 2.

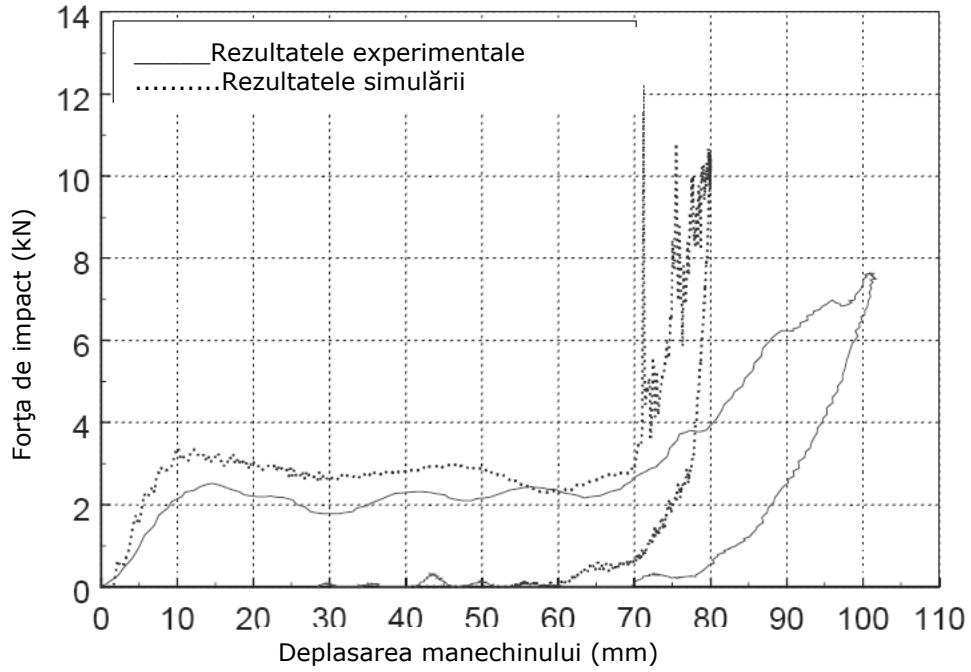


Figura 5.13 Test 3.

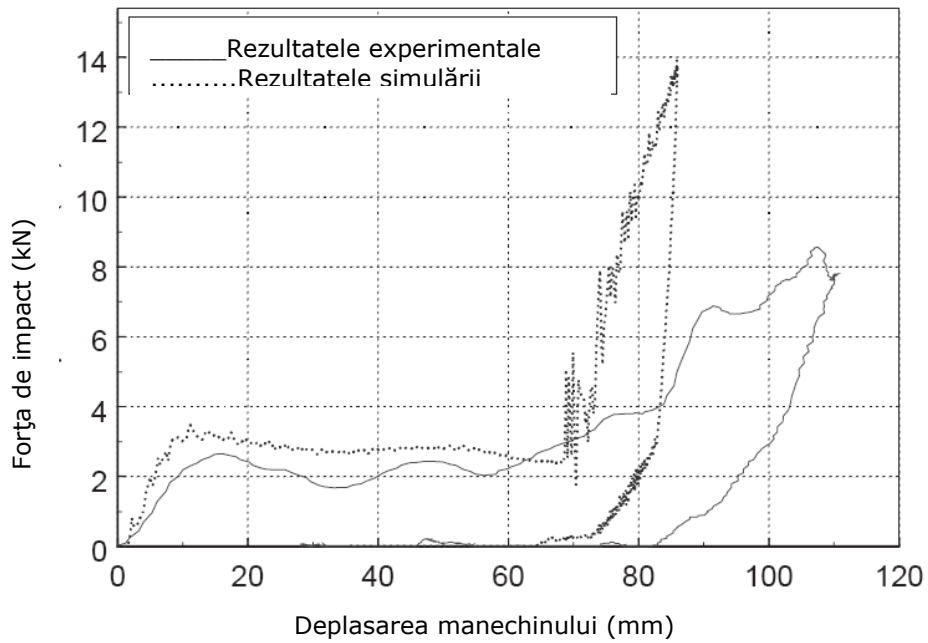


Figura 5.14 Test 4.

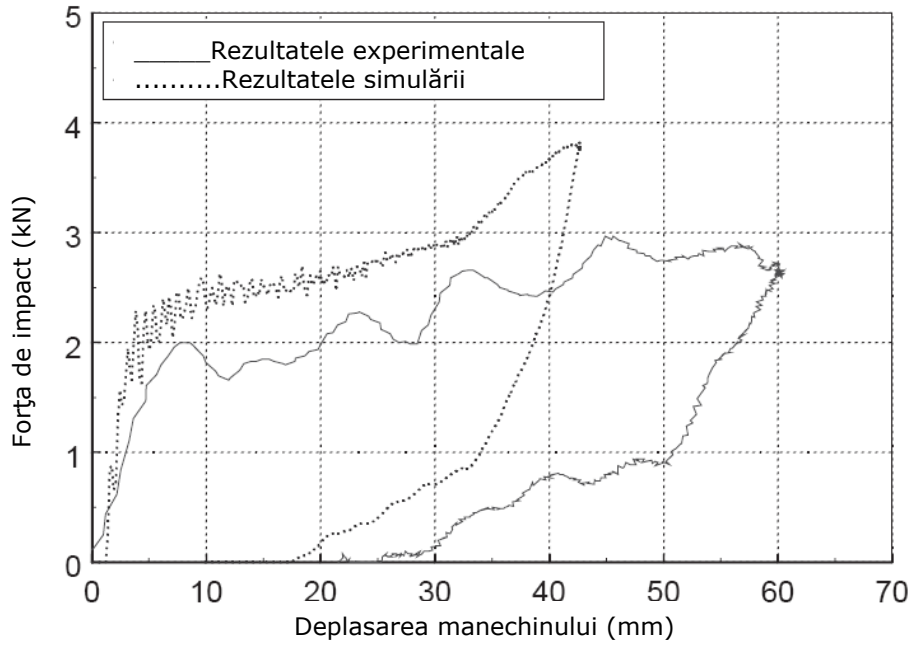


Figura 5.15 Test 5.

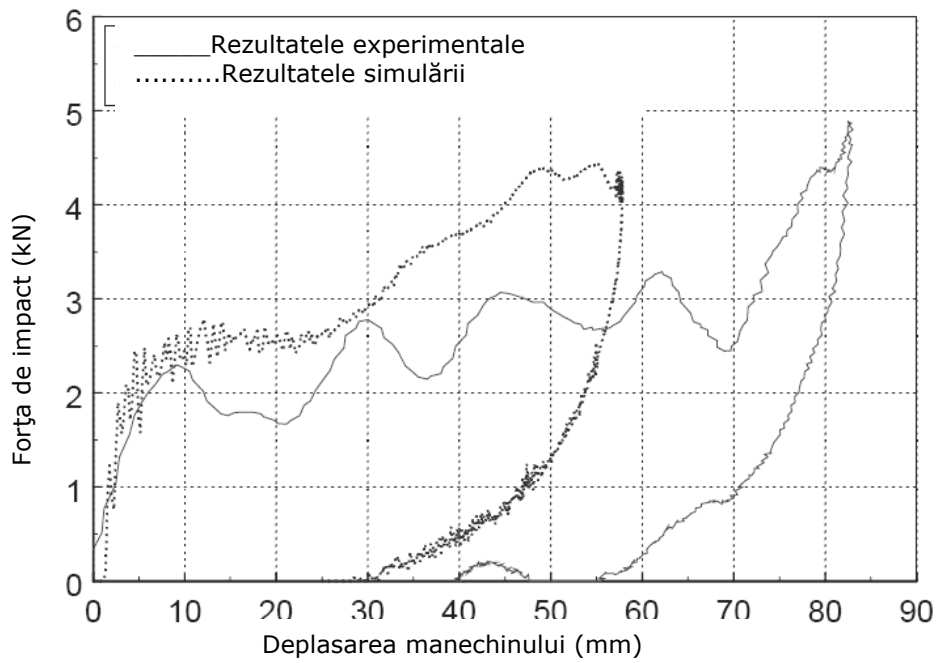


Figura 5.16 Test 6.

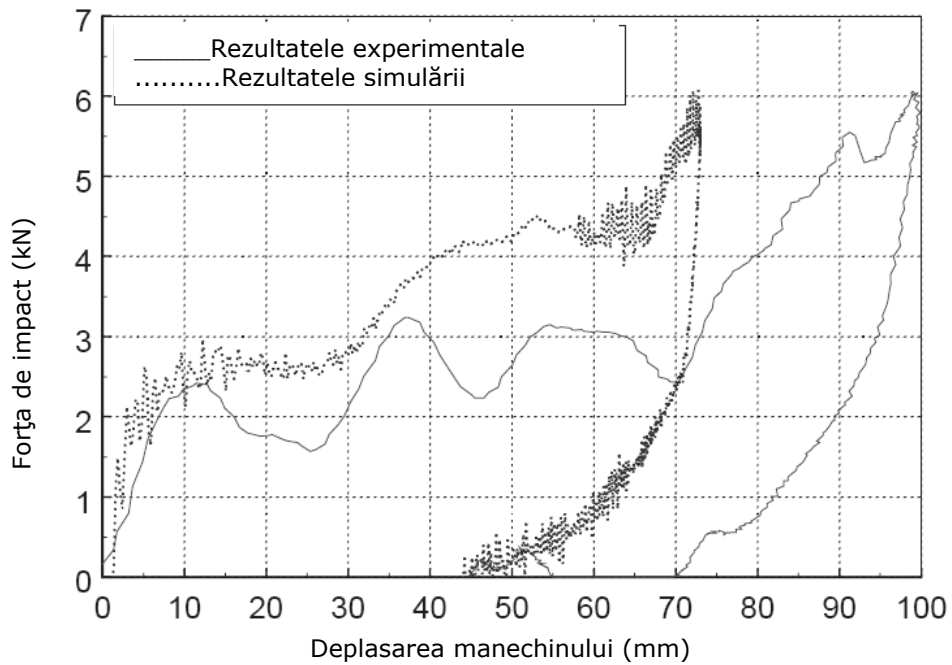


Figura 5.17 Test 7.

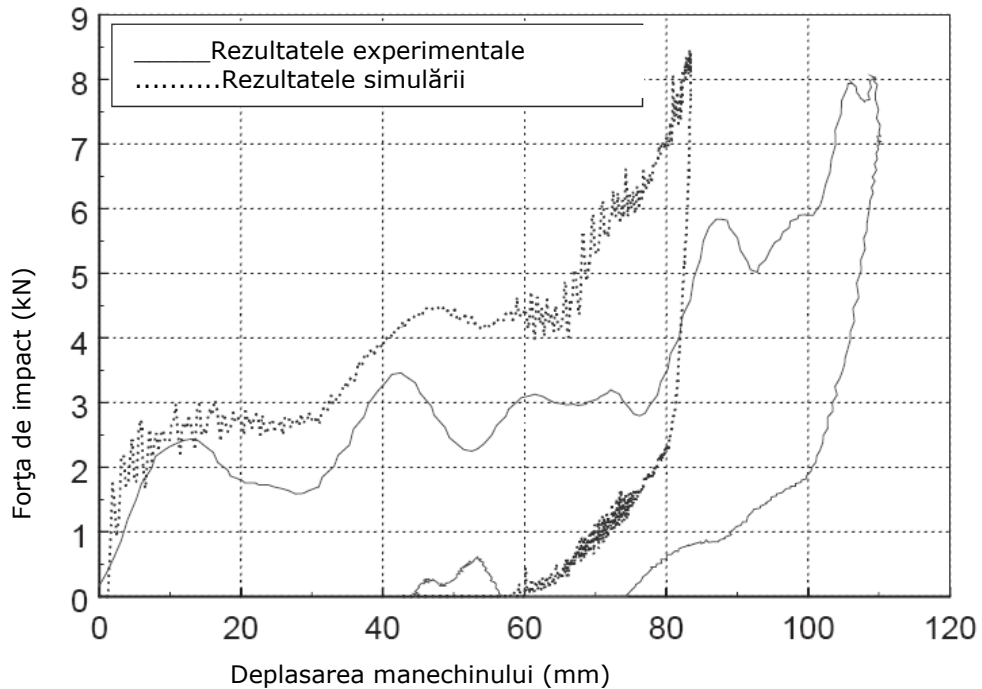


Figura 5.18 Test 8.

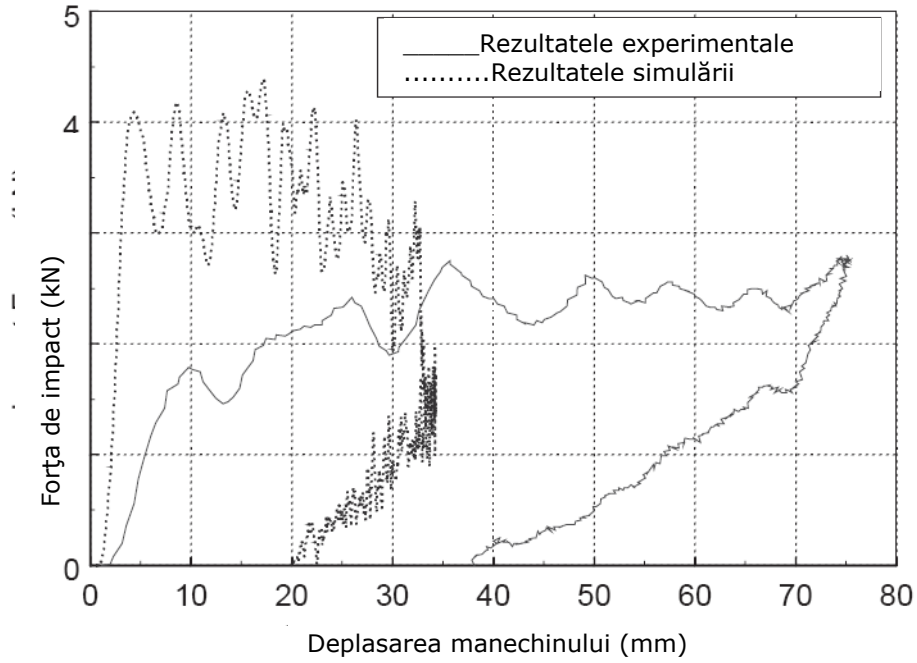


Figura 5.19 Test 9.

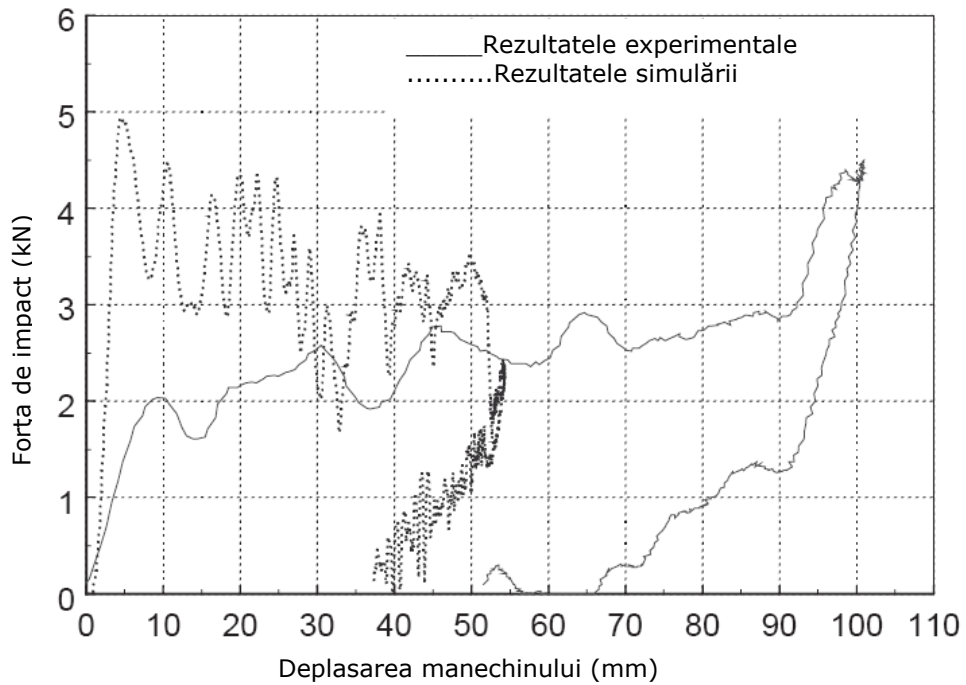


Figura 5.20 Test 10.

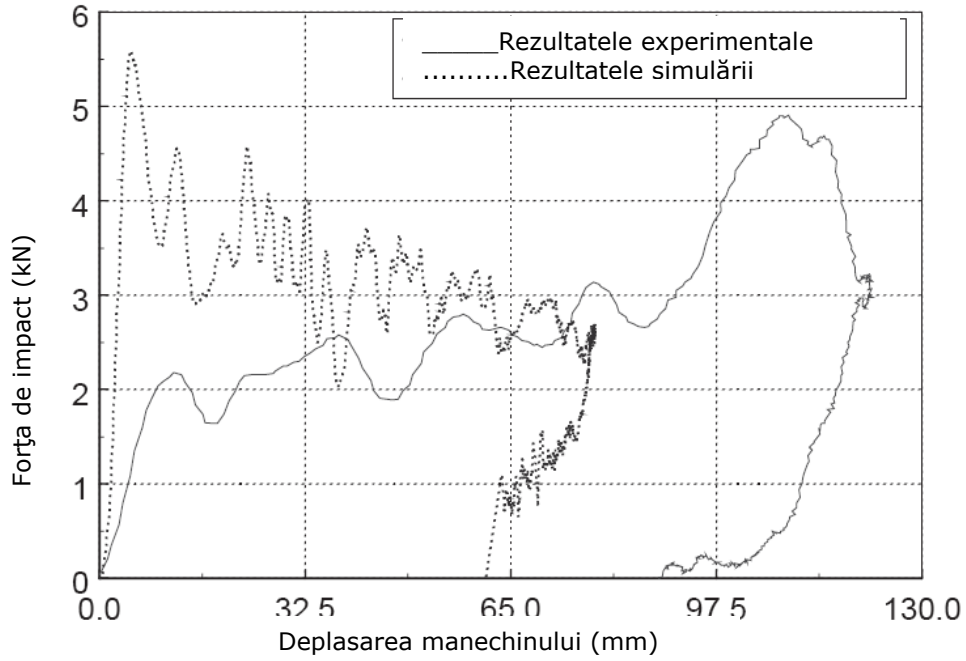


Figura 5.21 Test 11.

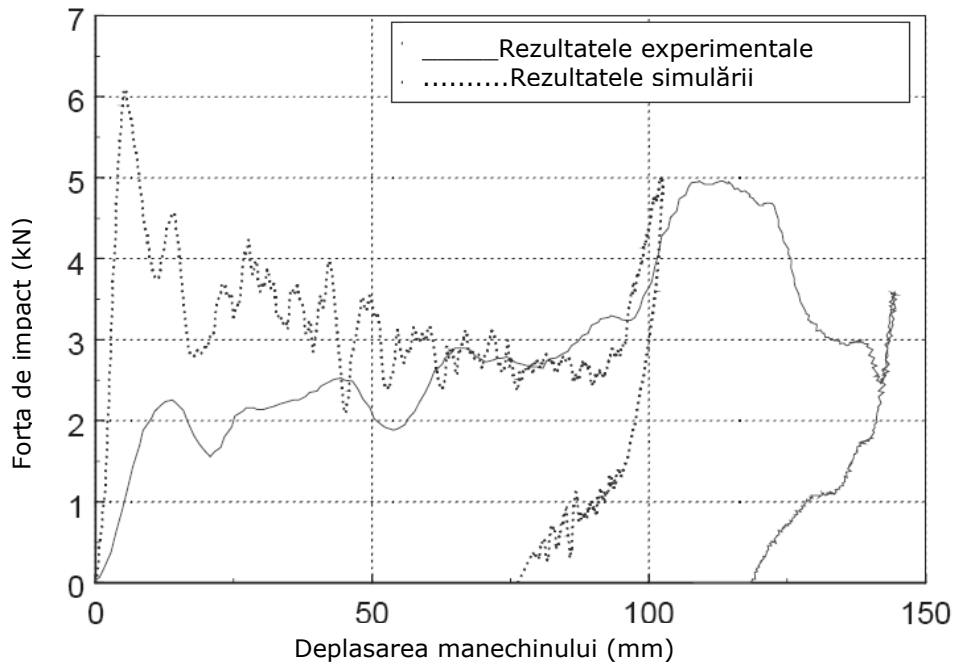


Figura 5.22 Test 12.

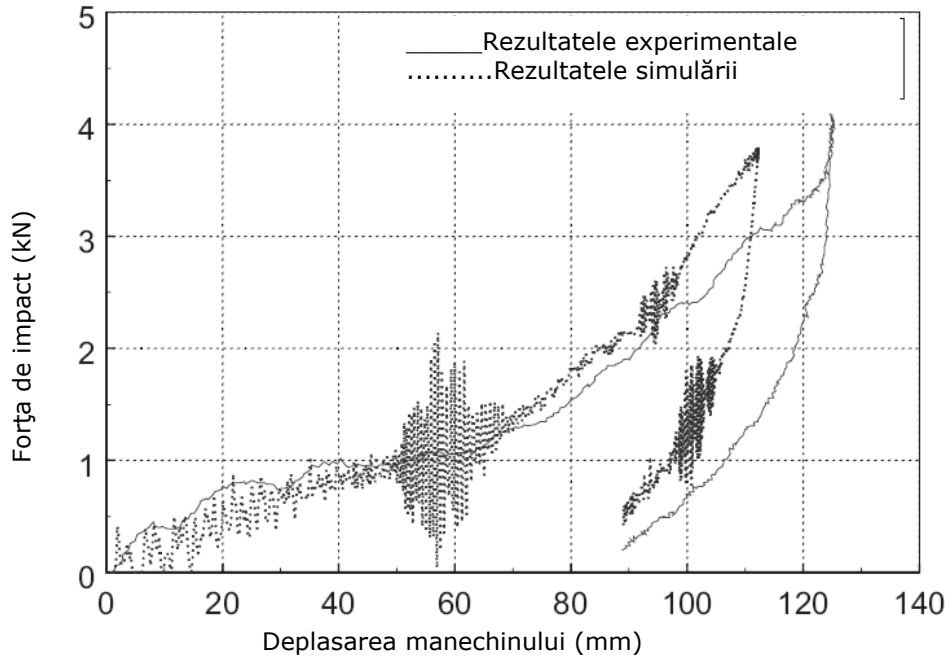


Figura 5.23 Test 13.

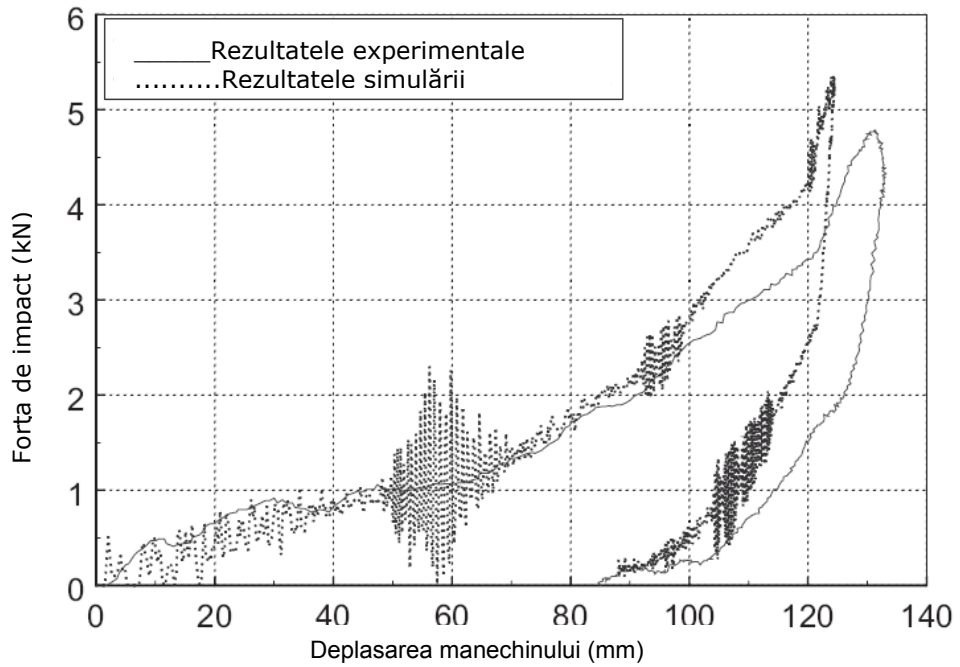


Figura 5.24 Test 14.

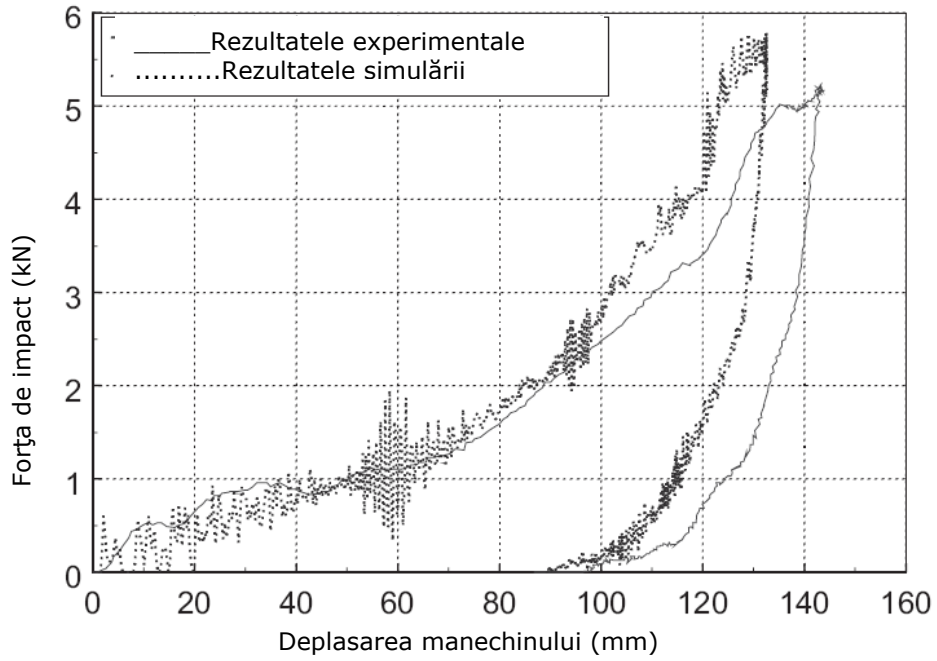


Figura 5.25 Test 15.

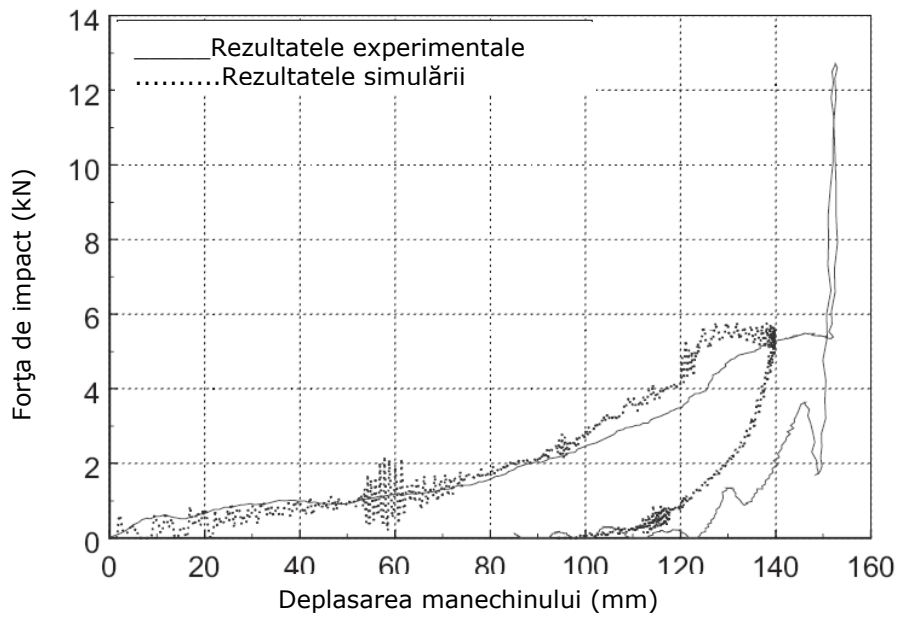


Figura 5.26 Test 16.

Compararea rezultatelor arată că piesa reală are o rigiditate și o rezistență mai mică decât cele arătate în simulare. Aceasta se poate explica prin neomogenitatea și porozitatea materialului.

De asemenea, se identifică zonele critice ale scheletului volanului, care sunt, în ordinea importanței: zonele de îmbinare între jantă și spiță, zonele de îmbinare între butuc și spiță, zonele de îmbinare între butuc și bucsă. Forma spiței și rigiditatea jenții au contribuția cea mai importantă pentru răspunsul volanului la încercările mecanice.

6. Contribuții asupra analizei experimentale a volanului și încadrarea acesteia în cerințele impuse de normele interne și internaționale

6.1 Prezentarea generală a volanului de automobil.

Funcția principală al ansamblului volan este de a permite controlul și manevrarea vehiculului de către șofer. El acționează în acest scop prin intermediul coloanei de direcție. De asemenea, cu ajutorul diferitelor butoane integrate în ansamblu, permite și controlul multor alte echipamente. Ca urmare a creșterii necesităților de siguranță în trafic, volanul a fost integrat împreună cu coloana de direcție și cu ansamblul airbag într-un sistem de protecție a șoferului.

Volanul constă în schelet, spuma injectată și capacul inferior la care se pot aduga stratul acoperitor de piele, butoanele, instalația de cabluri electrice, piese componente ale claxonului, instalația de încălzire internă, elemente decorative și amortizorul de vibrații.

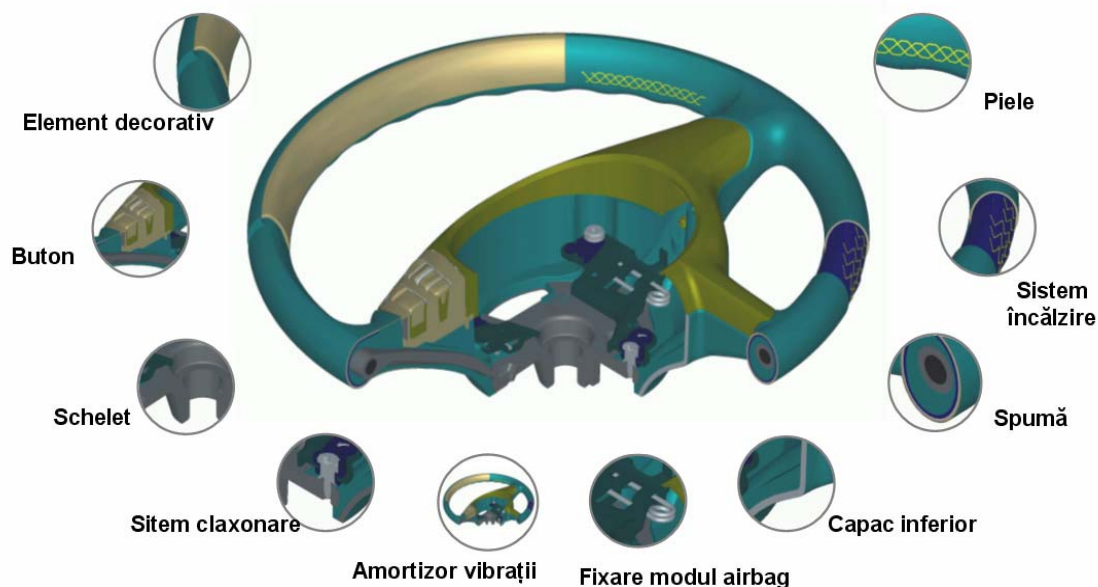


Figura 6.1 Componentele volanului

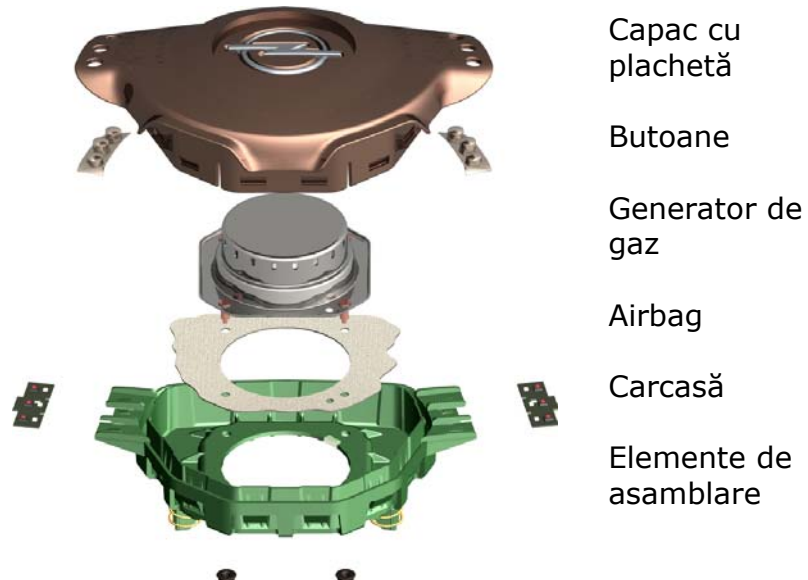


Figura 6.2 Componentele ansamblului airbag

Volanul împreună cu ansamblul airbag formează ansamblul volan. Ansamblul volan are următoarele funcții:

- conferă șoferului posibilitatea de control direcțional al vehiculului,
- contribuie la siguranța vehiculului împreună cu coloana de direcție și airbagul șoferului,
- încorporează mecanismul de control al claxonului și ale altor funcții,
- se armonizează în aspectul interior al habitaculului.

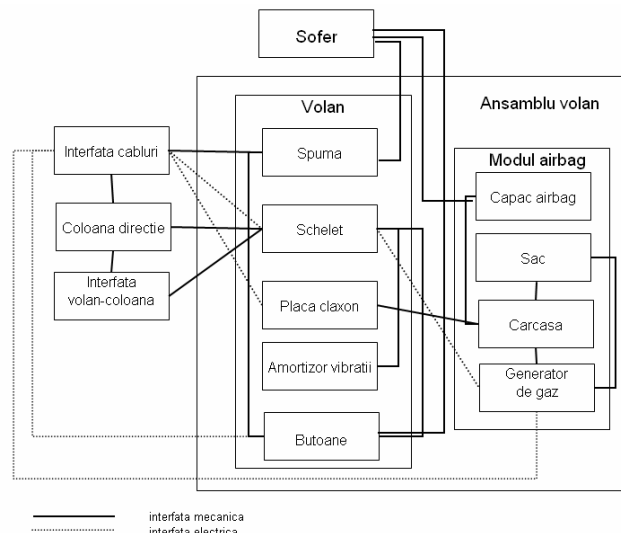


Figura 6.3 Diagrama bloc a interfețelor ansamblului volan, după SAAB

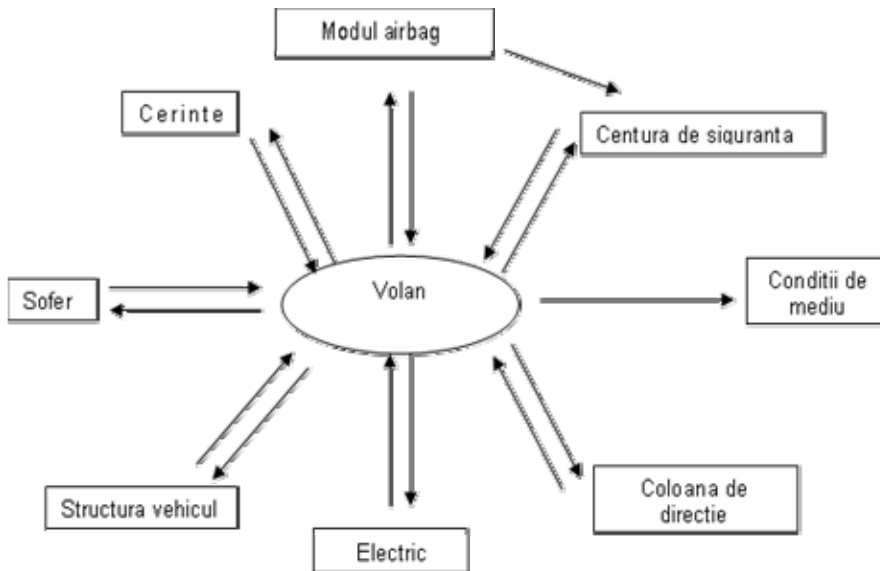


Figura 6.4 Diagrama bloc a interacțiunilor ansamblului volan, după GM

Din diagrama bloc se observă că scheletul volanului se află în centrul interfețelor mecanice. Scheletul dă forma și rezistența volanului. Scheletul îndeplinește următoarele funcții:

- susține spuma și celelalte elemente care definesc forma volanului,
- se atașează de coloana de direcție,
- susține airbagul șoferului,
- susține instalațiile electrice necesare pe volan,
- împiedică desprinderea airbagului șoferului în timpul declanșării.

Costructiv, scheletul volanului se compune din bucsă, butuc, spițe și jantă. Între centrul bucsii și centrul jentii există o excentricitate necesară din mai multe motive cum ar fi vizibilitatea ceasurilor din bord. Janta este inelul exterior de formă aproximativ toroidală care este ținut în mod uzual de mâinile șoferului. Butucul este partea din mijlocul volanului care se montează pe coloana de direcție și transmite momentul de torsiune la volan la coloana de direcție. Spița este bara care conectează janta de butuc.

În funcție de numărul de spițe, volanul poate fi cu o spiță, cu două spițe, cu trei spițe sau cu patru spițe.

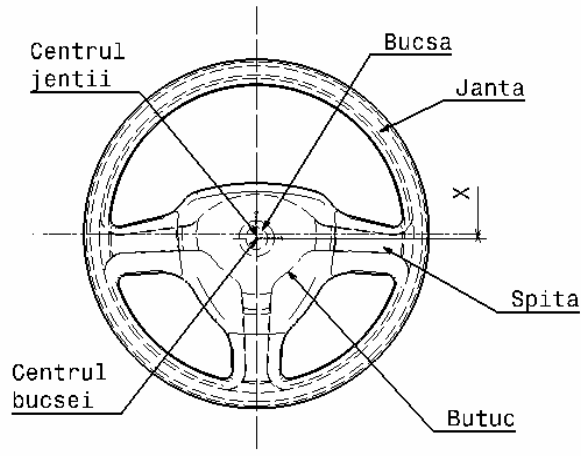


Figura 6.5 Elementele constructive ale volanului

Condițiile de mediu în care funcționează volanul sunt următoarele:

- a) Temperatura. În interiorul vehiculului, în care volanul funcționează, temperatura variază între -30°C și $+85^{\circ}\text{C}$. Volanul poate fi depozitat în aer liber la temperaturi între -40°C și $+90^{\circ}\text{C}$. Temperatura maximă atinsă se consideră $+102^{\circ}\text{C}$.
- b) Șoc termic. Nici o schimbare de funcționare, aspect sau durabilitate nu trebuie să se producă la o schimbare bruscă de temperatură în limitele de la punctul a).
- c) Umiditate. Volanul funcționează și e depozitat la nivele de umiditatea cuprinse între 0% și 100%.
- d) Radiații solare. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea radiației vizibile și ultraviolete.
- e) Praf. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea prafului.
- f) Ozon. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea ozonului.
- g) Transpirație. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea transpirației.
- h) Substanțe corozive. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea substanțelor corozive: saramură și dioxid de sulf.
- i) Substanțe de curățare. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea substanțelor de curățare: detergent de geamuri cu amoniac, detergent pentru suprafețe, detergent de interior, vernis pentru interior, detergent de rufe, detergent de covoare.
- j) Alte contaminări. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea următoarelor substanțe: cola, cafea, ceai, ketchup, ciocolată, izopropil alcool, alcool sanitar, diluant de vopsea, combustibil lichid, lichid de frână.
- k) Vibrații și șocuri dinamice. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea vibrațiilor și șocurilor dinamice.
- l) Unde electromagnetice. Volanul trebuie să nu se schimbe sub acțiunea undelor electromagnetice din surse interioare sau exterioare autovehiculului.
- m) Căderi de la înălțime. Volanul trebuie să reziste unei căderi de la înălțimea de 1.2m pe o podea de beton fără a se defecta vizibil sau invizibil.
- n) Presiuni accidentale. Suprafața volanului trebuie să-și revină după ce a fost supusă unei presiuni accidentale de degete sau alte șocuri minore previzibile într-o utilizare normală.

6.2 Programul de testare al volanului de automobil

6.2.1 Prezentare

Durata de viața a unui volan este de minim 10-15 ani sau 100000 – 240000 km. El contribuie activ la rezultatele testelor de siguranță la impact frontal și impact lateral. De asemenea, volanele sunt supuse la cinci tipuri de teste: teste impuse de lege, teste de mediu, încercări mecanice, încercări electrice, încercări de material, diverse alte teste referitoare la culoare și aspect, care simulează condițiile de mediu și solicitările mecanice care pot apărea în funcționare. Testările se fac pe un număr determinat de volane distribuite într-o matrice de testare secvențială și se constituie într-un program de testare care are ca rezultat un raport de validare a produsului. Numarul de volane testate și încercările la care se supun sunt precizate în normele fiecărui producător. În mod uzual, încercările mecanice se fac atât pe volane care au fost supuse la testele de mediu, cit și pe volane care nu au fost supuse în prealabil la testele de mediu.

Încercările mecanice se fac, dacă nu se specifică altfel, în condiții normale de temperatură și umiditate, cum ar fi atmosferă standard DIN 50 014 – 23/50-2 sau temperatură $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ și umiditate între 45% și 75% , presiunea 860-1060 mbar. Înainte de încercare volanul trebuie stabilizat termic. Pentru volanele cu spumă poliuretanică stabilizarea se face menținând proba 14 zile la $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ supunând-o unui ciclu termic de 24 ore la $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, apoi 6 ore $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ în etuvă ventilată uscată fără sprijin pe jantă, apoi revenire 24 ore la $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Pentru volanele fără spumă poliuretanică stabilizarea durează doar 24 ore la $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Programul de testare se efectuează pe volane sau piese noi, dacă nu se specifică altfel.

Alte condiții de mediu se referă la prezența prafului, radiației solare, undelor radio, ozonului și a umezelii sărate, și a unor substanțe chimice cum ar fi ceai, cafea cola, ketchup, ciocolată, transpirație, agenți de curățare, ulei mineral, adezivi, contaminări din procesul de producție, izopropil alcool, diluant

6.2.2 Încercări de montare-demontare

Echipamentul de testare: sculele de montare-demontare din producție.
Procedura de testare: Volanul complet se montează pe arbore asigurându-se un moment rezidual de stringere a piuliței. Apoi se demontează piulița. Volanul trebuie să poată fi demontat cu sculele prevăzute în producție. Ciclul montare-demontare se repetă de câteva ori.

Cerințe: forța și cuplul de montare limită, numărul limită de cicluri până la apariția defectelor, deplasarea limită în timpul montării.

6.2.3 Încercări ale claxonului

Echipamentul de testare: banc de probă

Cerințe: claxonul nu trebuie să se declanșeze spontan, cursa limită, forța limită de acționare, număr limită de cicluri până la apariția defectului.

6.2.4 Proprietățile de inerție ale volanului

Echipamentul de testare: orice echipament de testare atestat de beneficiar.

Masa se măsoară cu cântarul. Momentul de inerție se află cu formula

$$I_p = mx_o g \frac{T^2}{4\pi^2}$$

unde:

m - masa volanului,

x_o - lungimea pendulului fizic,

g - accelerația gravitațională,

T - perioada oscilației

Cerințe:

Masa și momentul de inerție polar trebuie să se încadreze între anumite limite

6.2.5 Frecvența proprie a volanului

Procedura de testare: Volanul se fixează prin intermediul bușei pe masa vibratoare, în poziția de funcționare și i se aplică un profil de frecvențe pe direcțiile verticală și orizontală. Prin măsurarea răspunsului se află frecvența proprie. Pentru schelet, frecvența proprie se poate afla și măsurând răspunsul după lovire cu un ciocănel.

Cerințe

Frecvența proprie trebuie să se încadreze între anumite limite.

6.2.6 Încercarea la desprinderea acoperirii de spumă de pe schelet

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut.

Procedura de testare, prima variantă: Pe o lățime prescrisă de pe janta volanului se aplică un moment până la desprindere materialului de acoperire de pe schelet. Se alege succesiv patru puncte de aplicare, primul punct se ia la mijlocul arcului celui mai mare al jenții iar următoarele trei aleator.

Procedura de testare, a doua variantă: Proba de lungime cuprinsă între 10 și 20 mm se sprijină pe un suport prin intermediul acoperirii. Asupra porțiunii din schelet se aplică o forță longitudinală. La interfața spumă-metal apare o tensiune tangențială $t=F/A$. Prelevarea probelor se face din trei puncte echidistante de pe janta volanului, unul fiind mijlocul arcului celui mai mare al jenții.

Cerințe

Forța sau momentul de desprindere trebuie să se încadreze între anumite limite.

6.2.7 Încercarea la desprinderea acoperirii de piele de pe volan

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut.

Procedura de testare: Pe o lățime prescrisă de pe janta volanului se aplică un moment prescris pe o perioadă prescrisă.

Cerințe

Momentul la care apare desprinderea sau cutarea pielii trebuie să se afle peste anumită limită

6.2.8 Încercarea suprafeței acoperirii volanului

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut.

Procedura de testare: O bandă de material textil se pune în contact cu suprafața acoperirii volanului. Se asigură o mișcare relativă între cele două suprafețe de o anumită amplitudine și frecvență.

Cerințe: după aplicarea numărului de cicluri cu materialul abraziv, textura, culoarea și luciul pielii nu trebuie să se modifice.

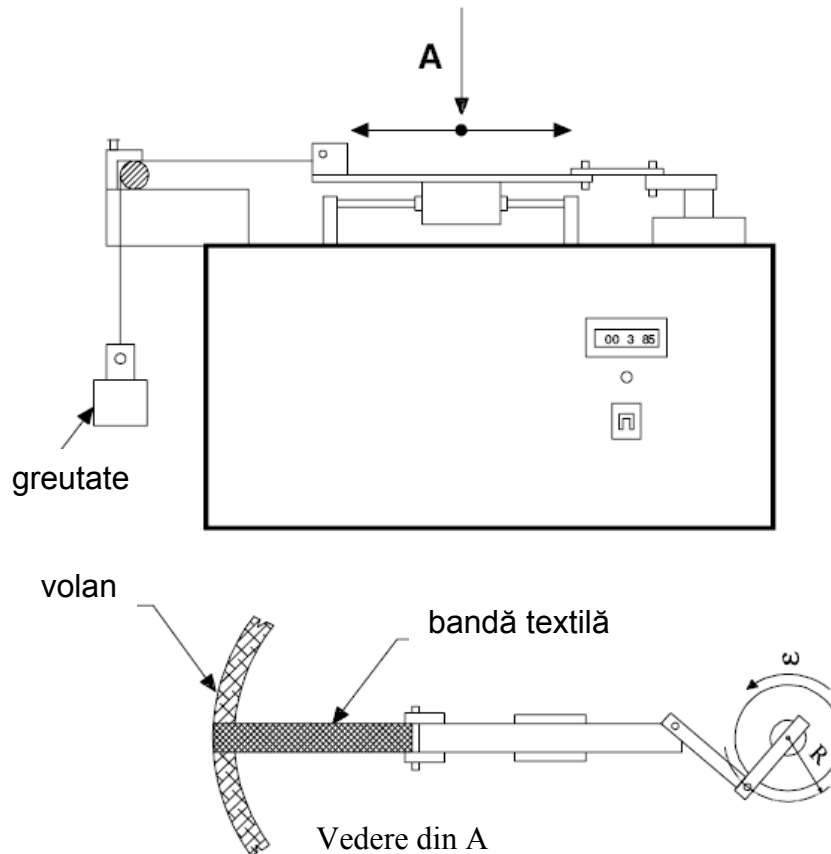


Figura 6.6 Încercarea suprafeței volanului

6.2.9 Încercarea statică la torsiune

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut, banc de probă pentru încercarea statică la torsiune.

Procedura de testare: Volanul se fixează rigid prin intermediul jenții și bucșa se încarcă static cu momentul de torsiune prescris. Momentul se aplică progresiv pentru un timp limitat la câteva zeci de secunde. Deformarea în funcție de momentul de torsiune se înregistrează cu ajutorul unui ploter. Se aplică scheletului sau volanului. Există și varianta cu bucșa fixată rigid și aplicarea momentului de torsiune prin intermediul jenții.

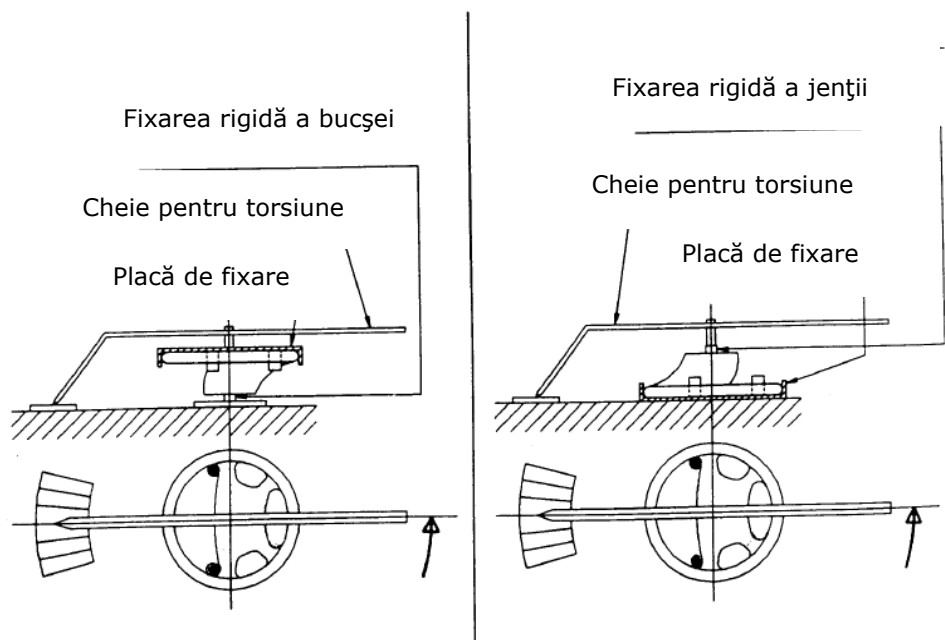


Figura 6.7 Încercarea statică la torsiune

Cerințe

Nu trebuie să apară rupturi sau fisuri, deformația totală și deformația remanentă trebuie să rămână sub valorile admise. Se poate cere ca diagrama forță-deplasare să se încadreze într-un anumit domeniu.

6.2.10 Încercarea statică la încovoiere și rigiditatea axială

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut, banc de probă pentru încercarea statică la încovoiere.

Procedura de testare: Volanul se fixează rigid prin intermediul bucșei și se încarcă static cu forța prescrisă, perpendicular pe planul jentii. Acoperirea din spumă se înlătură în zona de aplicare a forței, care va fi în mijlocul arcului celui mai mare al jentii. Bucșa volanului este ridicată prin intermediul unui ax filetat până celula de măsurare care indică forța prescrisă. Traductorul inductiv de deplasare indică deformația volanului ca funcție de deplasarea bucșei. Deformația în funcție de forță se înregistrează cu ajutorul unui ploter. Forța se aplică în puncte particulare de pe jantă, uzual în punctele N, E, V, S. Încercarea se poate face și pe schelet.

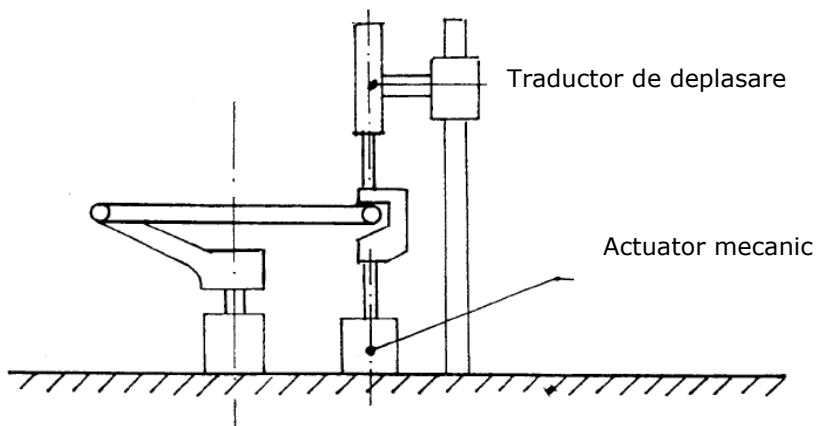


Figura 6.8 Încercarea statică la încovoiere

Cerințe

Nu trebuie să apară rupturi sau fisuri, deformația totală și deformația remanentă trebuie să rămână sub valorile admise. Se poate cere ca diagrama forță-deplasare să se încadreze într-un anumit domeniu.

6.2.11 Încercarea la zmulgerea bucșei

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut, banc de probă pentru zmulgerea bucșei.

Procedura de testare: Scheletul se montează pe arborele prin care se va aplica forța axială care va crește progresiv până la valoarea prescrisă sau deplasarea arborelui atinge o valoare limită.

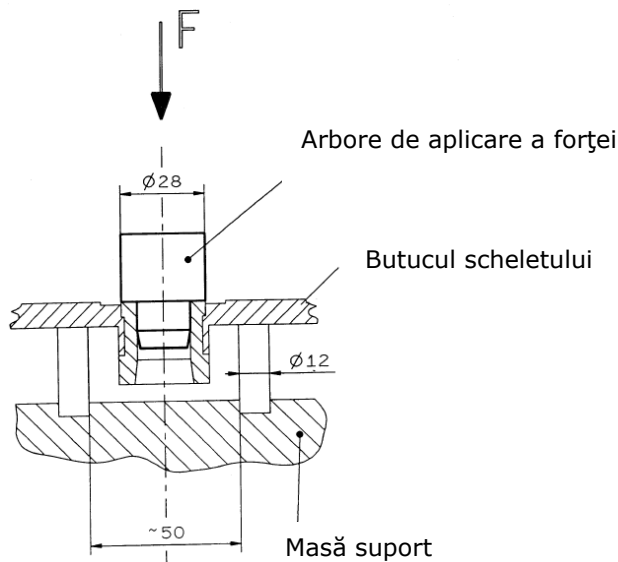


Figura 6.9 Încercarea la zmulgerea bucșei

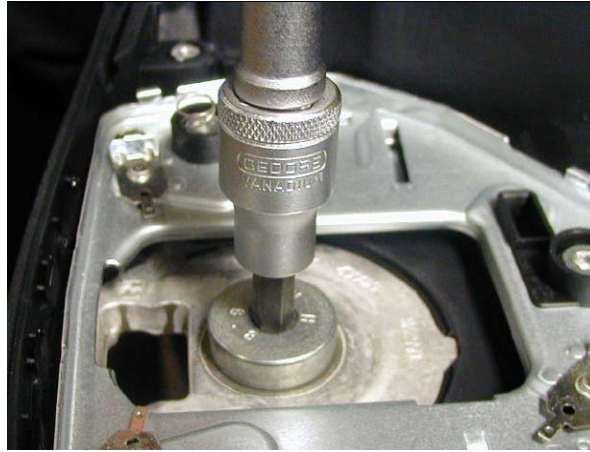


Figura 6.10 Banc de proba pentru încercarea la zmulgerea bucșei

Cerințe

Forța la care apare zmulgerea bucșei sau fisurarea butucului trebuie să se afle peste anumită limită

6.2.12 încercarea ciclică la torsiune

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut, banc de probă pentru încercarea ciclică la torsiune.

Procedura de testare: Volanul este fixat rigid prin două puncte de pe jantă de dispozitivul de încercare. Acoperirea de spumă este îndepărtată în cele două puncte pentru o fixare mai bună. Prin intermediul bucșei se aplică numărul de cicluri prevăzut pentru momentul de torsiune. Momentul aplicat trebuie să varieze sinusoidal.

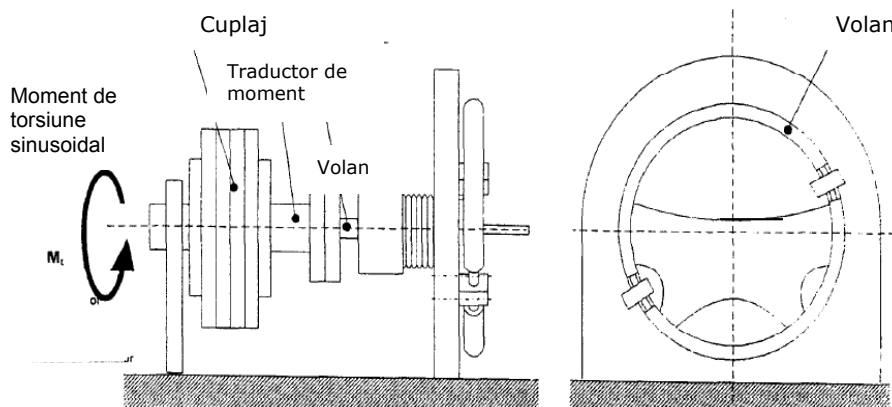


Figura 6.11 Încercarea ciclică la torsiune

Cerințe

Numărul de cicluri la care apare ruperea sa fie mai mare decât o anumită limită și după un număr stabilit de cicluri și deformația remanentă să fie mai mică decât o deformație limită.

6.2.13 Încercarea ciclică la încovoiere

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut, banc de probă pentru încercarea ciclică la torsiune.

Procedura de testare: Volanul se fixează rigid prin intermediul bucșei din butuc și se încarcă cu forța prescrisă, perpendicular pe planul jenții. Acoperirea din spumă se înlătură în zona de aplicare a forței, care va fi în centrul arcului celui mai mare al jenții.

Forța se poate aplica și în alte poziții. Forța aplicată trebuie să varieze după o funcție sinusoidală.

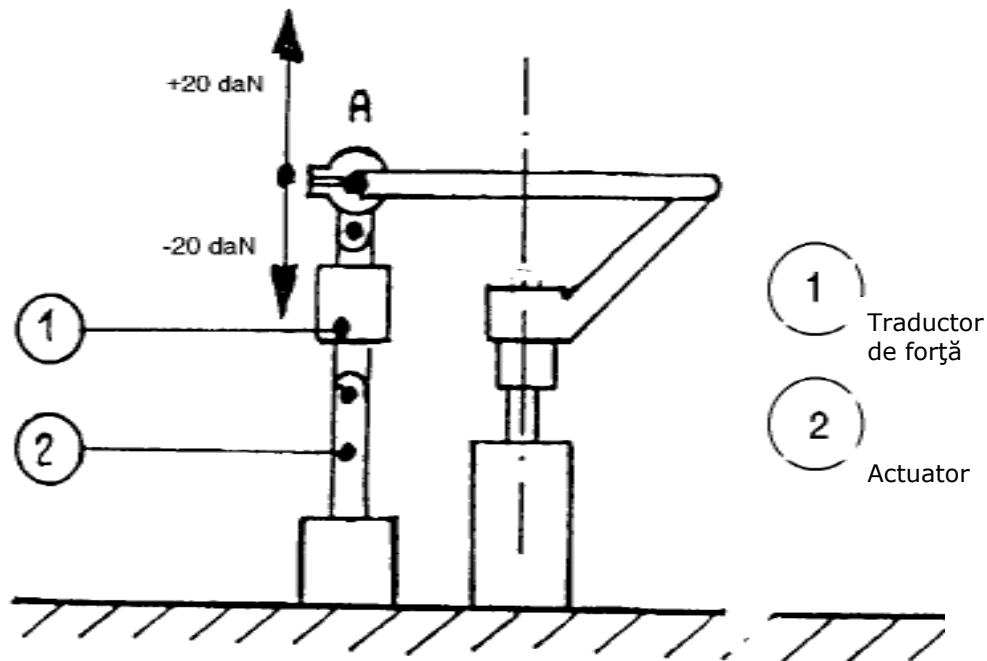


Figura 6.12 Încercarea ciclică la încovoiere



Figura 6.13 Banc de probă pentru încercarea ciclică la încovoiere

Cerințe

Un anumit număr de cicluri fără rupere și fisuri

6.2.14 încercarea ciclică la încovoiere și torsiune

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut.

Procedura de testare: Scheletul se fixează rigid prin intermediul bucșei din butuc și se încarcă în două puncte diametral opuse cu forțele prescrise, o pereche de forțe perpendicular pe planul jenții în același sens, iar altă pereche de forțe în planul jenții astfel încât să formeze un cuplu. Punctele de aplicare se iau în poziția cea mai nefavorabilă.

Cerințe

Un anumit număr de cicluri fără rupere și fisuri

6.2.15 încercarea la oboseală la încovoiere a scheletului

Echipamentul de testare: echipament pentru testul Wöhler modificat pentru dimensiunile scheletului

Procedura de testare: Scheletul volanului se montează cu bride pe placa rotativă, astfel încât excentricitatea dintre bucșa volanului și axa de rotație a platanului să fie sub 0.3 mm. În axul bucșei se montează dispozitivul de aplicare a

sarcinii, piulița de montare se strânge cu momentul specificat pe desen. Pe dispozitiv se atârână o masă de 20 kg.

Cerințe

Un anumit număr de cicluri fără rupere și fisuri

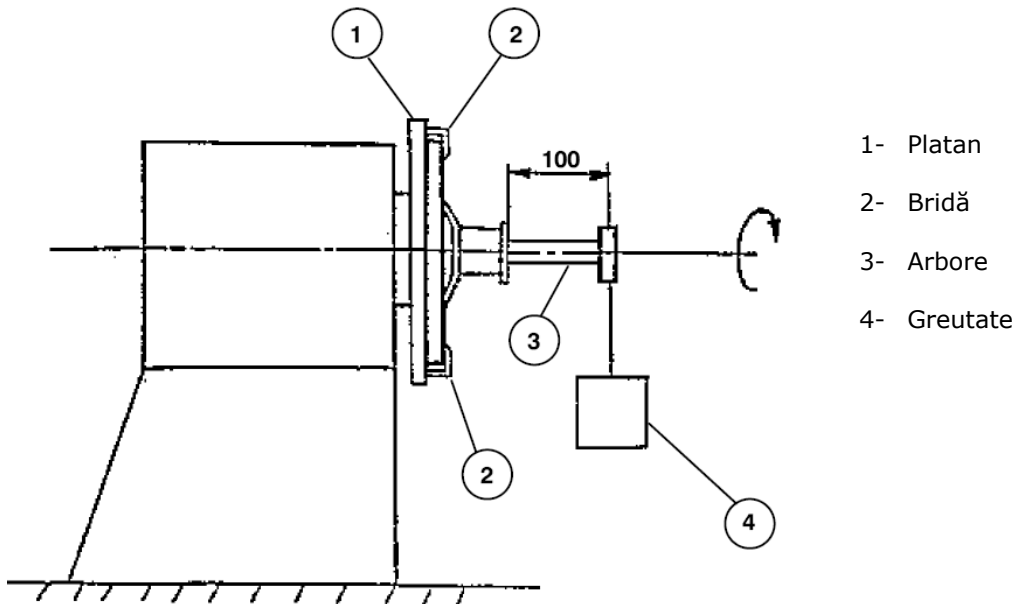


Figura 6.14 Încercarea la oboseală la încovoiere a scheletului

6.2.16 Încercarea ciclică la încovoierea jenții

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut și poate menține permanent contactul dintre rolă și jantă.

Procedura de testare: Scheletul se fixează rigid prin intermediul bucșei din butuc pe un arbore. Forța prescrisă se aplică perpendicular pe planul jenții prin intermediul unei role. Volanul se rotește prin intermediul arborelui cu o viteză unghiulară constantă prescrisă.

Cerințe

Un anumit număr de cicluri fără rupere și fisuri.

6.2.17 Încercarea la sarcină vibratorie

Echipamentul de testare: orice echipament care poate aplica profilul de încărcare prevăzut pe trei axe spațiale și poate menține volanul în poziția de funcționare de pe automobil.

Procedura de testare: Se montează volanul pe masa vibratoare. Profilul încărcării se aplică câte 24 de ore pe fiecare axă, longitudinală, transversală și verticală.

Cerințe

După efectuarea încercării volanul nu trebuie să prezinte defecte vizibile sau de funcționare.

6.2.18 Încercările la șoc ale volanului.

Echipamentul de testare: banc de probă pentru încercarea la șoc.

Procedura de testare conform ECE R12. ECE R12 este norma europeană referitoare la protecția șoferului în caz de impact cu volanul. Ea conține în anexa 4 testul de impact cu corpul manechinului „body block test”, iar la anexa 5 testul de impact cu capul manechinului „head form test”.

Testul de impact cu corpul manechinului.

Automobilul e tăiat transversal la nivelul scaunelor din față și se elimină capota, ușile și parbrizul, apoi se montează rigid în bancul de probă. Se poate înlocui acest montaj cu montarea doar a mecanismului de direcție într-un dispozitiv pentru testare cu condiția ca montajul să aibă aceleași caracteristici geometrice și o rigiditate mai mare decât mașina reală. În plus volanul trebuie să fie complet, inclusiv accesoriile, să aibă un spațiu de deformare de 100 mm până la bancul de probă și să fie fixat rigid de bancul de probă, astfel încât coloana de direcție să nu se miște la impact.

Volanul se va monta astfel încât spița cea mai rigidă să fie perpendiculară zona punctul de contact cu manechinul, apoi cu partea cea mai flexibilă în zona de contact cu manechinul. Dacă volanul e prevăzut cu airbag, testul se desfășoară cu airbagul umflat. La cerere, se poate efectua și cu airbagul inactiv.

Se va măsura forța maximă care se dezvoltă în manechin în timpul ciocnirii de volan. Forța se poate măsura direct sau indirect sau poate rezulta din analiza datelor înregistrate în timpul testului.

Manechinul, a cărui masă trebuie să fie cuprinsă între 34 și 36 kg va fi propulsat prin orice metoda care asigură că în momentul ciocnirii e liber de orice legătură cu echipamentul de propulsie și se află în mișcare de translație, aproximativ. Referința manechinului, punctul H marcat vizibil, trebuie să se afle în același plan orizontal cu punctul de referință r al automobilului, indicat de producător.

Viteza manechinului trebuie să fie $24.1 \text{ km/h} + 1.2 \text{ km/h}$. Totuși, dacă testul se efectuează la viteze mai mari și totuși rezultatul se încadrează în limitele admise, testul e considerat valid.

Precizia admisă la măsurarea vitezei e 2%, timpul se măsoară la miime de secundă, iar momentul de început al impactului se va identifica din înregistrarea video a încercării. Instrumentele pentru măsurarea forței trebuie să respecte ISO 6487:1987. Traductorii de forță montați în volan necesită o amplitudine a canalului de 1960 daN și canal de frecvență de clasa 600 Hz. Traductorii de accelerație sunt în număr de doi montați în planul transversal care trece prin centrul de greutate. Ei necesită o amplitudine a canalului de 60g și canal de frecvență clasa 180 Hz.

După test se face fotografia mecanismului de direcție și se notează forța maximă dezvoltată în manechin.

Cerințe

După efectuarea încercării volanul trebuie să prezinte cel puțin o spiță neruptă, forța dezvoltată în manechin nu trebuie să depășească o limită prestabilită.

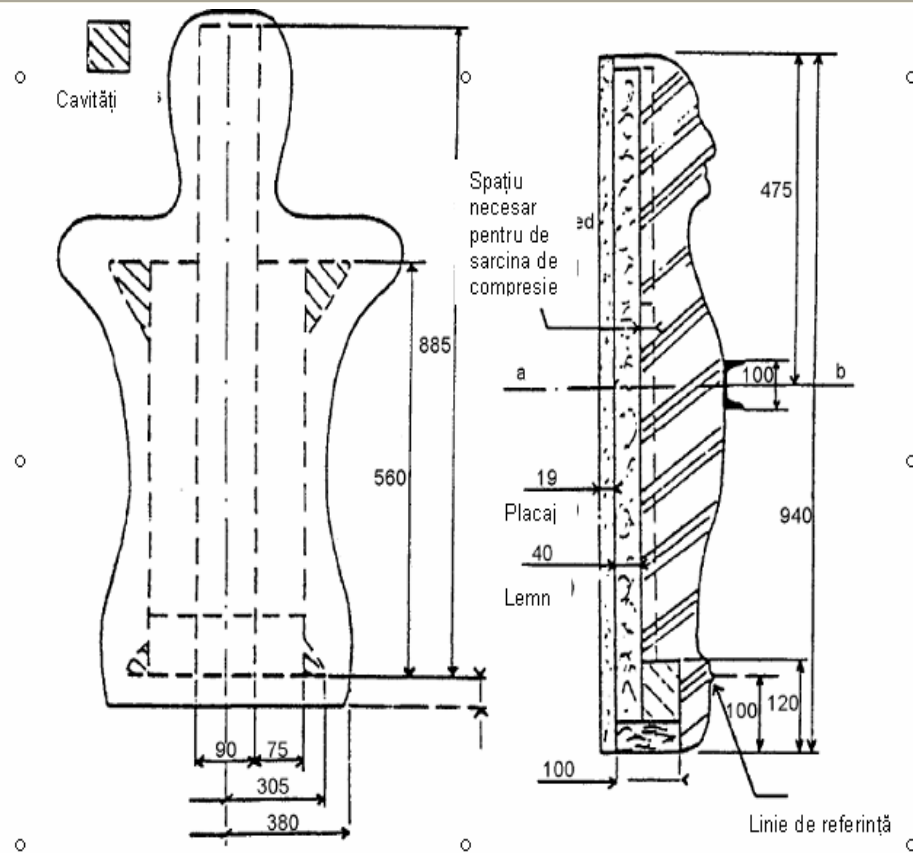


Figura 6.15a Manechinul pentru încercarea la impact cu volanul

Figura 6.15a Manechinul pentru încercarea la impact cu volanul

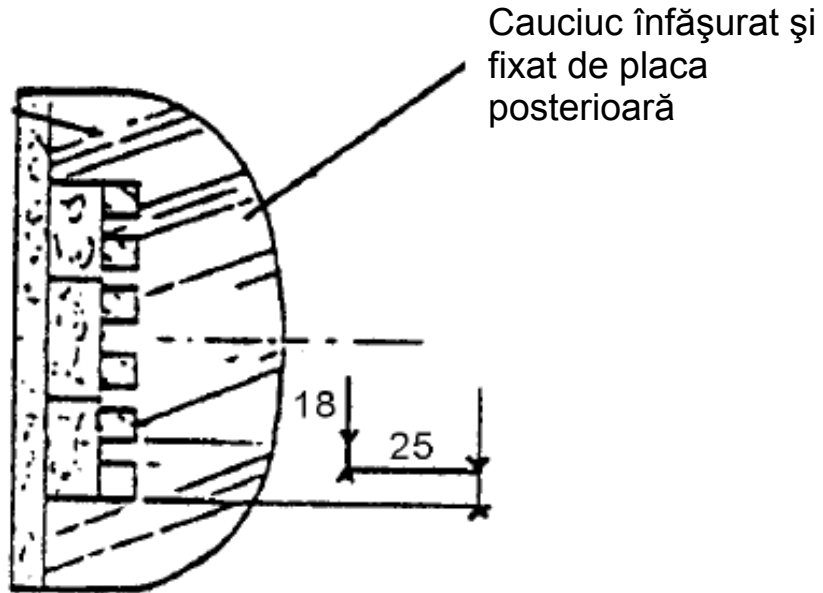


Figura 6.15b Manechinul pentru încercarea la impact cu volanul



Figura 6.16 Banc de probă pentru încercarea la impact cu volanul

Testul de impact cu capul manechinului.

Se efectuează similar cu testul de impact cu corpul manechinului cu diferența că impactorul este rigid, ghidat liniar complet cu masa de 6.8 kg. Suprafața de impact e semisferică, cu raza de 165 mm. El e dotat cu doi traductori de accelerație care necesită o amplitudine a canalului de 150g și canal de frecvență clasa 600 Hz, și un traductor de viteză cu precizia de 1%, orientați toți pe direcția impactului.

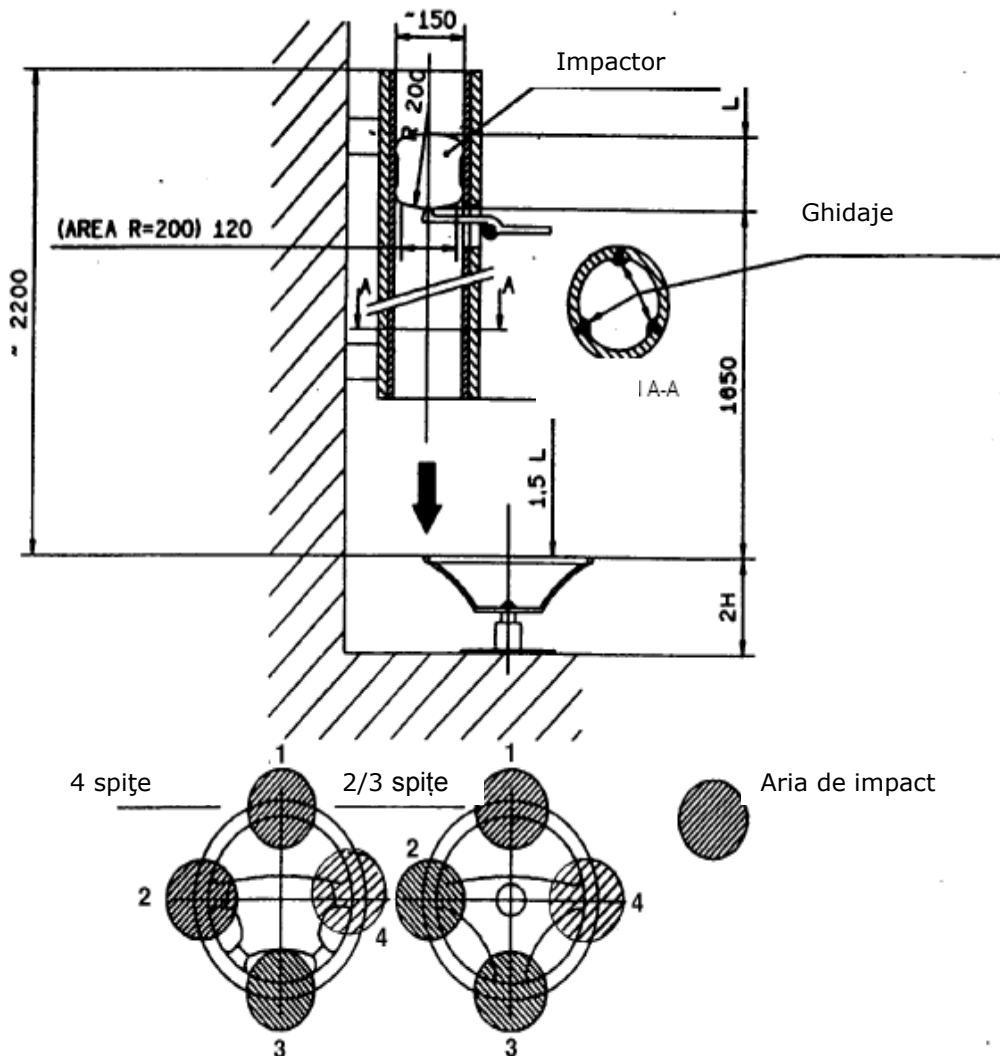


Figura 6.17 Încercarea la impact cu capul manechinului

Cerințe

După efectuarea încercării volanul trebuie să nu aibă spițe rupte, forța dezvoltată în impactor nu trebuie să depășească o limită prestabilită.

6.3 Măsurarea caracteristicilor de absorbție a energiei de către scheletul volanului

Măsurarea caracteristicilor de absorbție a energiei de către scheletul volanului este necesară pentru dezvoltarea unor volane care să absoarbă cât mai multă energie în momentul impactului cu șoferul, pentru creșterea siguranței vehiculelor. Volanul este element activ în asigurarea siguranței șoferului, iar scheletul este elementul structural principal care asigură rezistența și elasticitatea volanului, precum și absorbția energiei. Caracteristicile de absorbție se pot măsura experimental sau se pot obține din simularea numerică a testelor. Testele folosite în principal pentru determinarea lor sunt ciocnirea cu corpul manechinului și ciocnirea cu capul manechinului și sunt standardizate.

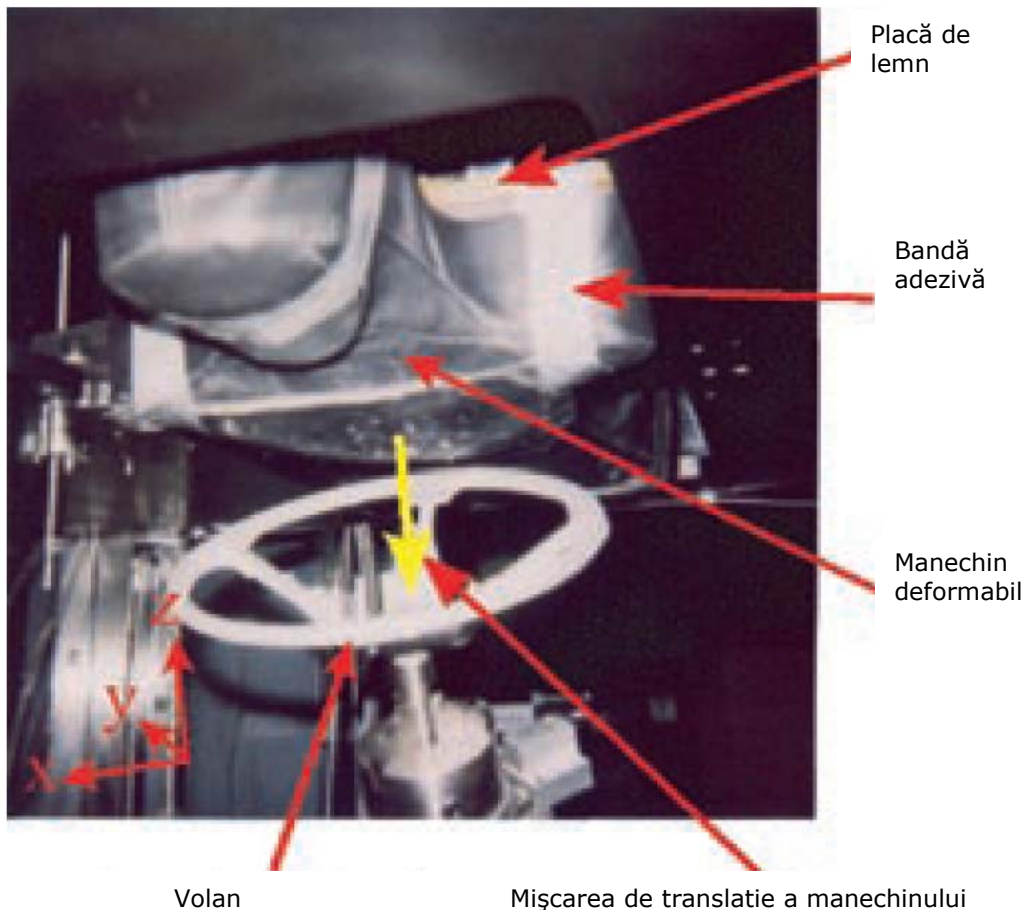


Figura 6.18 Dipozitivul experimental pentru testul de ciocnire cu corpul manechinului

Pentru aceasta s-a folosit un dispozitiv de testare prin cădere care folosește gravitația pentru accelerarea manechinului. Un traductor de forță triaxial este montat direct sub volan, orientat cu axa sa z în direcția mișcării manechinului, pentru a măsura sarcina în timpul impactului pe trei direcții. Un traductor inductiv diferențial de deplasare s-a montat rigid pe placa suport a manechinului pentru a măsura deplasările acestuia pe direcția z . Un set de mărci tensometrice se montează la fiecare volan testat în dreptul punctului de impact. După punerea pe zero a tuturor senzorilor placa susținând manechinul este ridicată la înălțimea potrivită pentru obținerea vitezei de impact și apoi eliberat.

Cele mai importante mărimi care intervin în testarea prin ciocnire cu manechinul sunt unghiul coloanei de direcție, viteza de impact și unghiul volanului. Unghiul coloanei de direcție este unghiul format de axa coloanei de direcție și implicit a volanului cu proiecția ei pe un plan orizontal. Sensul orar se consideră pozitiv. Uzual el este cuprins între 25° și 35° din fabricație.

Viteza de impact este viteza manechinului în momentul impactului în mișcarea sa de translație.

Unghiul volanului reprezintă unghiul cu care este rotit volanul în jurul axei sale în momentul impactului. Prin rotirea volanului se obține poziția punctului de impact corespunzător. Punctele de impact se pot identifica prin orele de pe cadranul unui ceas sau prin punctele cardinale.

Prin modificarea acestor trei parametri se obțin caracteristicile de absorbție ale scheletului volanului pe întreaga plajă de valori.

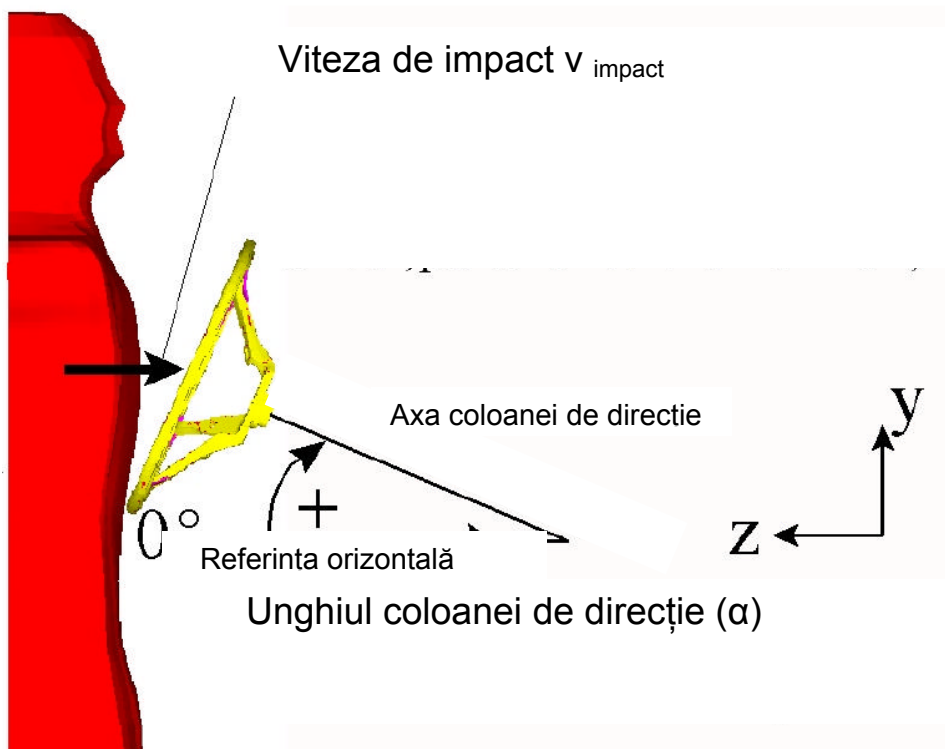


Figura 6.19 Parametrii testului de ciocnire cu corpul manechinului

Mărimile caracteristice pentru absorbția energiei de către schelet sunt energia de deformare plastică și factorul de absorbție a energiei.

Energia absorbită se determină din diagrama forță-deplasare care se trasează în timpul încercării.

Lucrul mecanic consumat pentru defomarea plastică a scheletului și manechinului se poate considera ca fiind:

$$U_{plastic} = \int F_z dz$$

unde z este direcția deformației. Prin aceasta se neglijează deformațiile și forțele după axele x și y care sunt mici și dificil de măsurat.

Integrala se calculează pe toată durata impactului și se aproximează cu o sumă folosind un număr finit de puncte în care se cunosc forța și deplasarea.

$$U_{plastic} = \sum_{i=2}^{N-1} F_{z_i} \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{2}$$

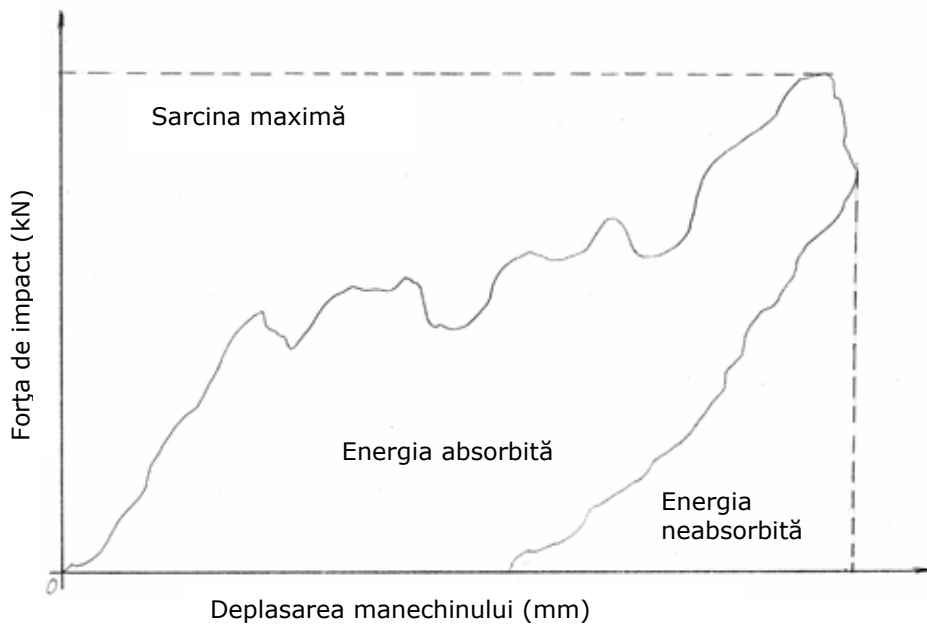


Figura 6.20 Energia absorbită de volan la impact

Energia absorbită se mai poate calcula din legea conservării energiei.

$$T_1 + \sum U_{1 \rightarrow 2} = T_2$$

Unde T_1 și T_2 reprezintă energia manechinului înainte și după impact. Rezultă

$$\frac{1}{2}mv_{\text{impact}}^2 + mg(z_{\text{impact}} - z_t) + U_{\text{perm}_t} = \frac{1}{2}mv_t^2$$

de unde

$$U_{\text{perm}_t} = \frac{1}{2}m(v_t^2 - v_{\text{impact}}^2) - mg(z_{\text{impact}} - z_t)$$

Factorul de absorbție a energiei se definește ca raportul dintre energia absorbită și maximum energiei disponibile înainte de impact.

$$EAF = \frac{E_{\text{absorbita}}}{E_{\text{disponibila}}}$$

Energia disponibilă înainte de impact este dată de energia cinetică plus energia potențială.

$$E_{\text{disponibila}} = \frac{1}{2}mv_{\text{impact}}^2 + mg\delta_{\text{max}}$$

Din cauză că materialul scheletului are și o comporatre elastică pe lângă cea plastică EAF este subunitar.

În modelul de element finit, pornind de la definiția energiei interne, energia se calculează cu

$$U_{\text{int}} = \int [\sigma]^T [d\varepsilon] dV$$

unde

$$[\sigma] = [\sigma_x \sigma_y \sigma_z \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx}]^T$$

și

$$[d\varepsilon] = [d\varepsilon_x d\varepsilon_y d\varepsilon_z d\gamma_{xy} d\gamma_{yz} d\gamma_{zx}]^T$$

Energia calculată prin cele trei metode se poate reprezenta grafic în funcție de timp pentru a le putea compara.

Energia calculată după metoda conservării energiei are valoarea cea mai mare pentru că neglijează pierderile prin frecare, vibrații, etc. Energia rezultată din metoda elementului finit are valoarea cea mai mică, ceea ce se poate explica prin imprecizia modelului de aproximare a stării plastice. Totuși, raportul dintre energia absorbită de schelet și cea absorbită de manechin poate fi estimată doar prin această metodă. Raportul e de 70/30, mai multă energie absorbind scheletul.

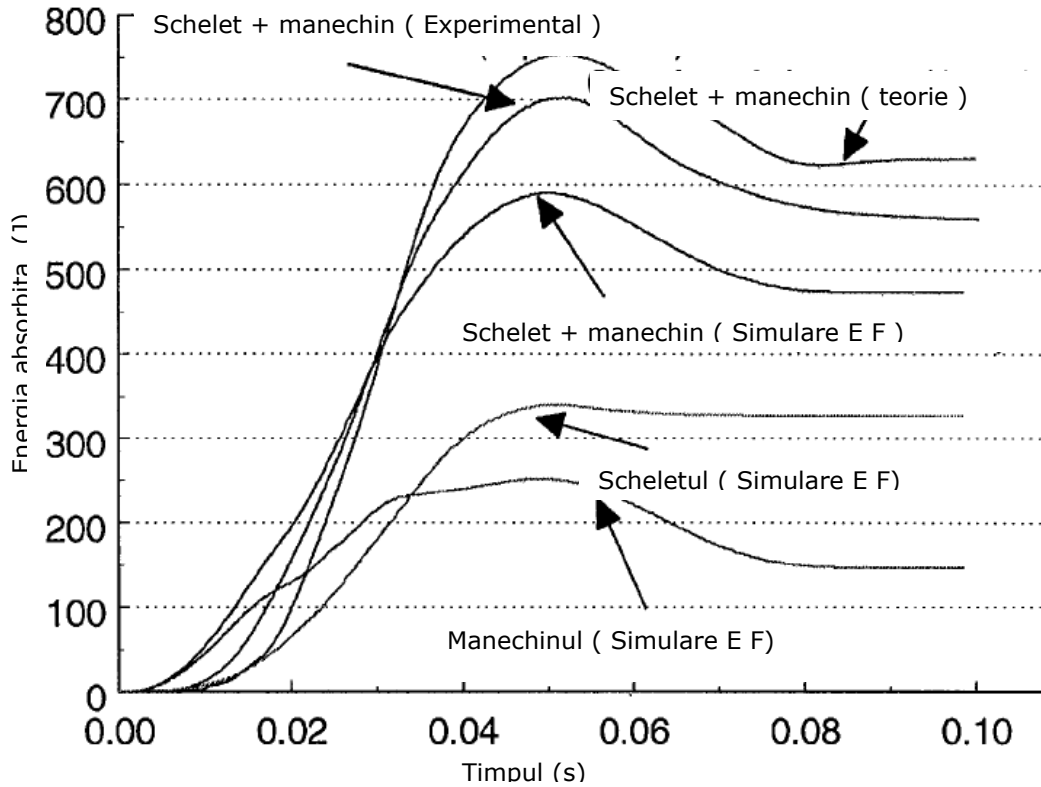


Figura 6.21 Energia absorbită în timpul impactului

Experimentul s-a efectuat la un unghi al coloanei de direcție de 20°

Nr. Probă	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
orientarea volanului	0	0	0	0	30	30	30	30	90	90	90	90	180	180	180	180
viteza de impact m/s	2.1	2.5	2.9	3.3	2.1	2.5	2.9	3.3	2.1	2.5	2.9	3.3	2.1	2.5	2.9	3.3

Tabelul 6.1 Orientarea volanului și viteza de impact

Aliajul de aluminiu A 380, aliajul de magneziu folosit este AM50A

pozitia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
magneziu	3800	6000	7800	8400	3000	5000	6000	8000	2900	4600	5000	5000	4200	4800	5300	5900
aluminiu	3500	5900	8200	8600	3700	4900	7100	7900	3100	3500	5600	6300	3400	4500	5500	6000

Tabelul 6.2 Forța maximă dezvoltată în timpul impactului (N)

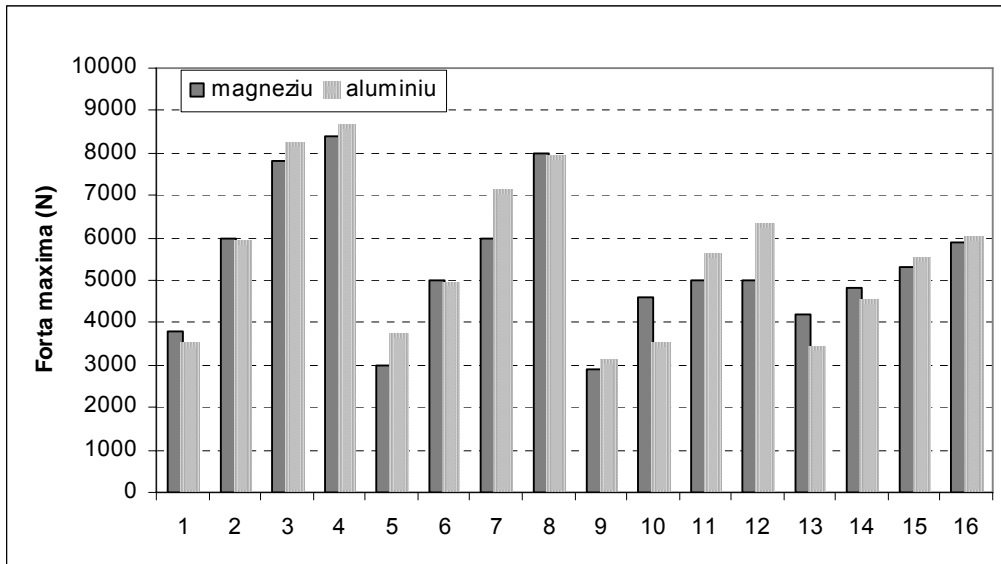


Figura 6.22 Forța maximă dezvoltată în timpul impactului (N)

pozitia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
magneziu	71	88	100	109	61	85	100	112	73	102	123	145	124	130	143	153
aluminiu	66	79	96	103	54	76	90	98	57	91	110	122	115	127	136	142

Tabelul 6.3 Deplasarea maximă dezvoltată în timpul impactului (mm)

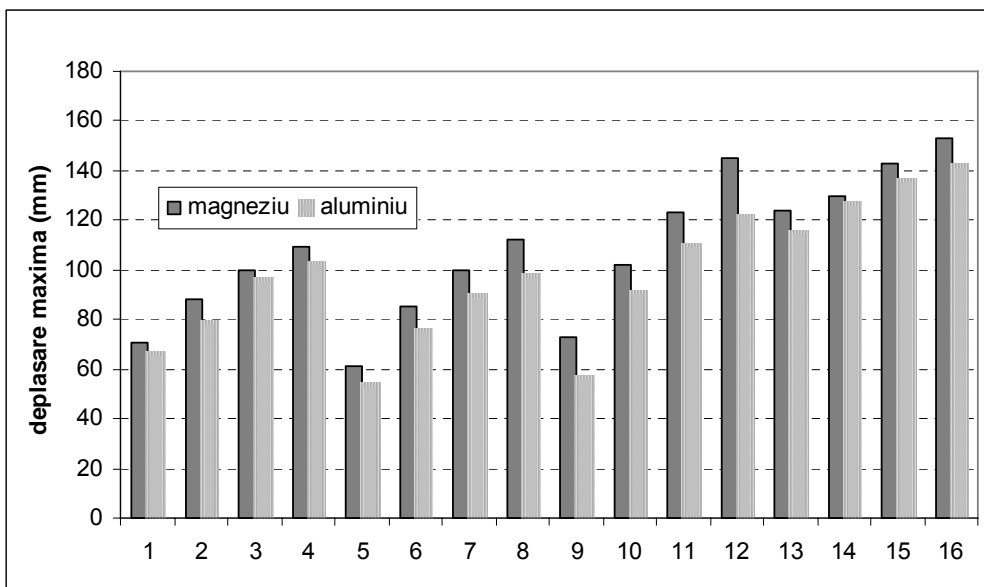


Figura 6.23 Deplasarea maximă dezvoltată în timpul impactului (mm)

pozitia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
magneziu	125	180	235	300	100	180	245	310	120	200	305	380	140	175	225	270
aluminiu	135	200	270	340	120	195	270	330	115	200	280	360	140	200	240	280

Tabelul 6.4 Energia absorbită în timpul impactului (J)

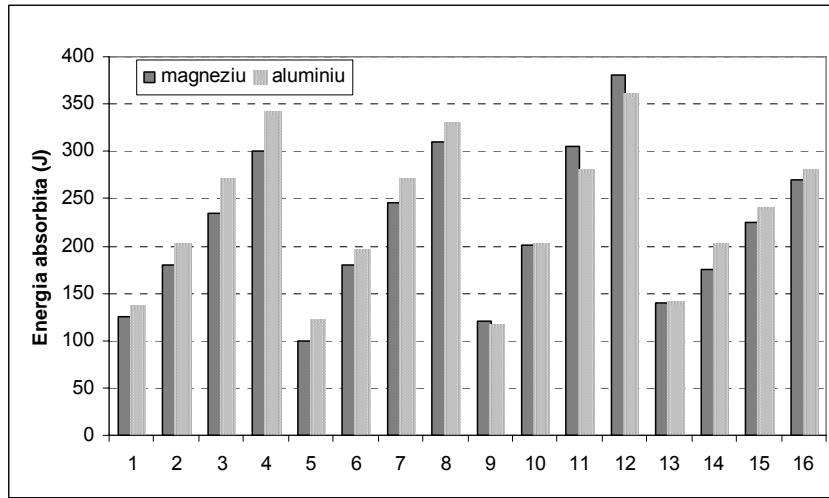


Figura 6.24 Energia absorbită în timpul impactului (J)

pozitia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
magneziu	25	45	69	78	32	33	50	61	36	46	28	31	45	47	55	69
aluminiu	13	20	35	45	20	22	25	31	22	27	32	33	22	19	21	29

Tabelul 6.5 Energia elastică în timpul impactului (J)

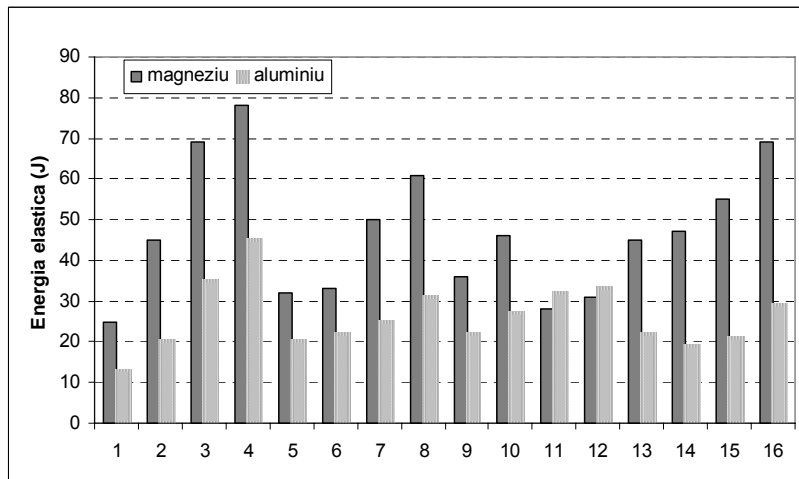


Figura 6.25 Energia elastică în timpul impactului (J)

Interpretarea rezultatelor:

- Forțele dezvoltate în schelet au valori apropiate pentru ambele materiale
- Deplasările scheletului de magneziu sunt puțin mai mari
- Scheletul de aluminiu absoarbe mai multă energie
- Scheletul de magneziu are răspuns elastic mai mare
- Variația răspunsului elastic în funcție de viteza de impact și orientarea volanului e mai mare la volanul de magneziu

Astfel, aluminiul prezintă următoarele avantaje:

- deplasări mai mici
- energie absorbită mai mare
- răspuns elastic mai mic
- sensibilitatea răspunsului elastic mai mică la condițiile de impact: viteză și orientare

7. Modelarea geometriei structurii de rezistență a volanului și aplicarea rezultatelor în scopul optimizării ei

7.1 Influența geometriei scheletului asupra simulării testelor statice

În continuare se va studia influența pe care are geometria scheletului asupra capacității volanului de a trece testele mecanice. Testele mecanice sunt statice, de impact, oboseală și frecvența proprie. Dintre acestea doar determinarea frecvenței proprii și testele statice pot fi simulate cu o precizie ridicată. Vom încerca să arătăm influența pe care o au parametrii constructivi asupra rezultatelor testelor statice. Cea mai greu de îndeplinit solicitare statică este cea la încovoierea scheletului.

Se va contrui un model de schelet, la început mai simplu, apoi tot mai complex, pe măsura adăugării de noi parametrii și modificării lor. Pe fiecare schelet se vor aplica trei cazuri de încărcare, în punctele de la ora 3, ora 6 și ora 12, în direcție verticală.

Primul parametru luat în considerare este numărul de spițe. Pentru aceasta se va construi cel mai simplu schelet, de grosime constantă. Grosimea materialului s-a considerat 6 mm, iar forța aplicată 100 N

Nr. Spite	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
1	Ora 3	43434	181216	58.8	241
1	Ora 6	43335	180311	7.05	34.6
1	Ora 12	43461	181332	147	258
2	Ora 3	45654	190002	3.09	32.5
2	Ora 6	45721	190312	12.30	125
2	Ora 12	45736	190387	17.0	130
3	Ora 3	50023	208325	2.57	33.3
3	Ora 6	50042	208407	1.60	21.5
3	Ora 12	49933	207884	17.7	141
4	Ora 3	54670	226905	2.15	26.9
4	Ora 6	54625	226574	1.90	39.3
4	Ora 12	54563	226303	15.7	135

Tabelul 7.1 Rezultatul simulării în funcție de numărul de spițe

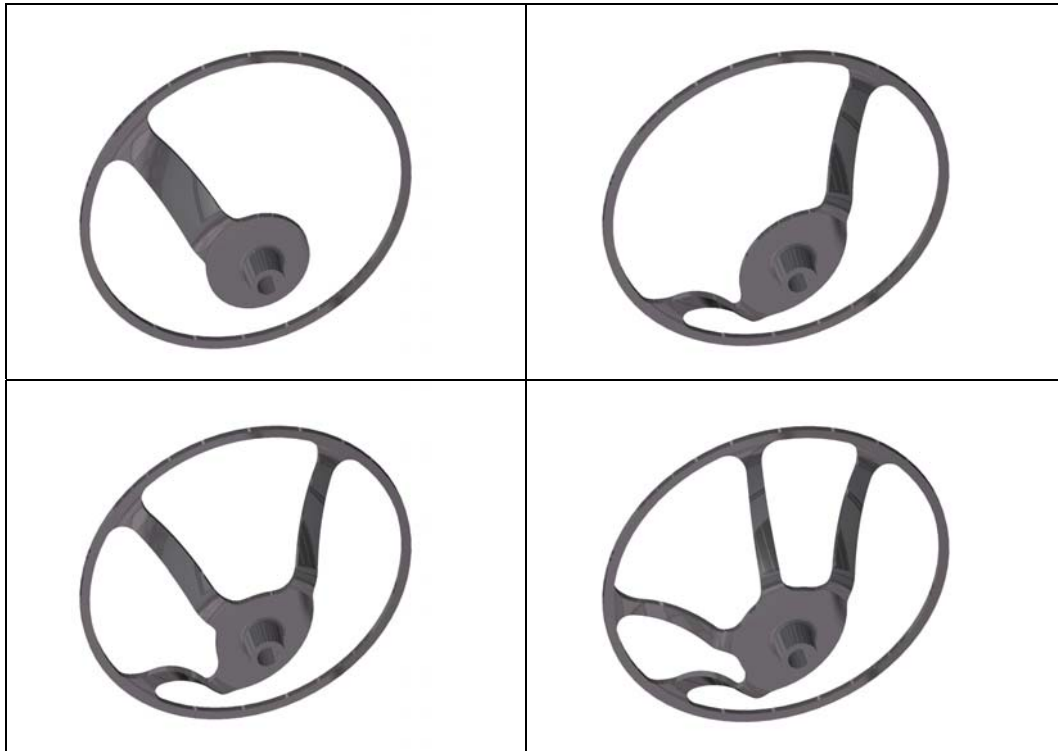


Figura 7.1 Numărul de spițe al volanelor

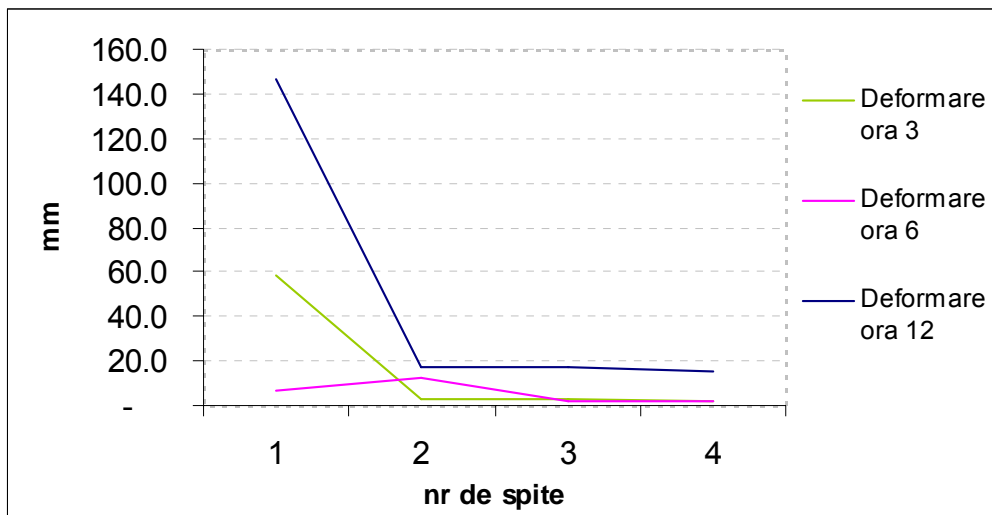


Figura 7.2 Rezultatul simulării în funcție de numărul de spițe. Deformarea maximă.

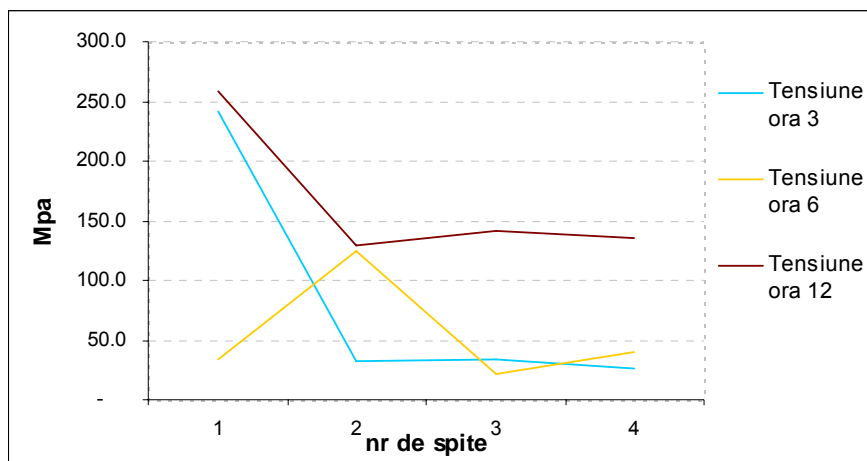


Figura 7.3 Rezultatul simulării în funcție de numărul de spițe. Tensiunea maximă.

Se observă ca modelul cu o singură spiță răspunde foarte rău la încercări. La ora actuală el nu mai este folosit în industria de automobile. Modelele cu 2, 3 sau 4 spițe au rezultate apropiate, depinzând și de alți parametrii. Modelul cu 3 spițe este cel mai folosit în proiectele noi.

În continuare s-a considerat doar scheletul cu 3 spițe, ai carui parametrii au fost modificați.

Al doilea parametru luat în considerare este grosimea materialului. Forța aplicată se ia 100 N

Grosimea scheletului (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
6	Ora 3	50023	208325	2.57	33.3
6	Ora 6	50042	208407	1.60	21.5
6	Ora 12	49933	207884	17.7	141
7	Ora 3	20840	80125	1.62	24.5
7	Ora 6	20844	80182	1.04	15.2
7	Ora 12	20865	80305	10.9	102
8	Ora 3	21357	83174	1.21	20.7
8	Ora 6	21342	83083	0.80	12.4
8	Ora 12	21337	83011	7.63	73.1
9	Ora 3	24751	100447	0.94	19.2
9	Ora 6	24716	100268	0.63	9.75
9	Ora 12	24684	100201	5.98	66.1
10	Ora 3	26157	108075	0.76	15.4
10	Ora 6	26213	108344	0.52	8.32
10	Ora 12	26139	107992	4.58	49.4

Tabelul 7.2 Rezultatul simulării în funcție de grosimea materialului

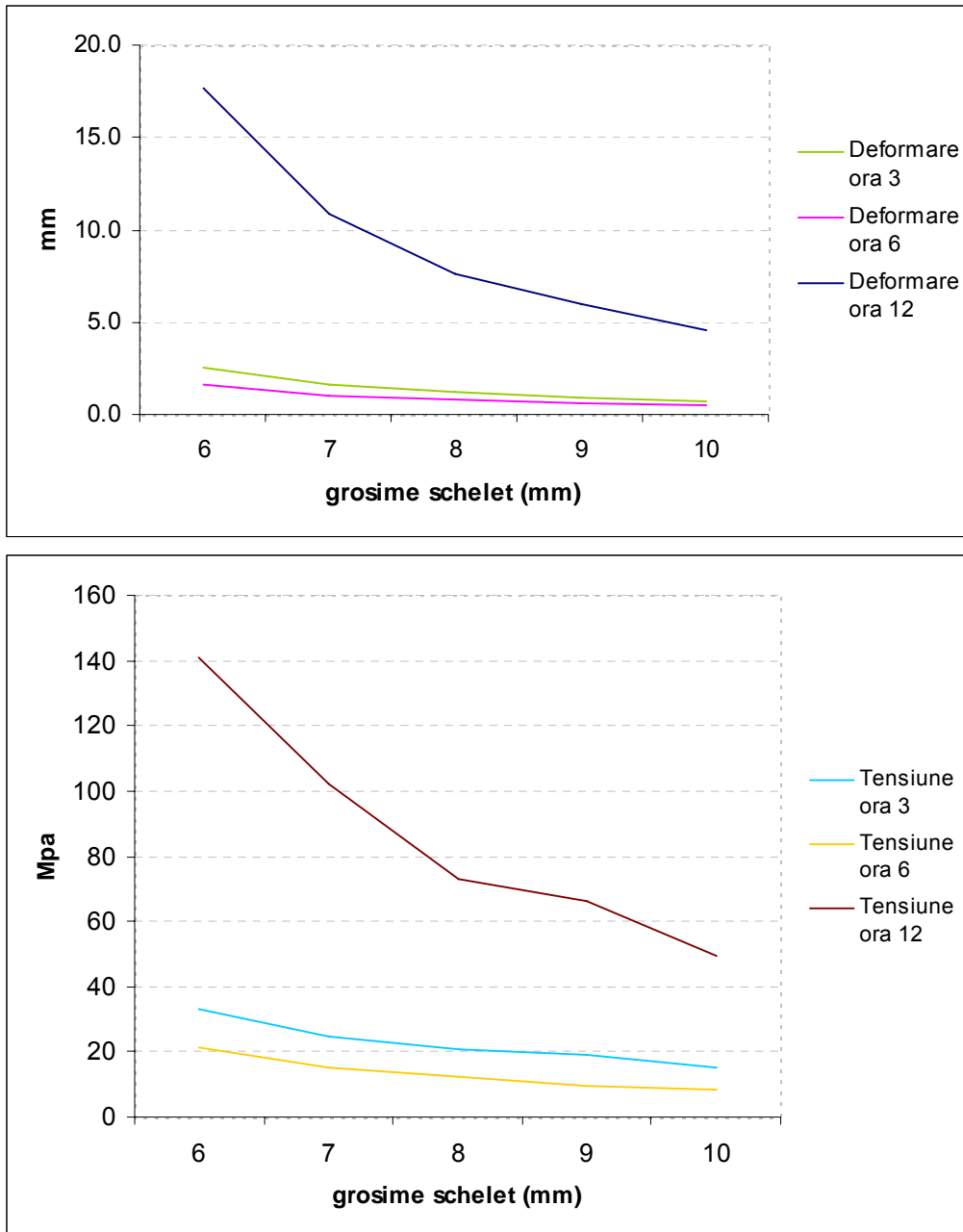


Figura 7.4 Rezultatul simulării în funcție de grosimea materialului.

Grosimea materialului este un parametru de importanța majoră.

Al treilea parametru luat în considerare este diametrul jenții. Grosimea scheletului se ia 8mm iar forța aplicată 100 N

Diametrul jenții (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
346	Ora 3	21582	84943	1.02	15.7
346	Ora 6	21605	85070	0.68	11.4
346	Ora 12	21593	85006	6.40	67.6
366	Ora 3	21357	83174	1.21	20.7
366	Ora 6	21342	83083	0.80	12.4
366	Ora 12	21337	83011	7.63	73.1
386	Ora 3	22979	90386	1.35	22.8
386	Ora 6	22998	90576	0.99	14.4
386	Ora 12	23062	90869	9.25	86.8

Tabelul 7.3 Rezultatul simulării în funcție de diametrul jenții

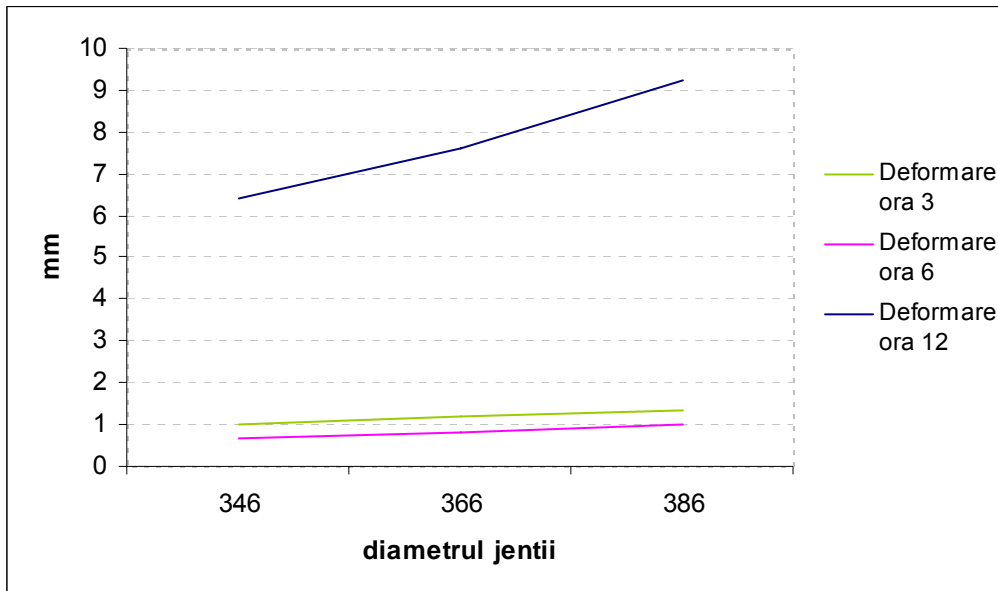


Figura 7.5a Rezultatul simulării în funcție de diametrul jenții

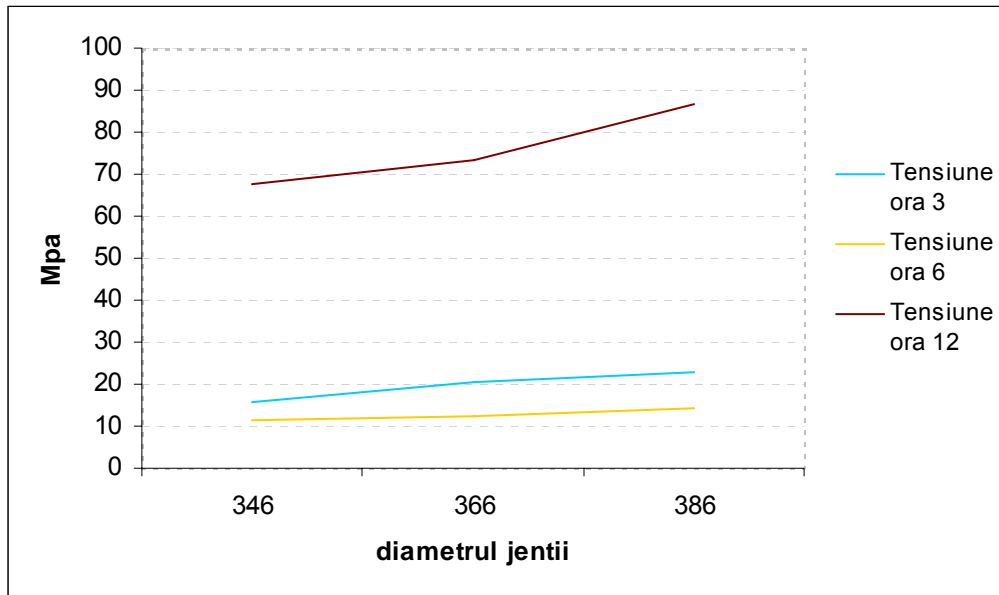


Figura 7.5b Rezultatul simulării în funcție de diametrul jentii

Creșterea diametrului jentii duce la creșterea atât a tensiunii, cât și a deformației.

Al patrulea parametru luat în considerare este înălțimea scheletului. Grosimea scheletului se ia 8 mm iar forța aplicată 100 N

Înălțimea scheletului (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
121	Ora 3	21078	81903	1.20	22.6
121	Ora 6	21091	81943	0.81	12.2
121	Ora 12	21058	81809	7.70	72.5
131	Ora 3	21357	83174	1.21	20.7
131	Ora 6	21342	83083	0.80	12.4
131	Ora 12	21337	83011	7.63	73.1
141	Ora 3	18488	69390	1.53	19.3
141	Ora 6	18488	69350	0.97	14.8
141	Ora 12	18486	69339	9.43	80.9

Tabelul 7.4 Rezultatul simulării în funcție de înălțimea scheletului

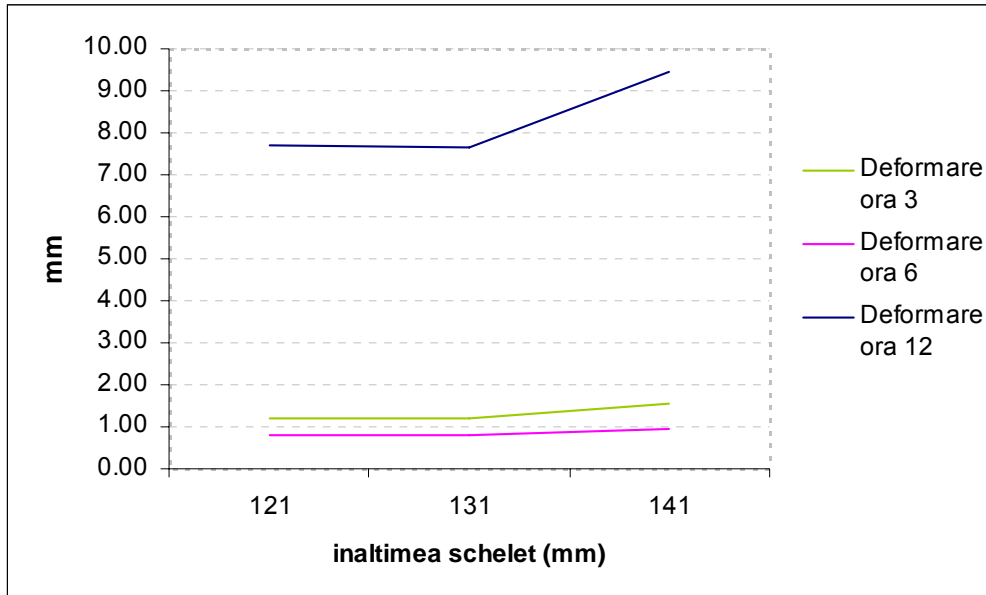


Figura 7.6 Rezultatul simulării în funcție de înălțimea scheletului. Deformarea maximă

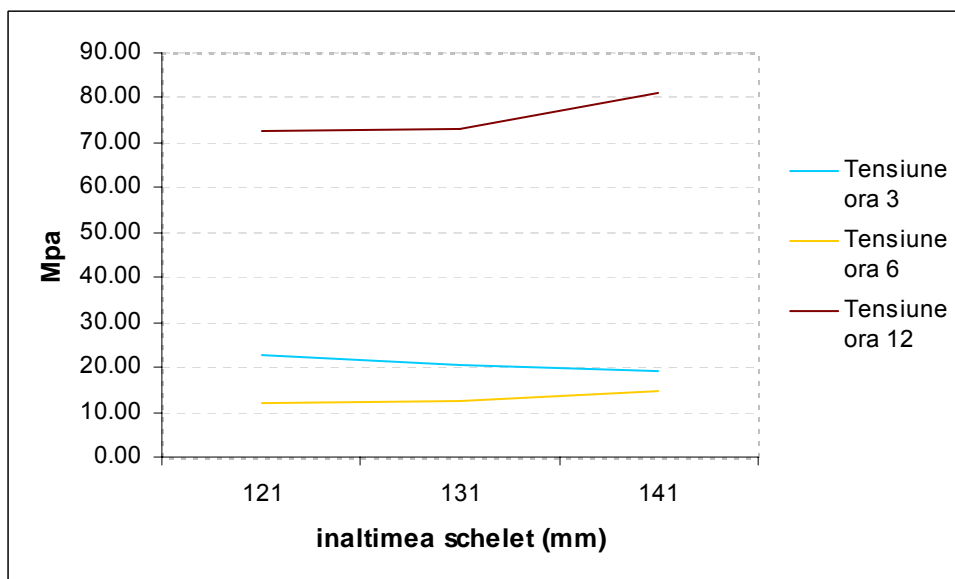


Figura 7.7 Rezultatul simulării în funcție de înălțimea scheletului. Tensiunea maximă.

Creșterea înălțimii scheletului duce la îmbunătățirea elasticității lui, deformația crescând mai rapid decât tensiunea.

Al cincilea parametru luat în considerare este grosimea butucului. Grosimea scheletului se ia 8mm iar forța aplicată 100 N, numai în poziția ora 3.

Grosimea butucului (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
8	Ora 3	21357	83174	1.21	20.7
9	Ora 3	22587	89332	1.13	19.6
10	Ora 3	22581	89272	1.04	19.2
11	Ora 3	22589	89360	0.97	18.4
12	Ora 3	22657	89728	0.96	18.1

Tabelul 7.5 Rezultatul simulării în funcție de grosimea butucului

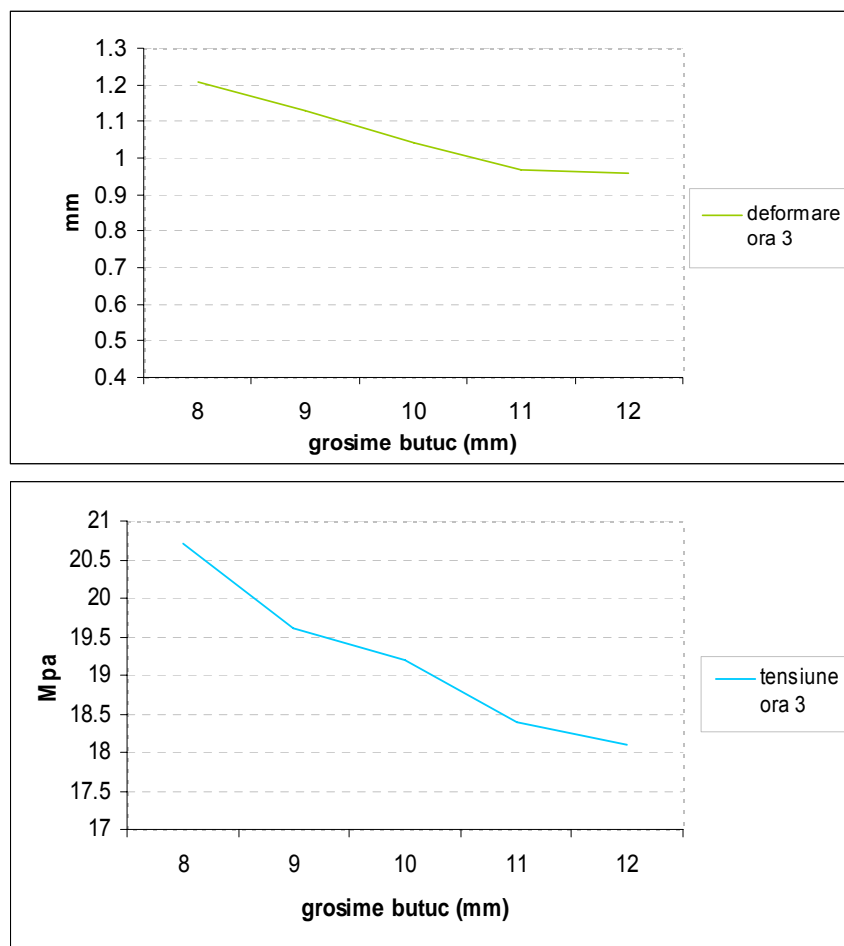


Figura 7.8 Rezultatul simulării în funcție de grosimea butucului

Grosimea butucului are o influență majoră asupra tensiunii în spiță.

Al șaselea parametru luat în considerare este grosimea jenții. Grosimea scheletului se ia 8 mm iar forța aplicată 100 N.

Grosimea jenții (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
8	Ora 3	21357	83174	1.21	20.7
8	Ora 6	21342	83083	0.80	12.4
8	Ora 12	21337	83011	7.63	73.1
9	Ora 3	23036	90968	1.15	19.0
9	Ora 6	23097	91196	0.76	11.5
9	Ora 12	23143	91413	6.29	67.8
10	Ora 3	23127	91389	1.10	17.5
10	Ora 6	23147	91552	0.74	11.1
10	Ora 12	23174	91626	5.09	57.3
11	Ora 3	23134	91651	1.05	17.6
11	Ora 6	23172	91905	0.71	11.2
11	Ora 12	23156	91771	4.21	48.6
12	Ora 3	25189	101204	1.01	16.1
12	Ora 6	25193	101207	0.69	11.9
12	Ora 12	25248	101435	3.65	39.3

Tabelul 7.6 Rezultatul simulării în funcție de grosimea jenții

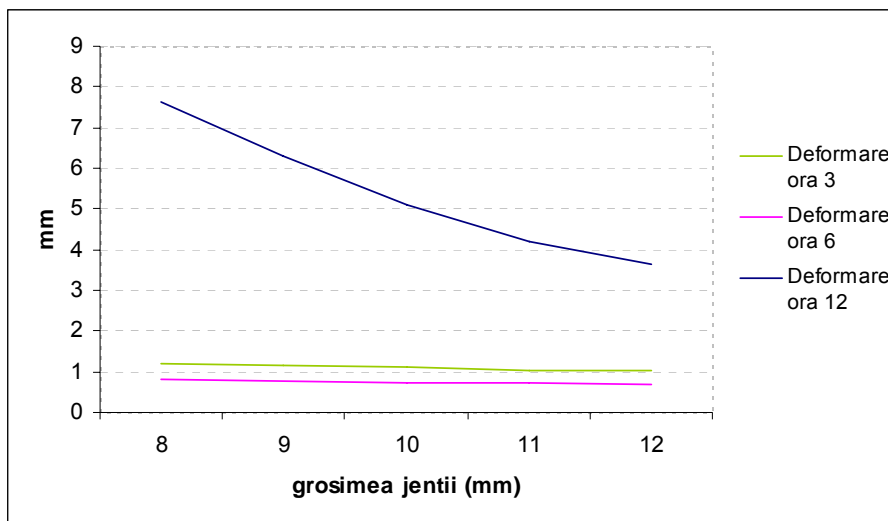


Figura 7.9a Rezultatul simulării în funcție de grosimea jenții

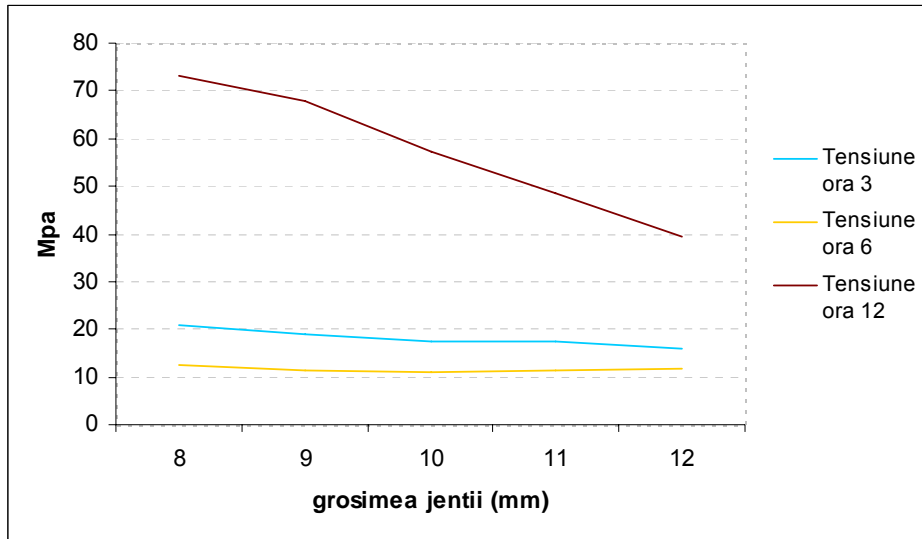


Figura 7.9b Rezultatul simulării în funcție de grosimea jentii

Grosimea jentii are o influență majoră asupra rezultatelor încercărilor în poziția ora 12.

Al șaptelea parametru luat în considerare este lățimea jentii. Grosimea scheletului se ia 8mm iar forța aplicată 100 N.

Lățimea jentii (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
10	Ora 3	21357	83174	1.21	20.7
10	Ora 6	21342	83083	0.80	12.4
10	Ora 12	21337	83011	7.63	73.1
11	Ora 3	23036	90968	0.99	17.7
11	Ora 6	23097	91196	0.68	13.1
11	Ora 12	23143	91413	3.95	41.5
12	Ora 3	23127	91389	0.95	16.3
12	Ora 6	23147	91552	0.65	11.5
12	Ora 12	23174	91626	3.75	37.9

Tabelul 7.7 Rezultatul simulării în funcție de lățimea jentii

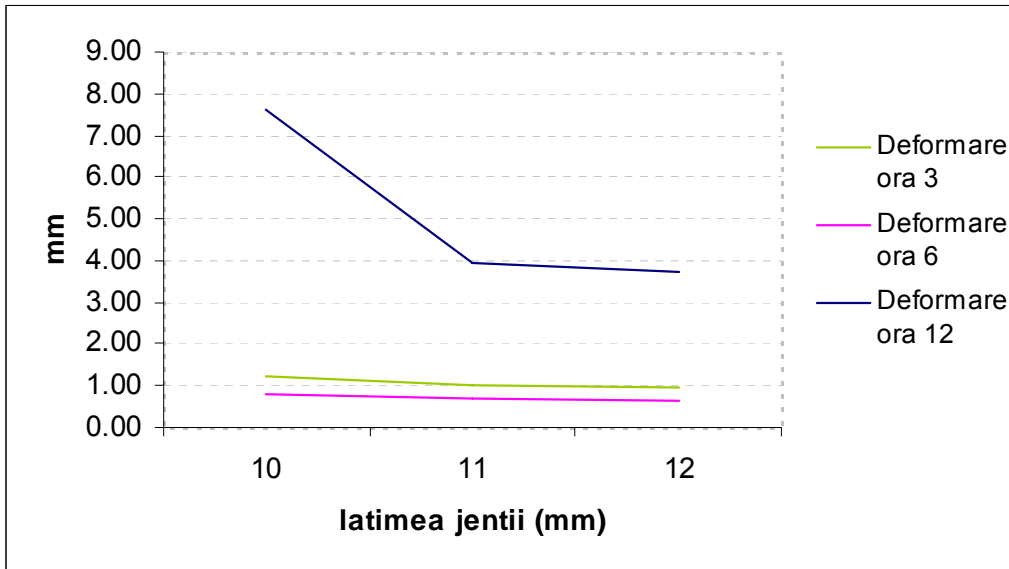


Figura 7.10 Rezultatul simulării în funcție de lățimea jentii. Deformarea maximă

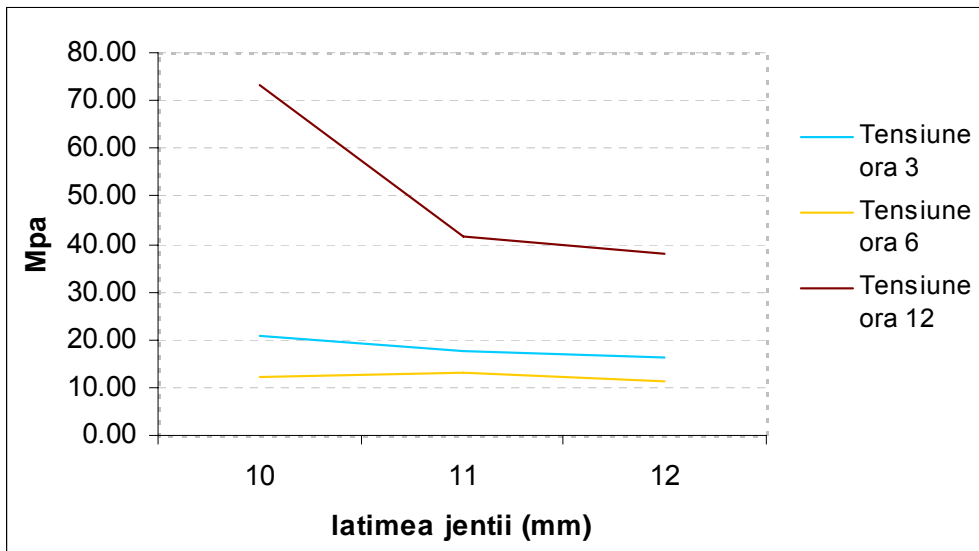


Figura 7.11 Rezultatul simulării în funcție de lățimea jentii. Tensiunea maximă

Lățimea jentii are o influență majoră asupra rezultatelor încercărilor în poziția ora 12, asemănătoare cu grosimea.

Al optulea parametru luat în considerare este lățimea spiței. Grosimea scheletului se ia 7mm iar forța aplicată 100 N. S-a pornit de la scheletul de grosime de 7 mm de la tabelul 2, la care s-au lățit toate spițele cu câte 1 mm

Creșterea lățimii (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
0	Ora 3	20840	80125	1.62	24.5
0	Ora 6	20844	80182	1.04	15.2
0	Ora 12	20865	80305	10.9	102
1	Ora 3	21838	85242	1.15	19.8
1	Ora 6	21861	85343	0.75	13.4
1	Ora 12	21780	84983	7.44	70.1
2	Ora 3	22280	87283	1.11	17.0
2	Ora 6	22292	87341	0.72	12.8
2	Ora 12	22244	87177	7.21	75.0
3	Ora 3	22801	89625	1.06	17.5
3	Ora 6	22727	89237	0.68	11.8
3	Ora 12	22738	89307	7.03	78.2

Tabelul 7.8 Rezultatul simulării în funcție de lățimea spiței

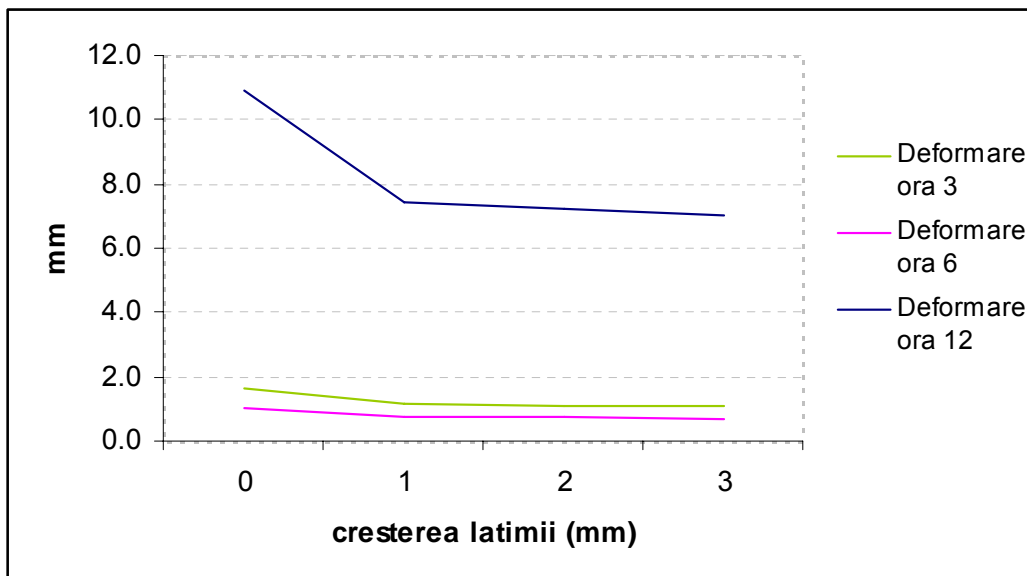


Figura 7.12a Rezultatul simulării în funcție de lățimea spiței

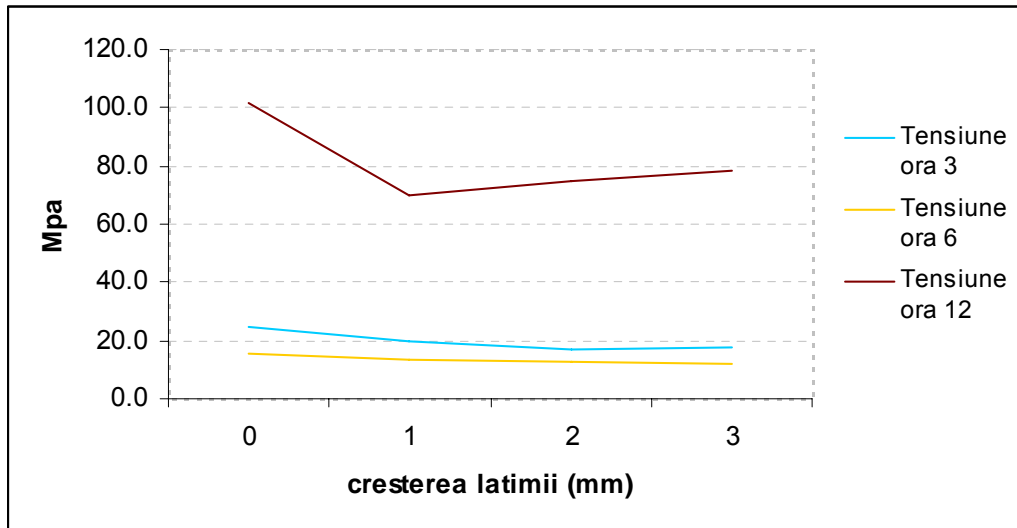


Figura 7.12b Rezultatul simulării în funcție de lățimea spiței

În general creșterea lățimii spiței îmbunătățește rigiditatea scheletului. Totuși lățimea spiței are o influență contradictorie asupra rezultatelor încercărilor din poziția de la ora 12.

Pentru al nouălea parametru se construiește un schelet ale cărui spițe și jantă să aibă forma unei cochilii de grosime constantă. Mai întâi se consideră volanul plin, apoi în zonele menționate se păstrează cochilia a cărei grosime se modifică. Forța aplicată este 500 N. Rezultatul de pe linia 6 indică trecerea de limita de curgere și simulează deteriorarea scheletului



Figura 7.13 Scheletul plin



Figura 7.14 Scheletul în formă de cochilie

Grosimea cochiliei (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
plin	Ora 3	33580	142460	3.00	49.7
plin	Ora 6	33692	142995	2.10	46.0
plin	Ora 12	33653	142789	11.5	121
4.5	Ora 3	73716	39133	5.92	128
4.5	Ora 6	77545	41439	3.60	94.1
4.5	Ora 12	80777	43210	54.2	623
5	Ora 3	31816	122373	4.32	75.0
5	Ora 6	31837	122500	2.73	60.5
5	Ora 12	31801	122324	18.4	190
5.5	Ora 3	32349	125614	4.04	67.8
5.5	Ora 6	32362	125659	2.59	55.6
5.5	Ora 12	32358	125702	16.8	174

Tabelul 7.9 Rezultatul simulării în funcție de grosimea cochiliei

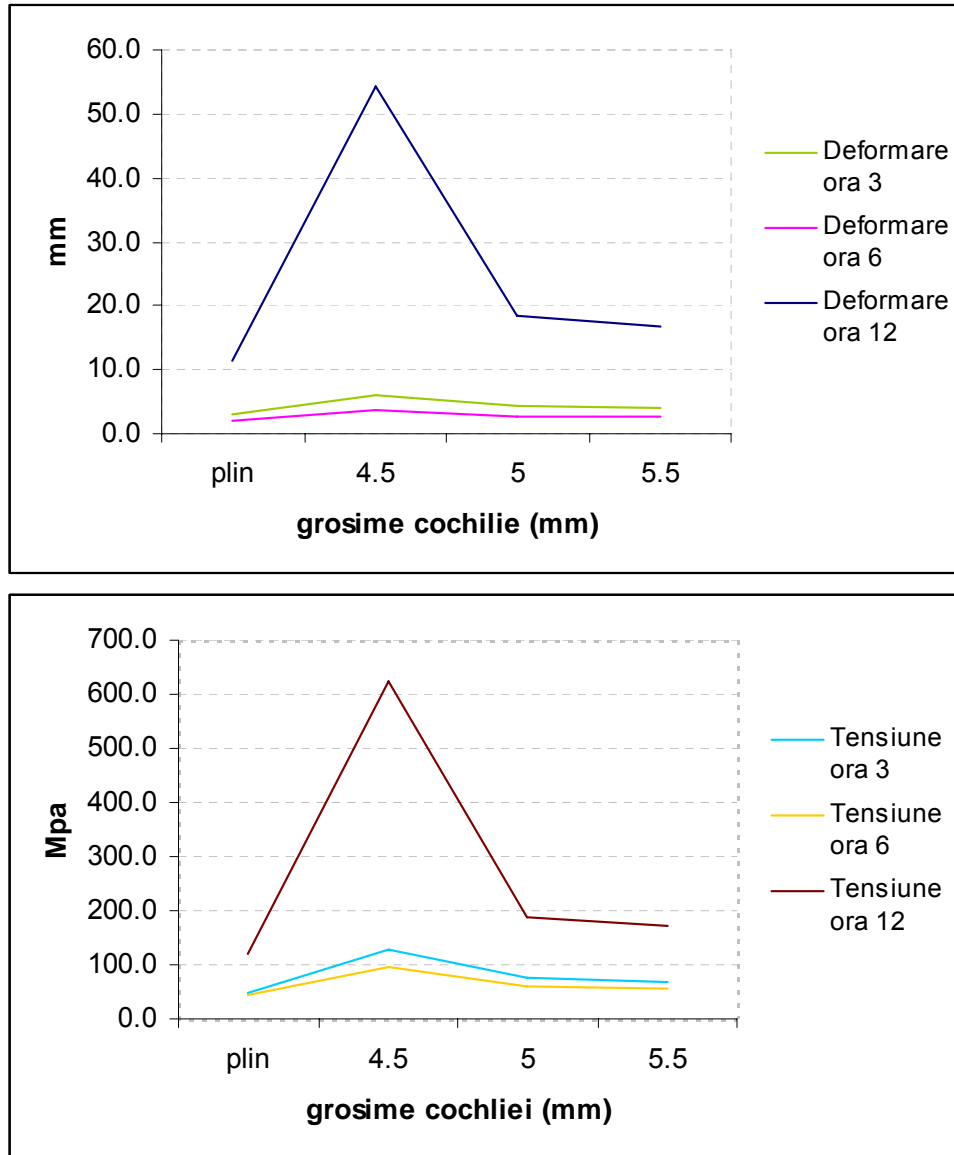


Figura 7.15 Rezultatul simulării în funcție de grosimea cochiliei

Construind scheletul sub forma unei cochilii, de la o anumită valoare a grosimii cochiliei rezultatele la încercări se apropie de cele ale scheletului plin. Această valoare e în jur de 5 mm.

În continuare vom studia efectul diferitelor elemente de design. Se va lua ca referință scheletul cu grosimea cochiliei de 5 mm, pe care se vor aplica razele tehnologice, apoi două variante de nervuri de întărire. Forța aplicată este 500 N.

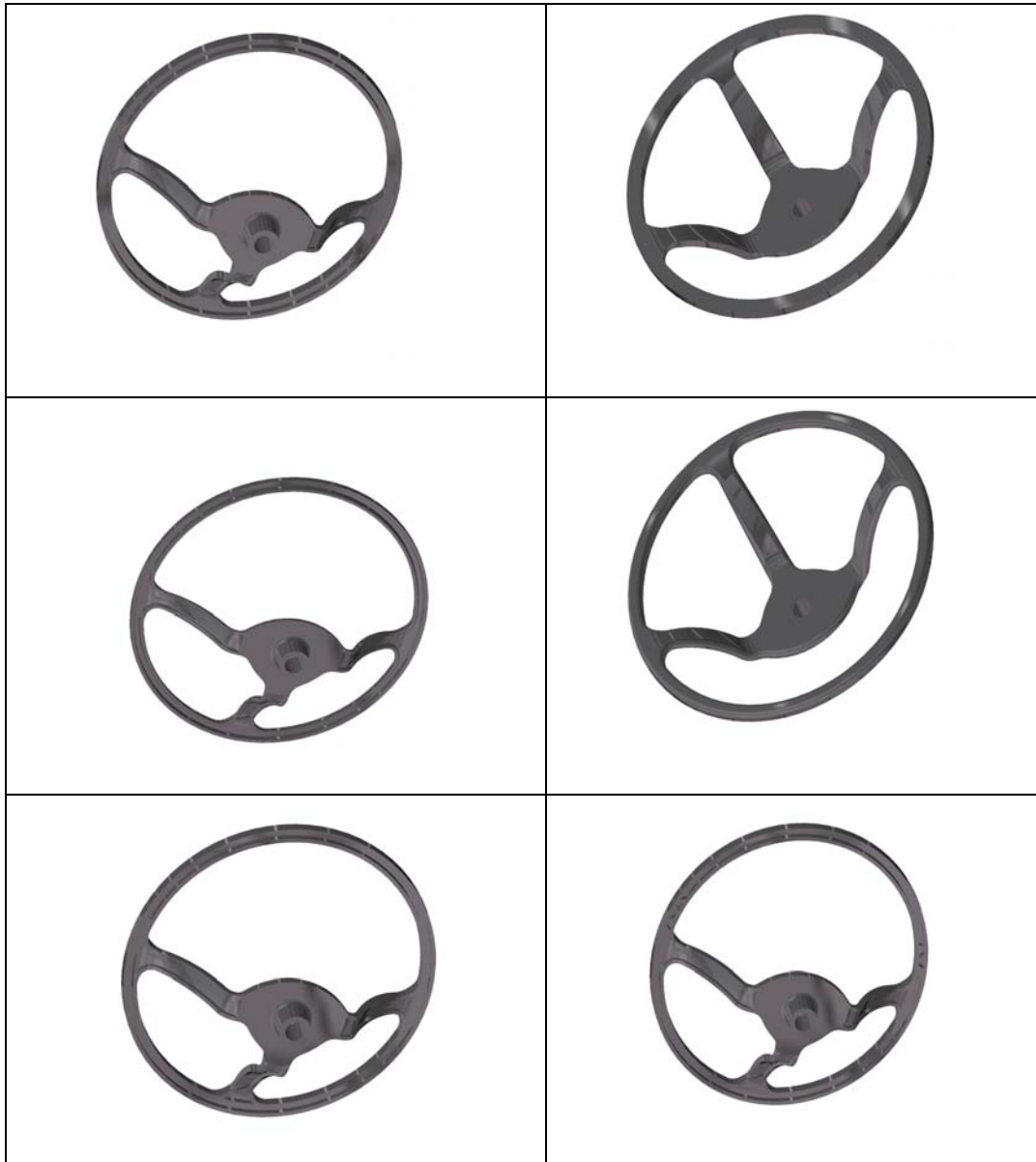


Figura 7.16 Adaugarea de raze și nervuri

varianta	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
referință	Ora 3	31816	122373	4.32	75.0
referință	Ora 6	31837	122500	2.73	60.5
referință	Ora 12	31801	122324	18.4	190
raze	Ora 3	32425	123631	5.00	88.4
raze	Ora 6	32458	123740	3.16	63.5
raze	Ora 12	31623	118984	21.9	202
nervură 1	Ora 3	32277	124535	4.22	73.6
nervură 1	Ora 6	32246	124357	2.67	60.4
nervură 1	Ora 12	32236	124279	16.6	187
nervuri 2	Ora 3	32147	123863	4.25	68.9
nervuri 2	Ora 6	32086	123614	2.72	58.3
nervuri 2	Ora 12	32009	123236	17.6	196

Tabelul 7.10 Rezultatul simulării cu diferite elemente de design și nervuri

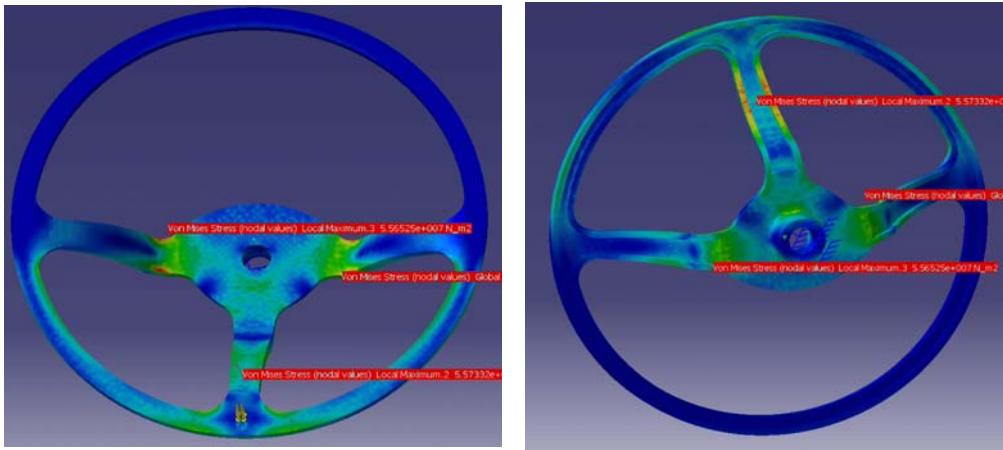


Figura 7.17 Modelul de referință

Razele mari au efect negativ asupra rezultatelor încercărilor. Nervura de întarire din prima soluție are un efect bun în general și foarte pozitiv asupra încercărilor din poziția ora 12. A doua soluție de adăugare a nervurilor nu are efecte atât de bune, dar e preferată din punct de vedere tehnologic.

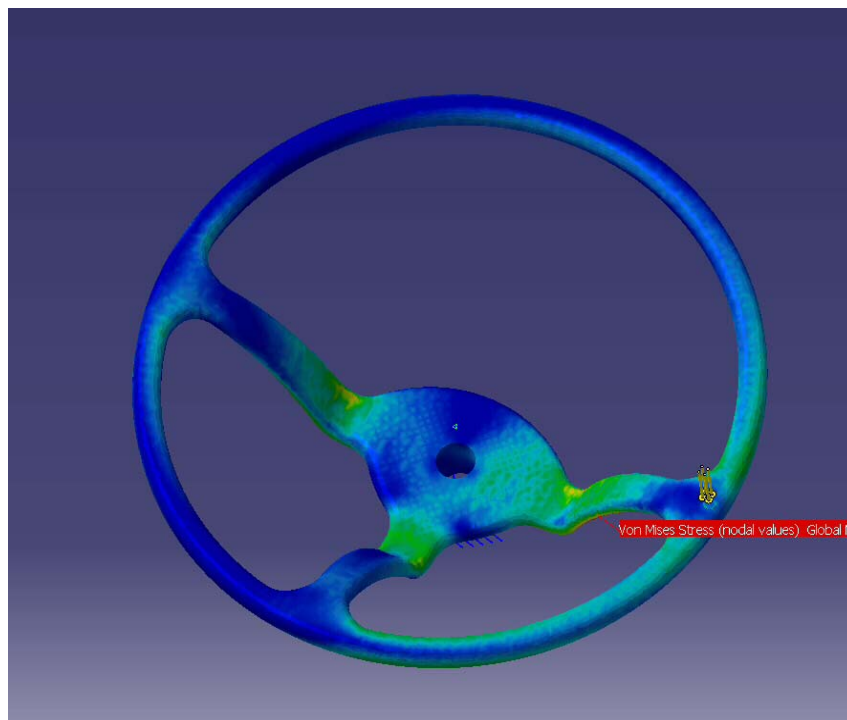
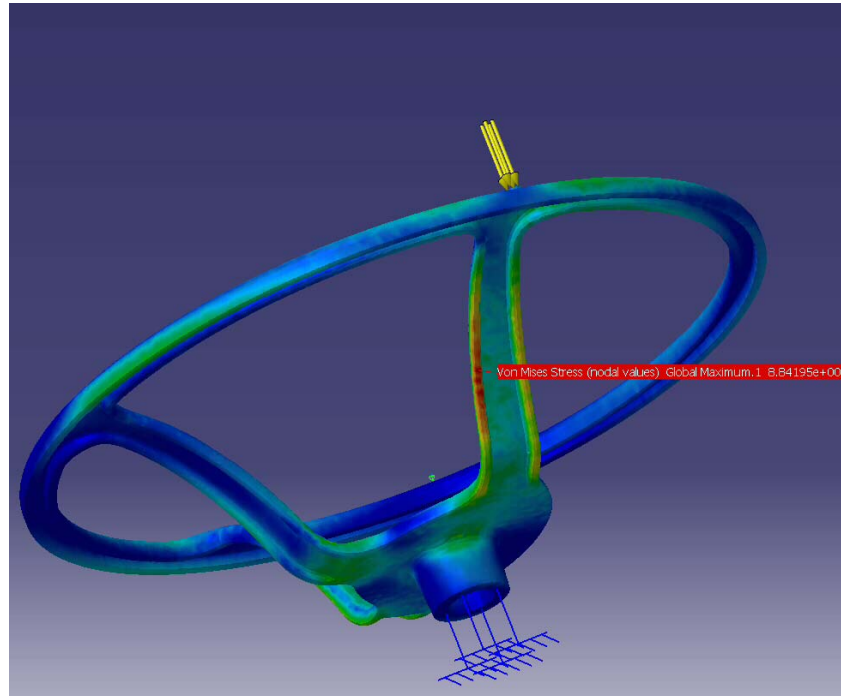


Figura 7.18 Modelul cu muchii rotunjite

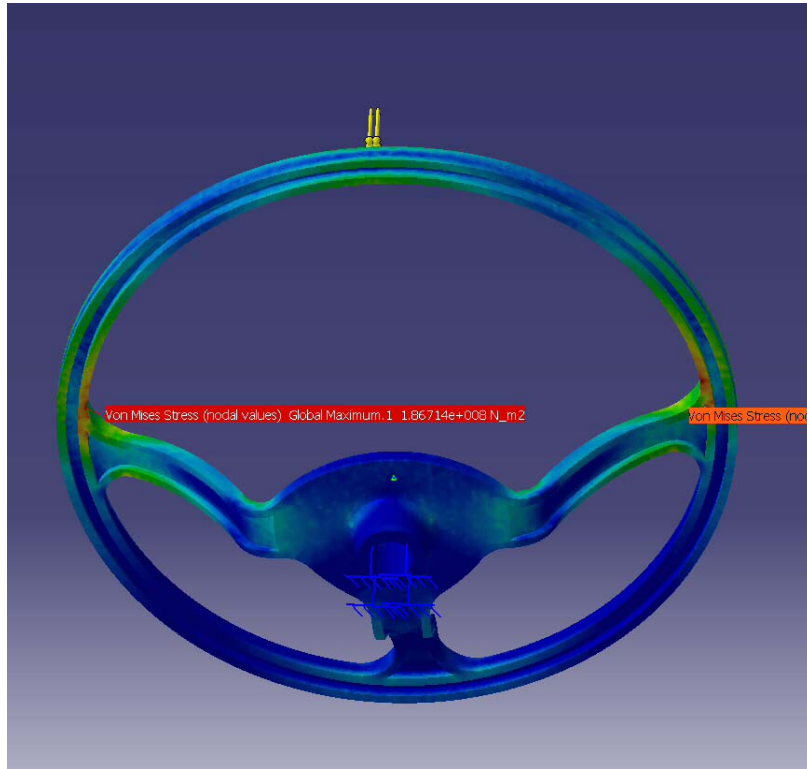


Figura 7.19 Modelul pentru prima soluție de aplicare a nervurii

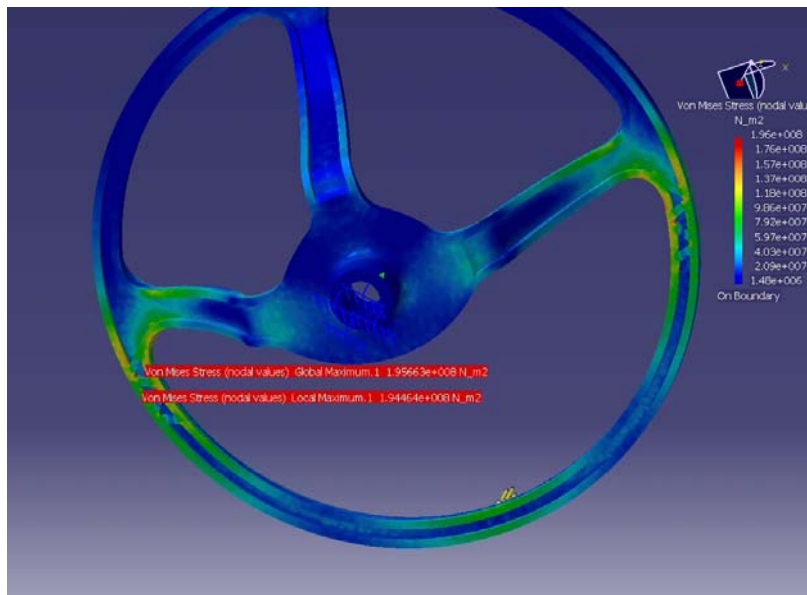


Figura 7.20 Modelul pentru a doua soluție de aplicare a nervurii

În continuare vom studia efectul elementelor de fixare. Se va lua ca referință scheletul cu grosimea cochiliei de 5mm și razele tehnologice aplicate, pe care se va adăuga un dom, respectiv se va executa o gaură în spiță. Forța aplicată este 500 N.

varianta	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
referință	Ora 3	32425	123631	5.00	88.4
referință	Ora 6	32458	123740	3.16	63.5
referință	Ora 12	31623	118984	21.9	202
dom	Ora 3	32701	124647	4.98	86.3
dom	Ora 6	32755	124766	3.16	65.4
dom	Ora 12	31941	120093	21.8	199
gaură	Ora 3	32450	123354	5.03	87.6
gaură	Ora 6	32582	123858	3.17	65.3
gaură	Ora 12	31863	119473	22.1	198

Tabelul 7.11 Rezultatul simulării cu diferite elemente de design

Găurile și domurile, dacă nu se află în zone critice pentru încercare au o influență neglijabilă asupra rezultatului.

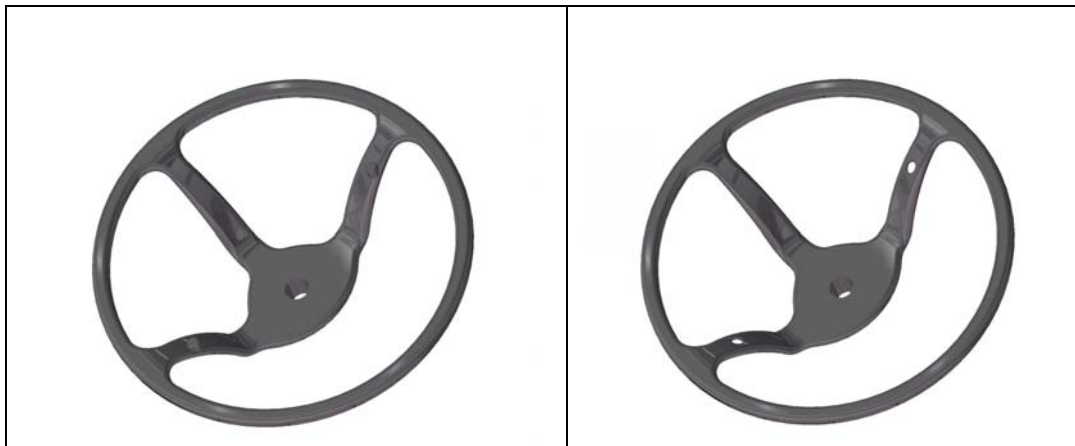


Figura 7.21 Adaugarea de elemente de fixare pe schelet

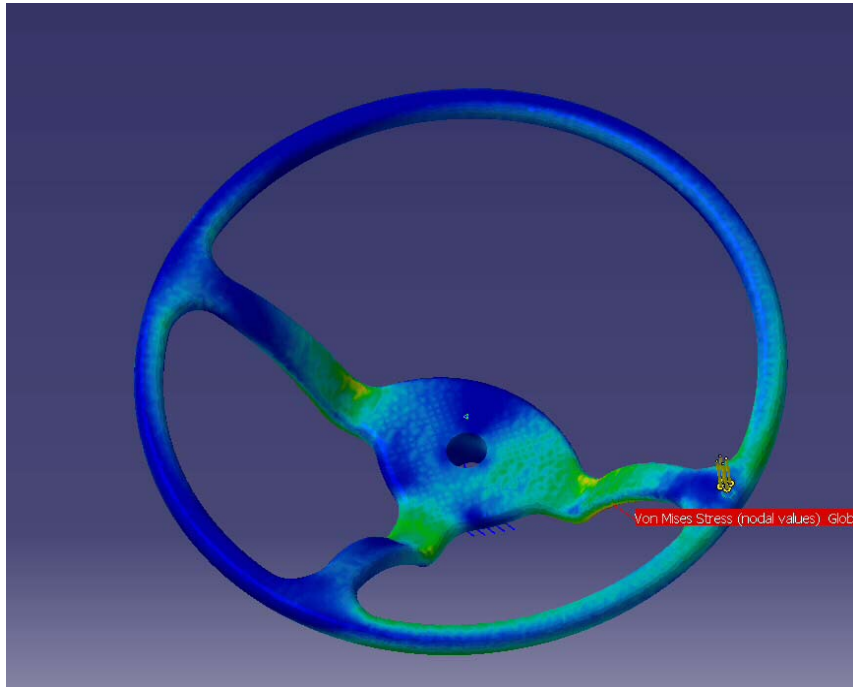


Figura 7.22 Modelul de referință

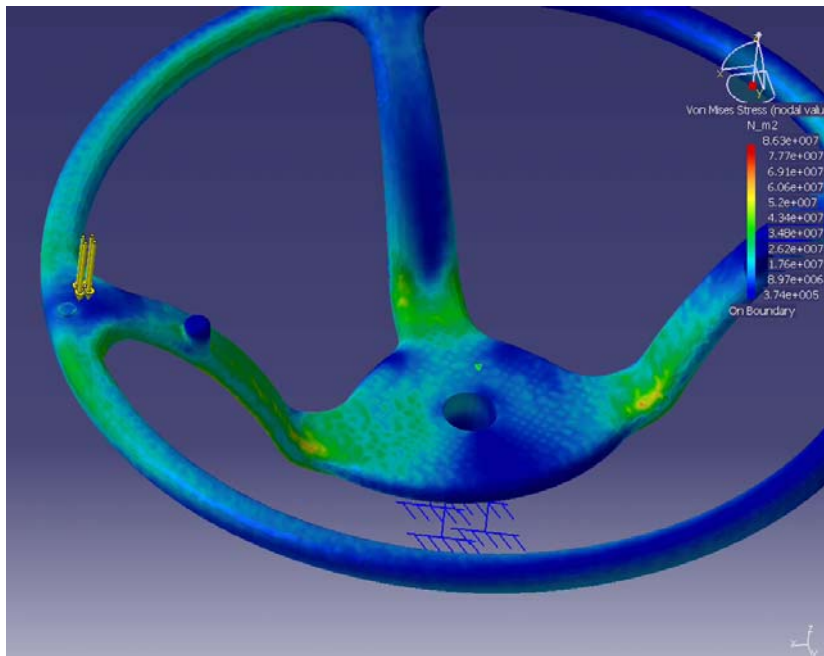


Figura 7.23 Modelul cu dom pe spiță

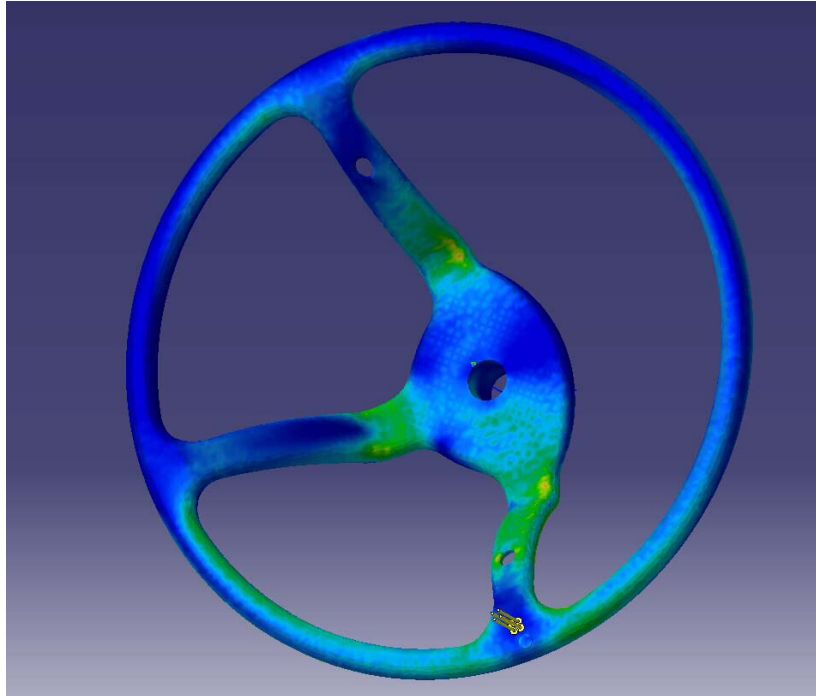


Figura 7.24 Modelul cu gaură pe spiță

Al zecelea parametru este înălțimea nervurilor pe spițe. Forța aplicată este 500 N.

Înălțimea nervurii pe spițe (mm)	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
0	Ora 3	30710	118036	5.47	91.7
0	Ora 6	30682	117831	3.35	73.5
0	Ora 12	30695	117927	20.3	177
1	Ora 3	31210	119895	5.18	83.1
1	Ora 6	31198	119803	3.19	58.1
1	Ora 12	31122	119471	19.7	173
2	Ora 3	31414	120653	4.89	84.0
2	Ora 6	31402	120657	3.04	63.9
2	Ora 12	31367	120438	19.2	186
3	Ora 3	31633	121628	4.59	69.5
3	Ora 6	31622	121541	2.87	59.2
3	Ora 12	31588	121359	18.7	172

Tabelul 7.12 Rezultatul simulării în funcție de înălțimea nervurilor

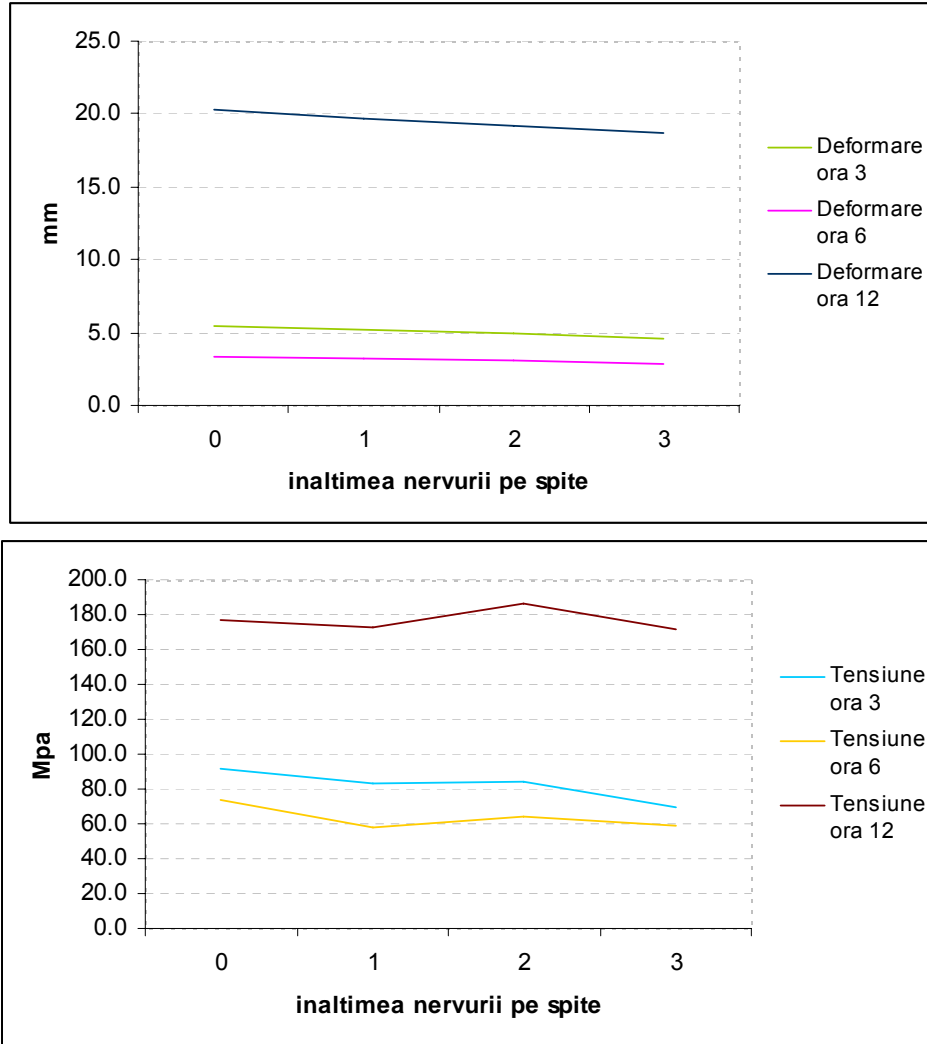


Figura 7.25 Rezultatul simulării în funcție de înălțimea nervurilor

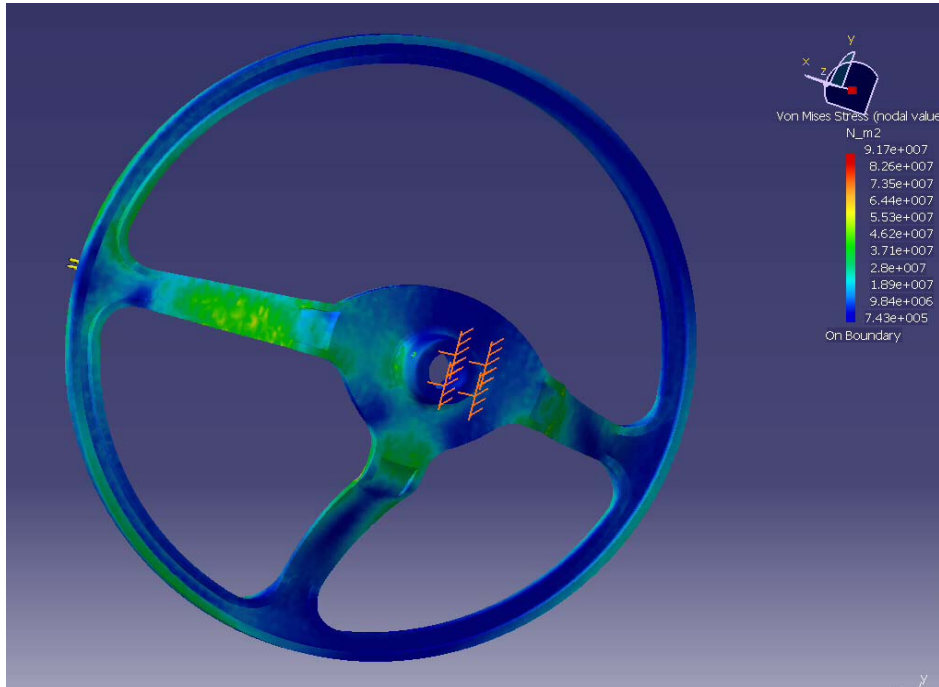


Figura 7.26 Scheletul fara nervuri pe spițe

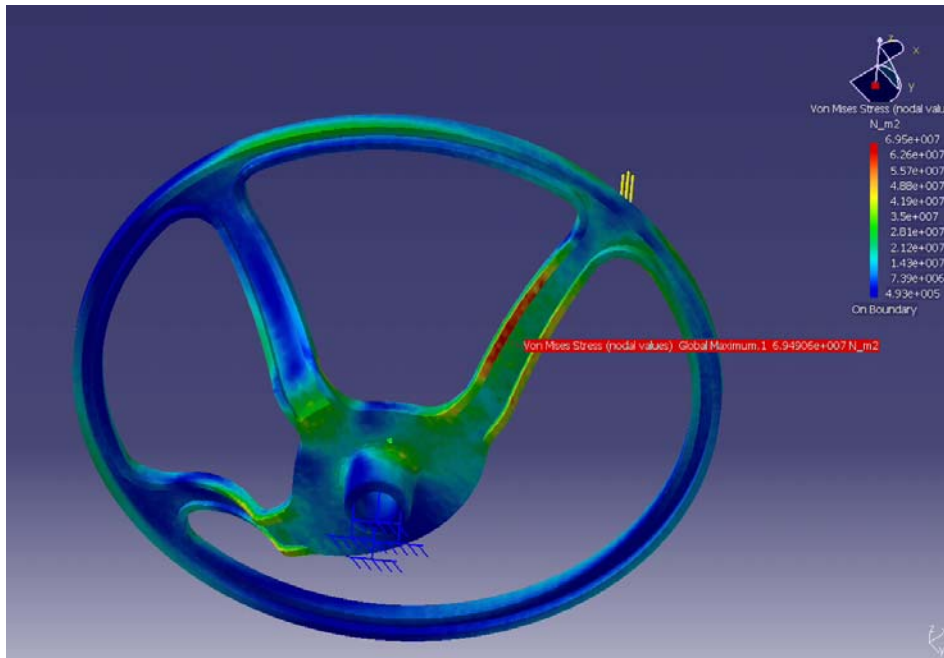


Figura 7.27 Scheletul cu nervuri pe spițe

Înălțarea nervurilor duce la scăderea deformației scheletului, dar pentru tensiune rezultatele sunt mai puțin concludente. În nervurile înalte se pot dezvolta tensiuni mai mari decât în nervurile mai joase.

Ultimul factor luat în considerare este profilul jenții. Forța aplicată este 500 N.

varianta	Poziția încărcării	Nr. noduri	Nr. elemente	Deformare maxima (mm)	Tensiune maxima (MPa)
referință	Ora 3	32277	124535	4.22	73.6
referință	Ora 6	32246	124357	2.67	60.4
referință	Ora 12	32236	124279	16.6	187
plin	Ora 3	32837	136173	3.80	64.2
plin	Ora 6	16613	62491	2.31	50.5
plin	Ora 12	32783	135788	13.3	143
invers	Ora 3	33393	131176	4.05	74.5
invers	Ora 6	33452	131444	1.97	57.8
invers	Ora 12	33409	131232	17.0	181
cruce (T)	Ora 3	30449	120658	4.31	74.0
cruce (T)	Ora 6	30571	121227	2.79	66.3
cruce (T)	Ora 12	30581	121317	13.4	155

Tabelul 7.13 Rezultatul simulării cu diverse profiluri ale jenții.



Figura 7.28 Forme ale profilului jenții

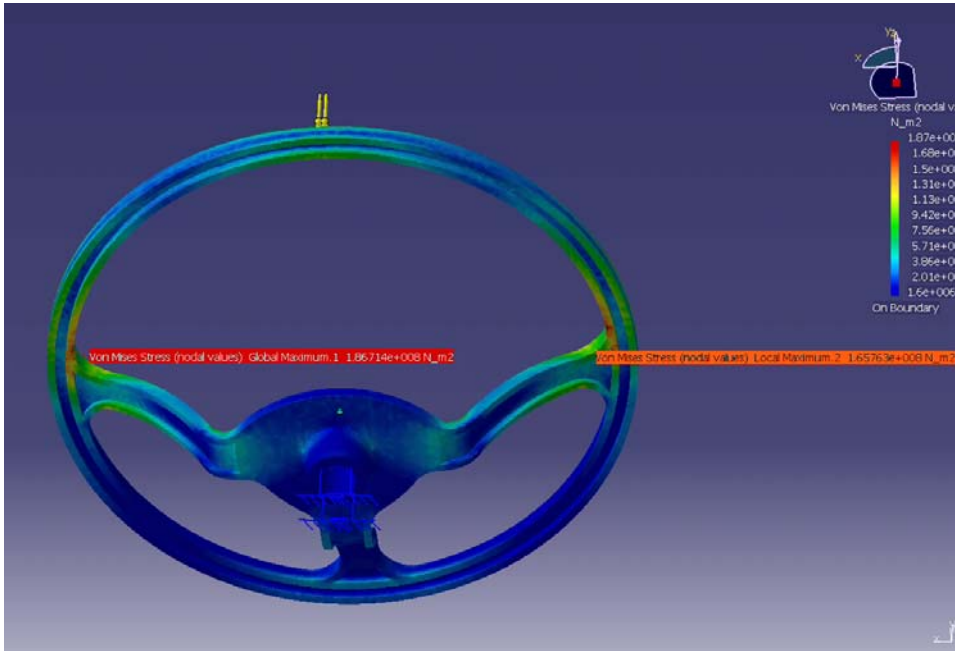


Figura 7.29 Profilul U al jenții

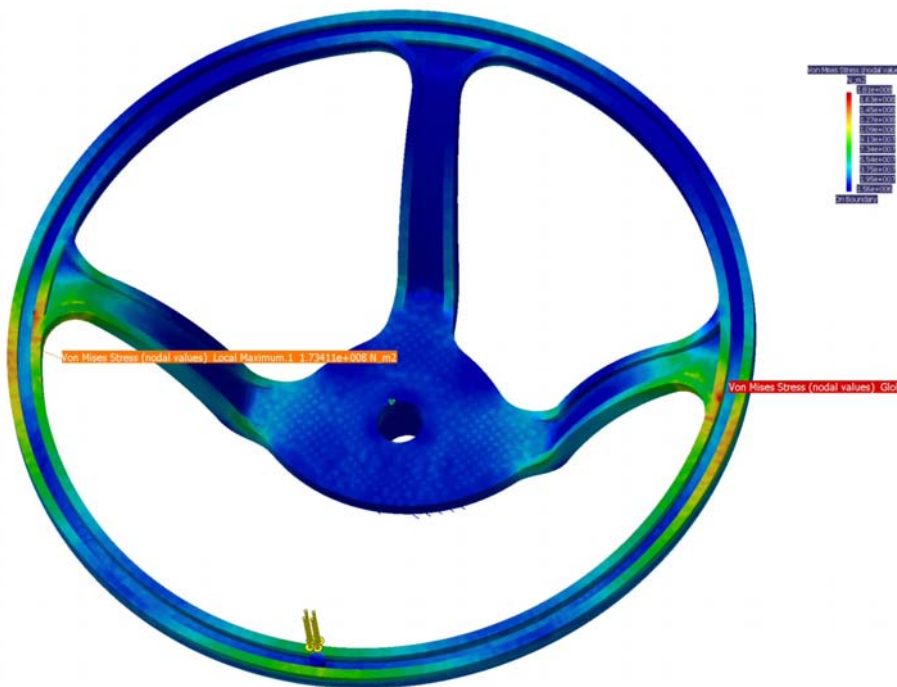


Figura 7.30 Profilul U invers al jenții

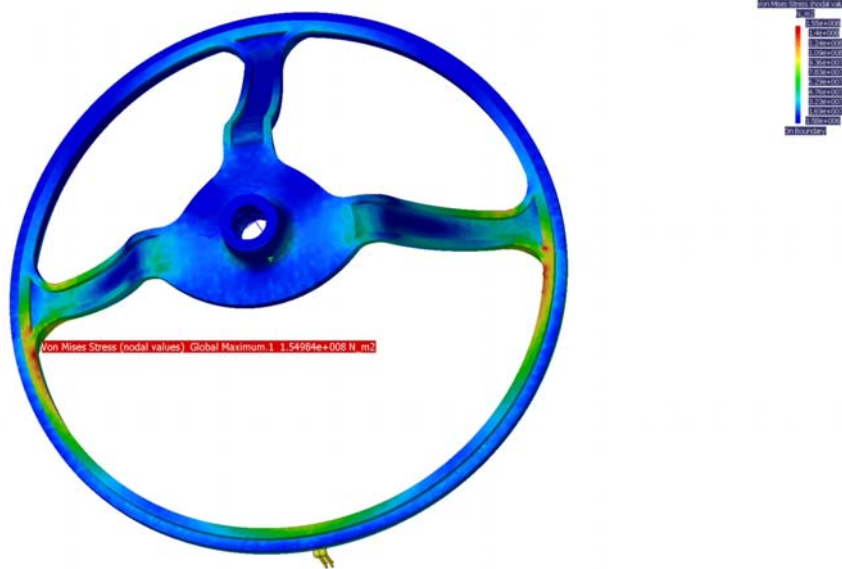


Figura 7.31 Profilul T al jenții

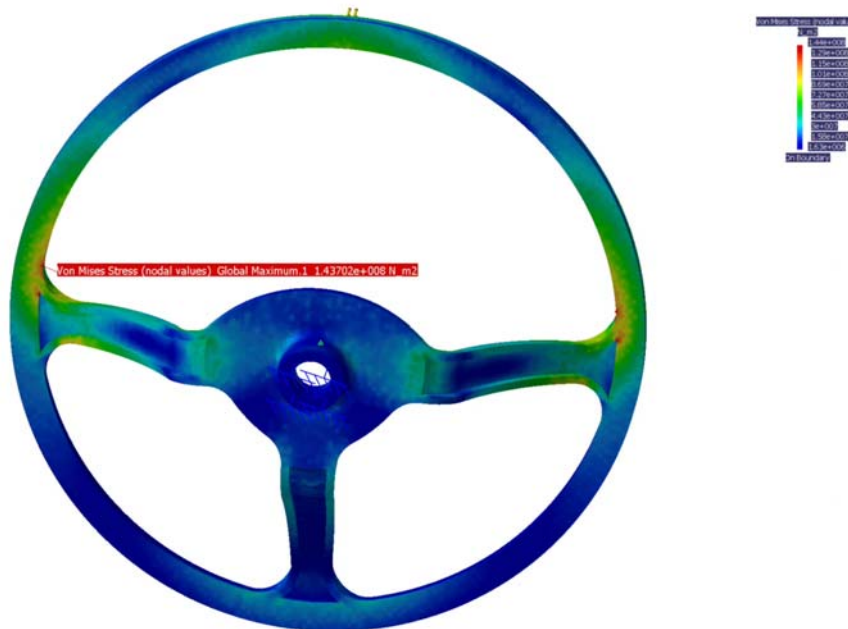


Figura 7.32 Profilul plin al jenții

Cel mai utilizat profil pentru jantă este profilul U cu ramurile în jos, care asigură o bună rezistență și rigiditate. Totuși, acesta ocupă mult spațiu spre suprafața exterioară a jenții, unde ar putea interfera cu numeroase elemente de design. Întoarcerea profilului cu ramurile în sus nu aduce nici o îmbunătățire. Cel mai rigid profil este secțiunea plină, care însă are masa maximă și prezintă dezavantaje tehnologice la turnare. Un profil în cruce eliberează mai mult spațiu pentru elementele de design, menținând rezistența la valori ridicate, chiar cu rezultatul unei creșteri de 20% a performanțelor la încercarea în poziția ora 12, față de profilul în U.

În concluzie, un schelet de volan cu trei spițe, cu butucul mai gros decât spițele și cu profilul U al jenții răspunde bine la solicitările statice, cu condiția dispunerii judicioase a unor nervuri de întărire. Alte profile ale jenții ar putea obține la teste caracteristici mecanice similare sau chiar superioare, însă ridică probleme tehnologice.

7.2 Tratarea încercărilor la impact ca solicitări la șoc. Influența airbagului

În general se obișnuiește ca piesele supuse la solicitări variabile să fie dimensionate ca și când ar fi solicitate static, printr-un calcul preliminar aproximativ, urmând a se face apoi calculul propriu-zis la oboseală, care constă în a verifica mărimea coeficientului de siguranță. Aliajele de magneziu AM50 și AM60 au o rezistență bună la oboseală iar cerințele testelor la oboseală la care e supus volanul nu sunt deosebite, având în vedere că nici sarcinile în exploatare nu sunt mari. De aceea, scheletul de volan se supune testelor de oboseală fără a mai efectua simularea testului pe calculator.

Simularea testului de impact este laborioasă și costisitoare, datorită prețului programelor de analiză dinamică și utilizării discretizării în elemente hexaedrale care nu poate fi făcută automat. După cum s-a arătat la capitolul 4 corelarea dintre rezultatele simulării dinamice și datele experimentale mai poate fi îmbunătățită.

Având în vedere că în prezent numeroase programe de proiectare conțin un modul de simulare statică ieftin, suficient de precis, rapid și ușor de folosit, incluzând discretizarea automată a modelului în elemente tetradrale, apare posibilitatea de a estima comportamentul scheletului la șoc încă din faze inițiale ale proiectării și de a face optimizări cât mai devreme în timpul ciclului de dezvoltare a produsului.

Procedeul general de calcul la șoc din rezistența materialelor implica utilizarea multiplicatorului de impact ψ aplicat aceleiași probleme, dar pusă în forma statică. Pentru a putea asimila solicitarea dinamică unei statice trebuie ca fenomenul local din zona de ciocnire să fie neglijabil, materialul să respecte legea lui Hooke și sarcina să crească treptat, chiar dacă o face cu viteză mare.

Aceste condiții sunt îndeplinite atâta timp cât materialul nu trece în stare plastică și dacă impactorul este rigid.

Atunci

$$Y_d = \psi Y_{st}$$

$$P_d = \psi Q_{st}$$

$$\sigma_d = \psi \sigma_{st}$$

$$\varepsilon_d = \psi \varepsilon_{st}$$

ψ se poate exprima sub forma energetică

$$\psi = 1 + (1 + W_d/W_{st})^{1/2}$$

unde W_{st} e energia deforțării statice δ și W_d e energia cinetică înainte de șoc, rescrisă

$$\psi = 1 + (1 + 2h/\delta)^{1/2} \text{ sau } \psi = 1 + (1 + v^2/g\delta)^{1/2}$$

Și în plus aflăm și accelerația din

$$P_d = Qa/g$$

$$\psi Q = Qa/g$$

$$\text{deci } a = \psi g$$

Din analiza a numeroase încercări la rigiditatea scheletului se observă că o bună parte a graficului forță – deplasare este aproape de funcția liniară. În schimb, apar factori care influențează încercarea la impact: elasticitatea manechinului și prezența airbagului. Atât manechinul, cât mai ales airbagul absorb o bună parte din energia de impact și astfel sarcinile și accelerațiile măsurate în schelet sunt mult atenuate.

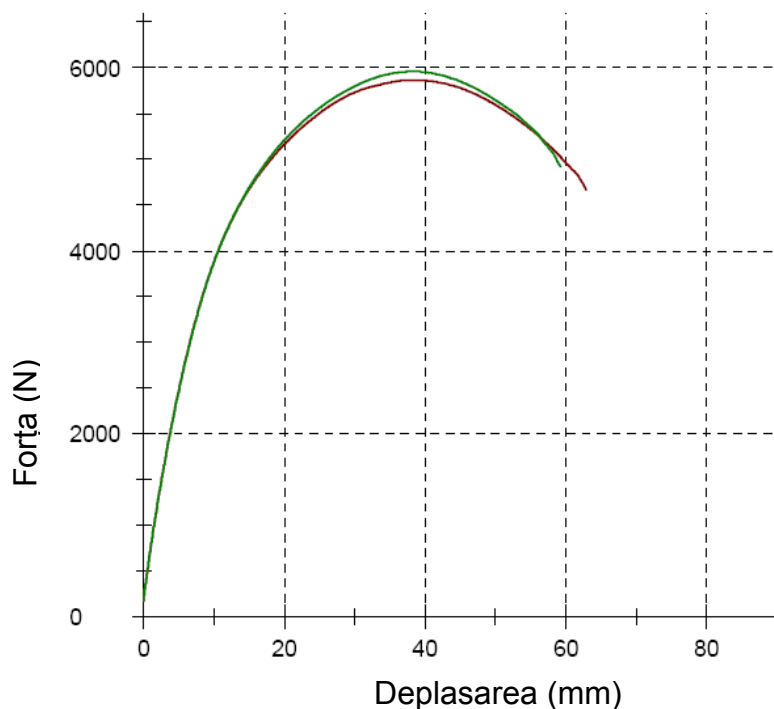


Figura 7.33 Rezultatul încercării la rigiditate axială a unui schelet

Pentru a verifica atenuarea forțelor și accelerațiilor de către manechin și airbag s-au luat 2 volane ale căror curbe de încercare se cunosc.

Primul schelet aparține modelului Saab 9-3, iar al doilea schelet aparține modelului Saab 9-5.

Modelul Saab 9-3

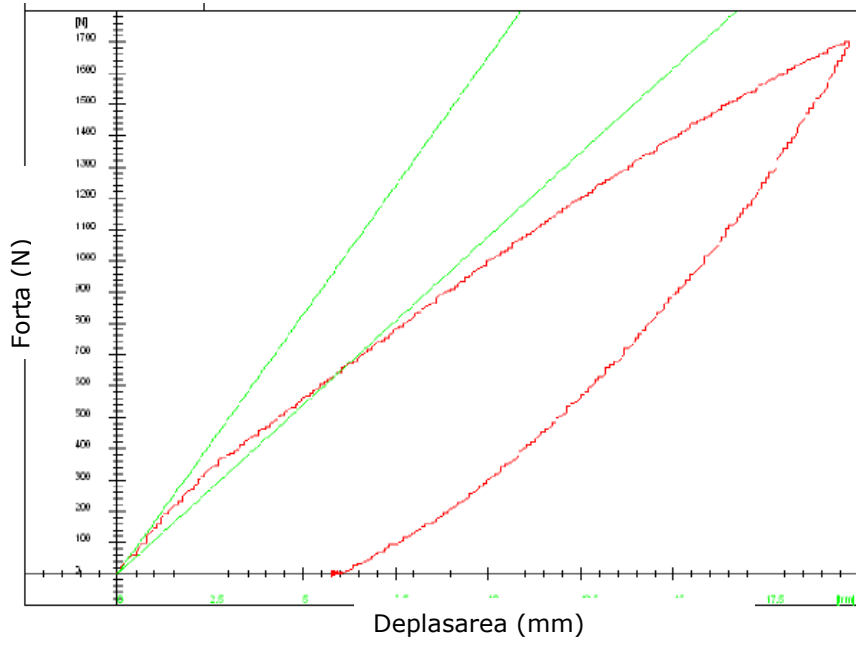


Figura 7.34 încercarea statică în poziția 1 (ora 6)

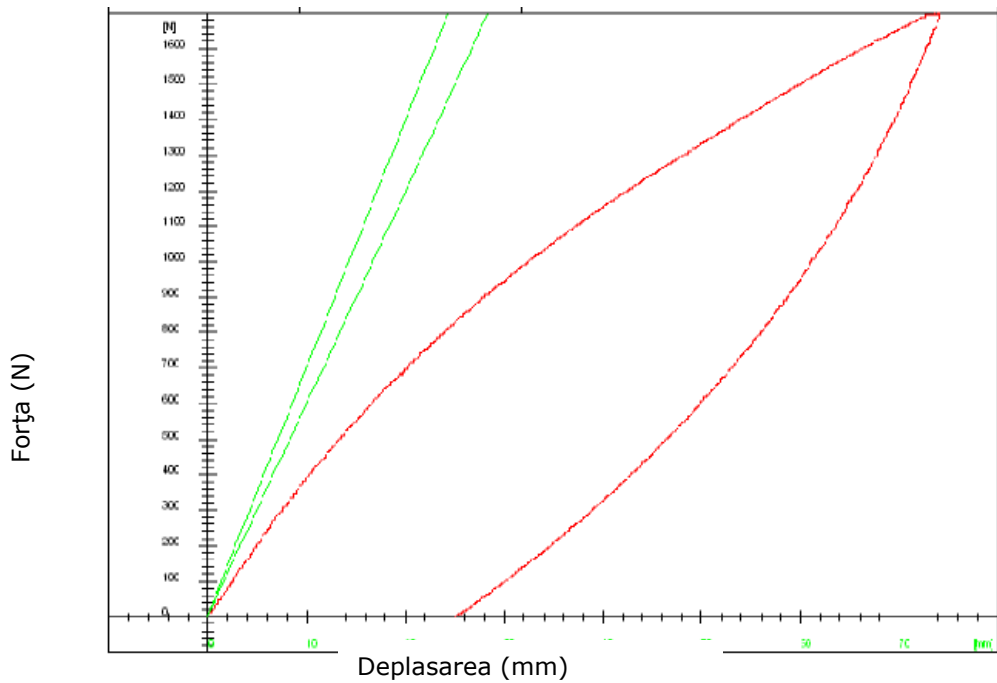


Figura 7.35 încercarea statică în poziția 2 (ora 12)

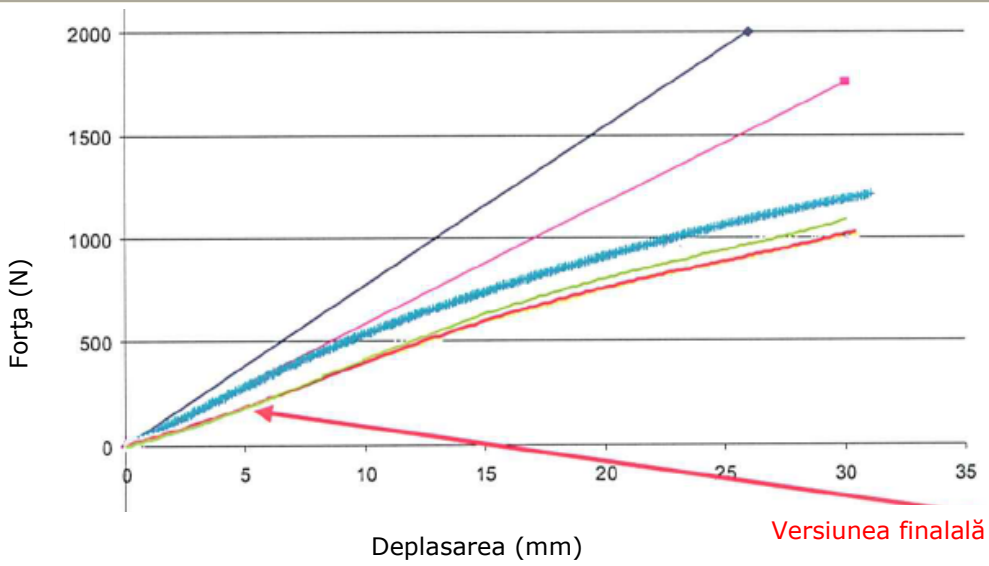


Figura 7.36 Simularea statică în poziția 2 (ora 12)

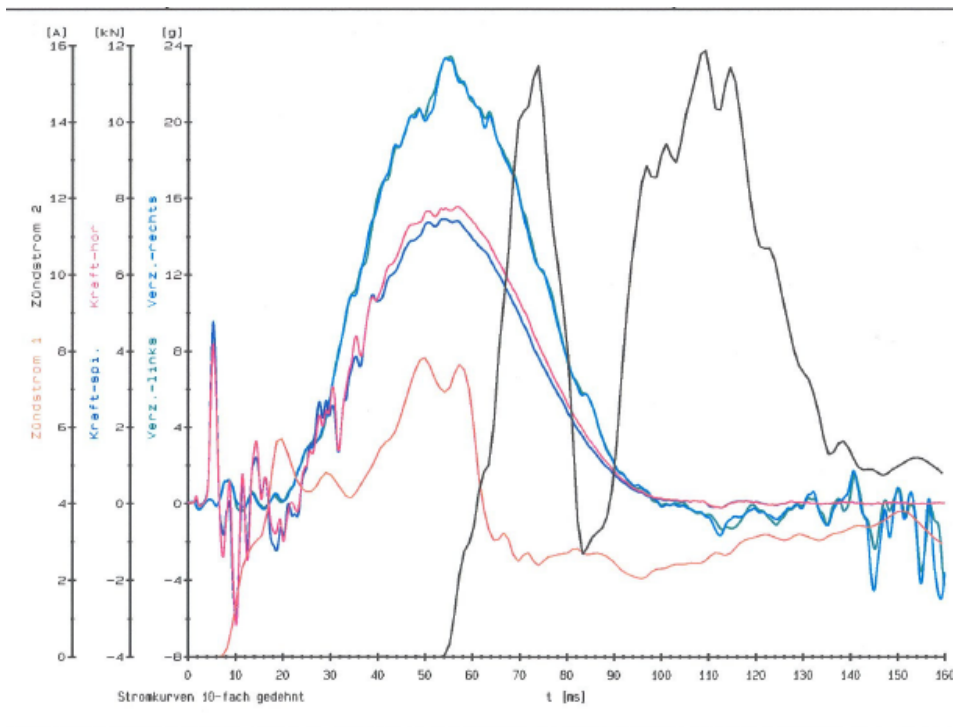


Figura 7.37 Încercarea la impact cu manechinul în poziția 1

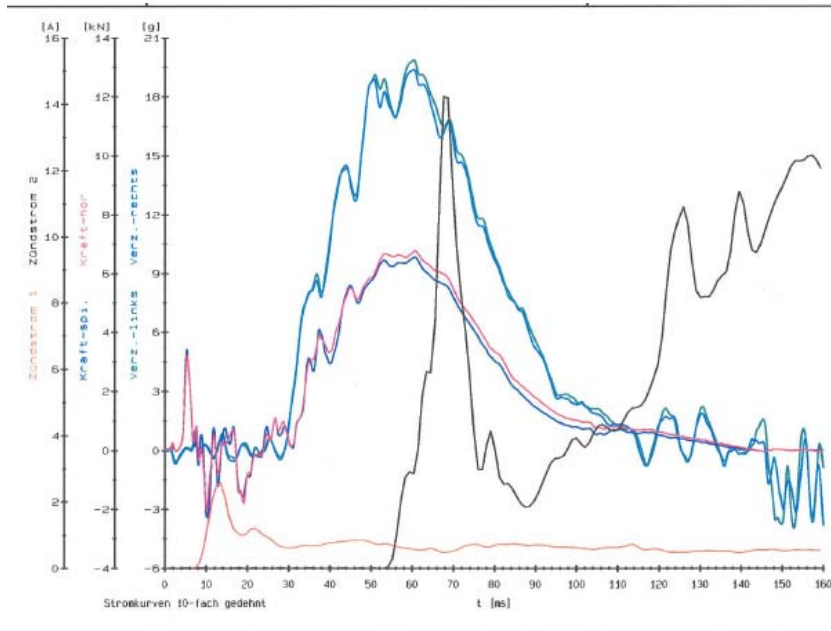


Figura 7.38 Încercarea la impact cu manechinul în poziția 2

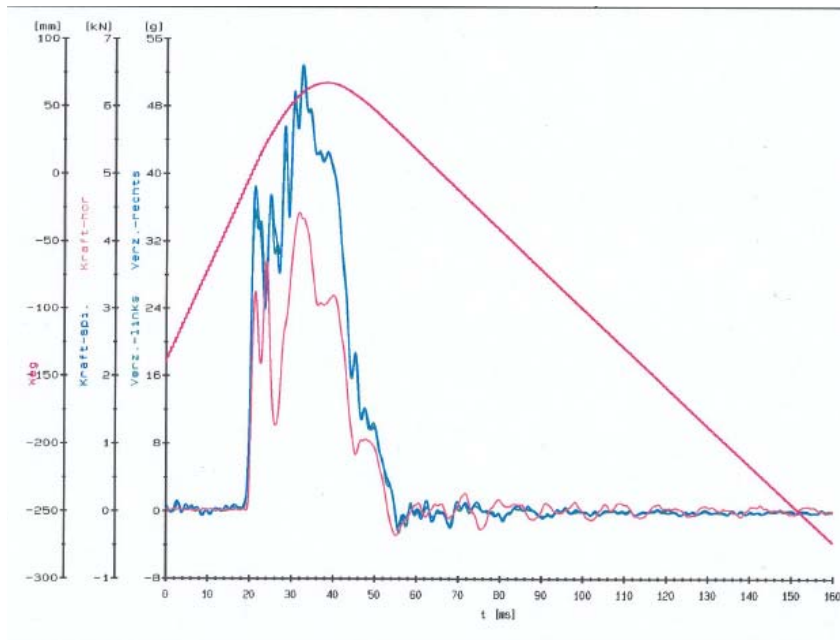


Figura 7.39 Încercarea la impact cu capul manechinului în poziția 1

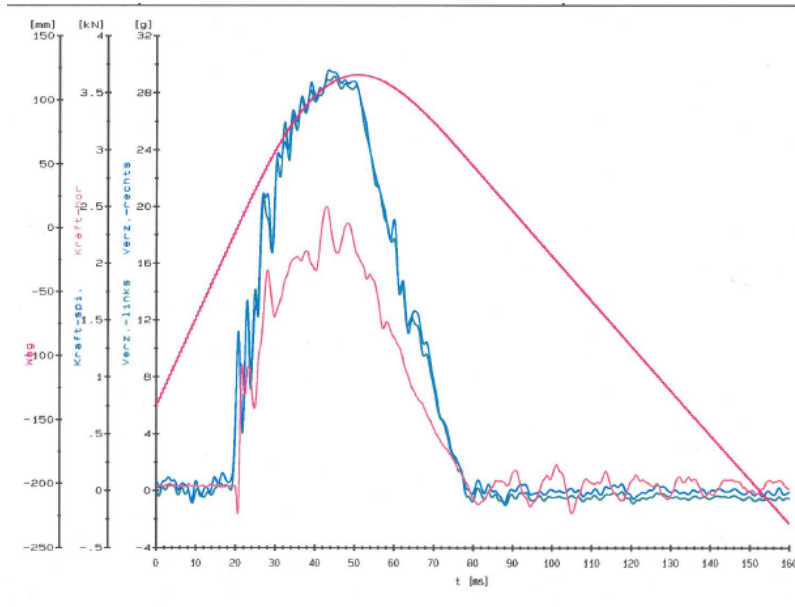


Figura 7.40 Încercarea la impact cu capul manechinului în poziția 2

Modelului Saab 9-5

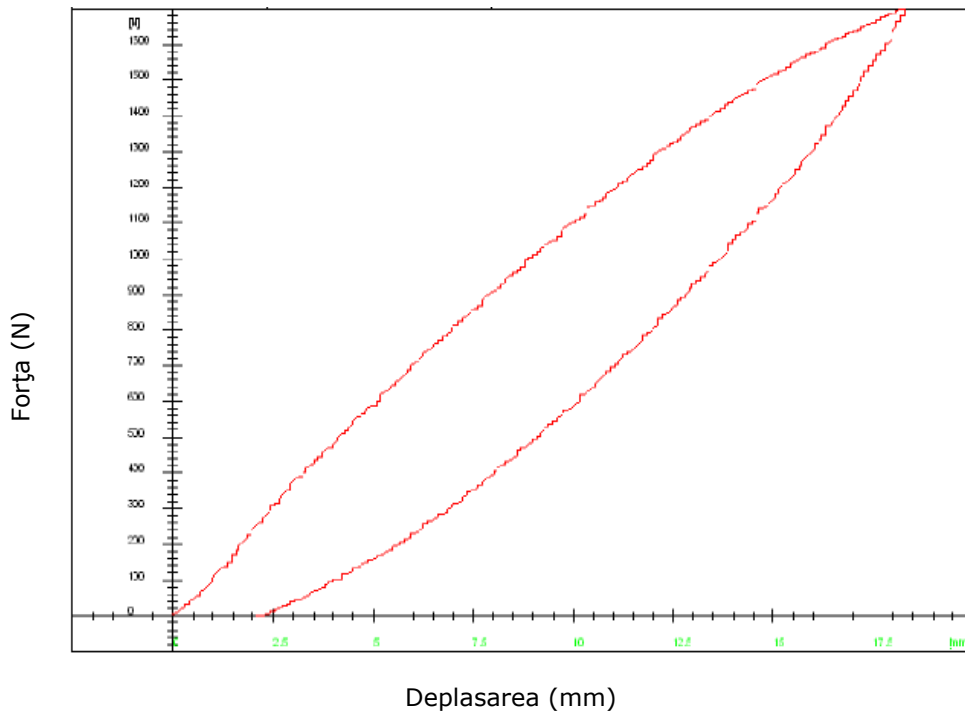


Figura 7.41 Încercarea statică în poziția 1

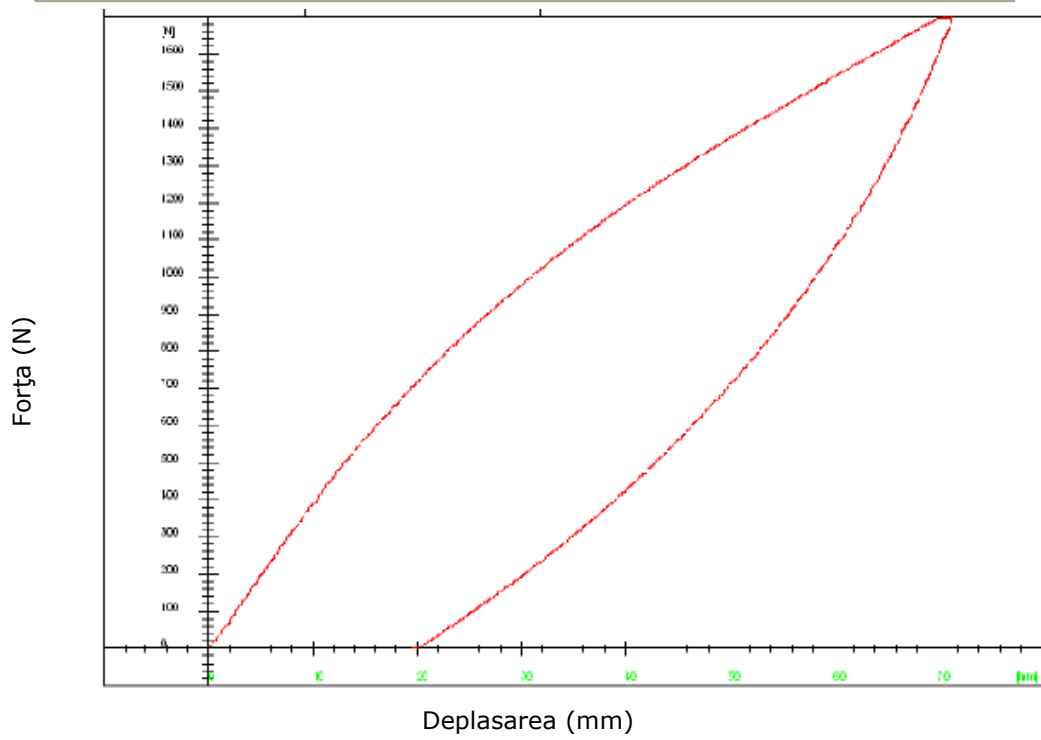


Figura 7.42 încercarea statică în poziția 2

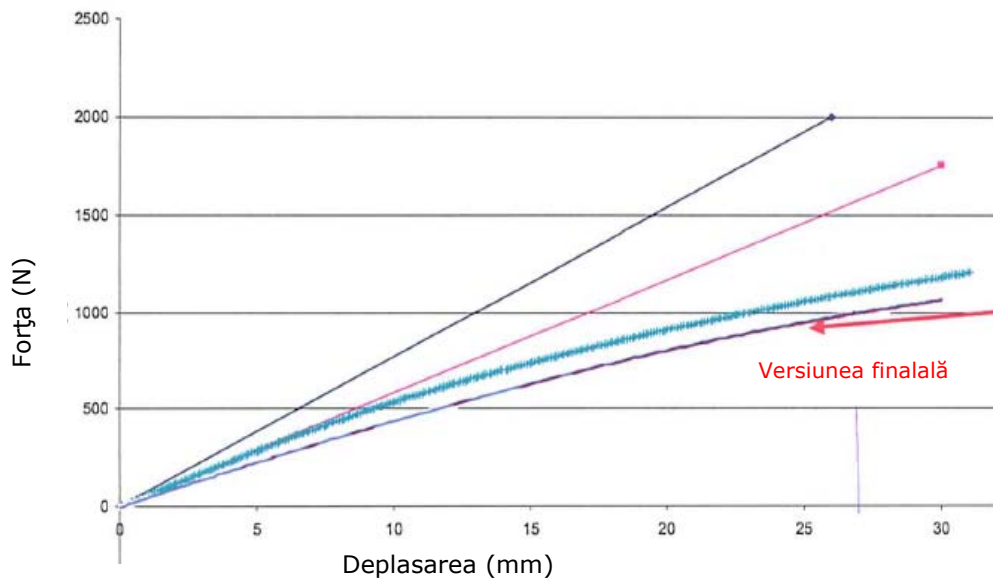


Figura 7.43 Simularea statică în poziția 2 (ora 12)

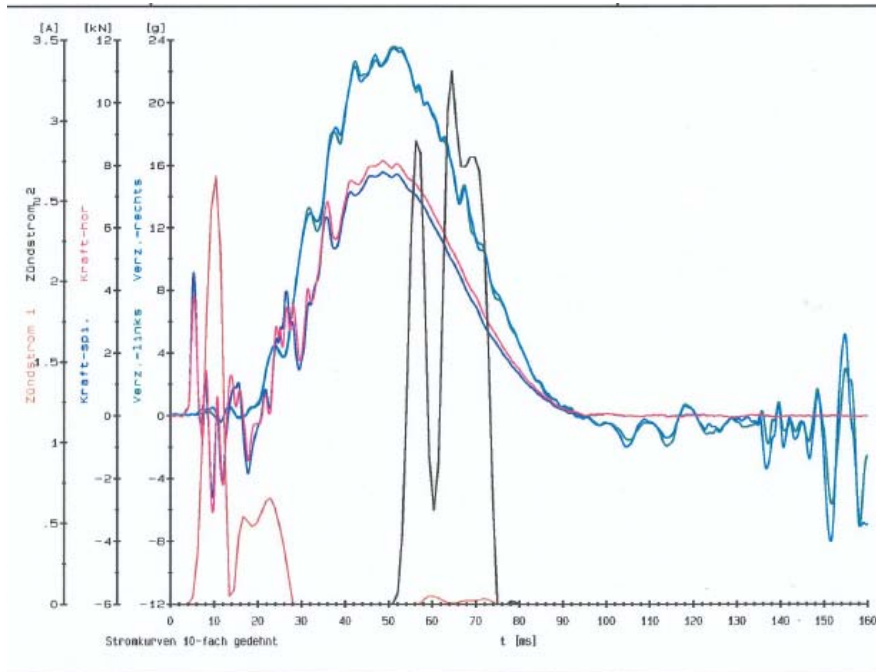


Figura 7.44 încercarea la impact cu manechinul în poziția 1

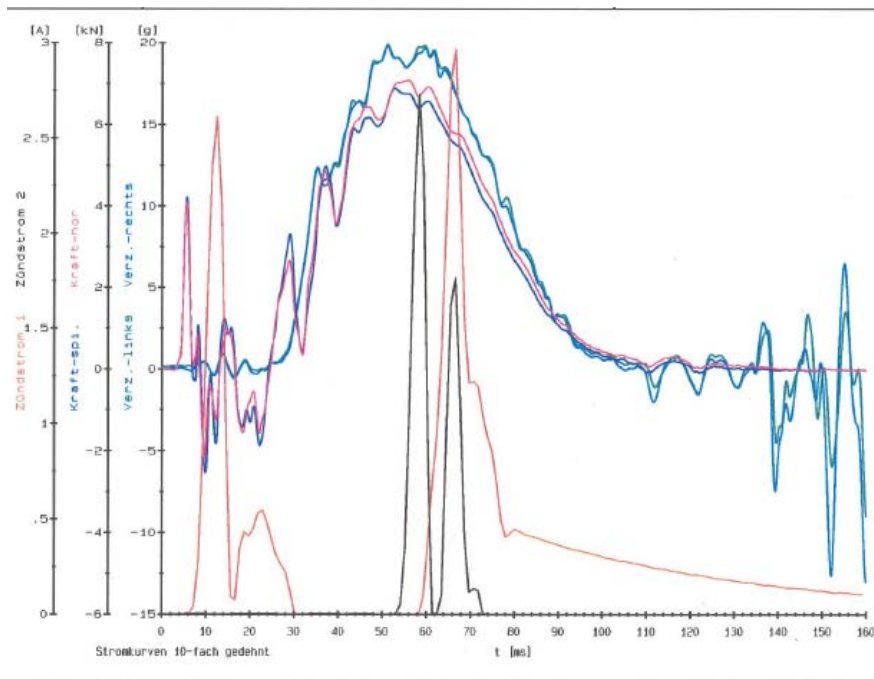


Figura 7.45 încercarea la impact cu manechinul în poziția 2

Pentru încercările de impact efectuate mai sus se cunosc masa manechinului 34.17 kg, viteza manechinului 24.12 km/h, înălțimea de lansare a masei de 6.8 kg, $h=1650\text{mm}$. Multiplicatorul de impact se calculează ca $\psi = 1 + (1 + 2h/\delta)^{1/2}$ pentru impactul cu capul manechinului și $\psi = 1 + (1 + v^2/g\delta)^{1/2}$ pentru impactul cu manechinul. Deplasarea statică δ se ia de pe diagrama forță deplasare, corespunzând unei forțe de 66.7 N pentru impactul cu capul manechinului și 335.2 N pentru impactul cu manechinul. Rezultatele se centralizează în tabelul de mai jos. Dacă luăm forța dinamică teoretică $F_{\text{din}} = \psi F_{\text{st}}$ putem estima procentul din energia impactului preluat de schelet, să îl notăm cu $\% E_{\text{impSC}} = F_{\text{max}} / F_{\text{din}}$.

Încercarea	δ_{st} (mm)	F_{st} (N)	ψ	δ_{max} (mm)	F_{max} (N)	a_{max}	F_{din} (N)	$\%$ E_{impSC}
9-3 man. 1	1.9	335.2	50	-	7500	23g	16760	44.75
9-3 man. 2	6.3	335.2	28	-	6100	18g	9385.6	65
9-3 cap 1	0.4	66.7	91.8	62	4400	53g	6123	71.9
9-3 cap 2	1.7	66.7	45	115	2500	29g	7670.5	32.6
9-5 man. 1	2.1	335.2	47.7	-	7800	24g	15989	48.8
9-5 man. 2	7.5	335.2	25.7	-	7100	21g	8614.6	82.4

Tabelul 7.14. Rezultatele încercărilor dinamice pentru volanele Saab 9-3 și Saab 9-5.

În concluzie, rezultatul încercărilor dinamice e afectat în mare măsură de prezența airbagului și sunt dificil de estimat.

Astfel, pentru optimizarea formei scheletului atenția trebuie îndreptată în primul rând la obținerea unor rezultate bune la simularea testelor statice urmând ca simularea încercării la șoc să se facă pentru verificare. Încercarea statică similară ca distribuție a forțelor cu încercarea cu impact cu manechinul este încercarea la încovoierea scheletului. Cum coeficientul dinamic ψ depinde de energia deformației statice, este foarte util ca prin simulări ale încercărilor statice să se obțină o formă a scheletului care să absoarbă cât mai multă energie. Se poate spune ca geometria optimă a scheletului e cea mai elastică structură care reușește să îndeplinească cerințele de rigiditate impuse de încercările statice în scopul de a se obține un factor de absorbție a energiei cât mai mare și care să varieze cât mai puțin cu poziția impactului și unghiul de impact.

8. Concluzii. Contribuții personale

Studiul elaborat are ca scop studiul aplicabilității aliajelor de magneziu în industria de automobile, în particular la construcția volanului. Utilizarea magneziului în industrie este de dată relativ recentă, dacă îl comparăm cu oțelul și aluminiul. Magneziul este la ora actuală al treilea metal structural ca utilizare și cunoaște o dezvoltare rapidă. Tehnologiile de prelucrare a magneziului se diversifică rapid și oferă posibilități necunoscute pentru alte metale. De asemenea, aliajele de magneziu cunosc o dezvoltare spre noi domenii.

Datorită proprietăților lor, aliajele de magneziu necesită un studiu atent al proprietăților lor mecanice înainte de a trece la utilizarea lor în piese structurale. Defectele de turnare afectează proprietățile mecanice ale aliajelor de magneziu. În comparație cu aliajele de aluminiu, aliajele de magneziu prezintă atât avantaje cât și dezavantaje. Aliajele AM50A și AM60B prezintă bune proprietăți structurale.

Studiul mai are ca scop și studiul structurii de rezistență al volanului. Volanul de automobil e supus la numeroase teste inclusiv mecanice. Cele mai solicitante sunt testele statice și testele la impact. Acestea se pot simula prin metoda elementelor finite. Rezultatele simulării sunt afectate în primul rând de imperfecțiunile materialului. Cu toate acestea ele aproximează cu suficientă precizie rezultatele experimentale. O proprietate importantă este capacitatea volanului de a absorbi energia de impact. Având în vedere încercările mecanice la care este supus volanul, există posibilitatea de a optimiza forma scheletului cu ajutorul analizei cu element finit. Optimizarea se poate face studiind efectul parametrilor constructivi ai scheletului și de design asupra rezultatului încercării. Având în vedere că în timpul încercărilor la impact se produce un șoc, apare natural ideea de a trata încercările la impact ca solicitări la șoc. Acest lucru nu se poate totuși face cu suficientă precizie întrucât prin elasticitatea manechinului și prezența airbagului se disipă o mare parte a energiei de impact.

Contribuții personale

1. Elaborarea unei sinteze documentate pe baza celor mai noi cercetări în domeniu cu referire la proprietățile aliajelor de magneziu și utilizarea lor în industria de automobile.
2. Prezentarea celor mai moderne tehnologii de prelucrarea a aliajelor de magneziu, direcțiilor de dezvoltare a unor noi tehnologii de turnare.
3. Studiul porozității aliajelor de magneziu, bazat pe cele mai noi surse bibliografice.
4. Efectuarea unui studiu experimental exhaustiv asupra mai multor aliaje de magneziu, cuprinzând atât aliaje uzuale, cât și aliaje rezistente la fluaj.
5. Realizarea unui studiu experimental cu încercări la șoc și propagarea fisurii asupra aliajului AM50A, foarte folosit în industria auto, inclusiv la construcția structurii de rezistență a volanului.
6. Efectuarea unor corecții asupra ecuației constitutive a materialului, pentru aliajul AM50A, astfel ca acesta să reflecte cât mai bine curba caracteristică.

7. Cercetări privind modul de aplicare a metodei elementelor finite la studiul stării de tensiuni și deformații ale structurii de rezistență a volanului. Studiul a cuprins atât analize statice cât și dinamice.
8. Studiul experimental al încercării la impact cu manechinul.
9. Comparația între cercetarea teoretică și cea experimentală a încercării la impact cu manechinul.
10. Elaborarea unui studiu prin metoda elementului finit prin care să se determine punctele critice ale structurii de rezistență a volanului și să se optimizeze geometria acestuia.

Bibliografie

1. Abbott T., M. Easton, and W. Song, "Mechanical behaviour of cast magnesium alloys," *Materials Science Forum*, vol. 419–422, part 1, pp. 141–146, 2003.
2. Aghion E., B. Bronfin, D. Eliezer, The role of magnesium industry in protecting the environment, *Journal of Material Processing Technology*, 117, (2001), 381-385.
3. Altenhof W, Ames W. A comparision between experimental testing and numerical simulations of impact loading of impact loading on aluminium and magnesium steering wheel armatures.
4. Altenhof W, Ames W. Strain rate effects for aluminium and manesium alloys in finite element simulations of steering wheel armature impact tests. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* 25 2002
5. Altenhof W, Frise P, Ghrib F, Ames W. Crash performance of aluminium and magnesium steering wheels. *Transportation fuels, fleets and vehicle tehnologies workshop, Windsor 2001*
6. Altenhof W, Paonessa S, Zamani N, Gaspar R. An experimental and finite element investigation into the energy absorbtion characteristics of a steering wheel armature in an impact. *International Journal of Impact Engineering* 27 2002
7. Altenhof W, Raczy A, Laframboise M, Loscher J, Alpas A. Numerical simulation of AM50A magnesium alloy under large deformation. *International Journal of Impact Engineering* 30 2004
8. ASTM 117. Standard Test Method of Salt Spray (Fog) Testing.
9. ASTM E139 Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials
10. ASTM E1820 Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness
11. ASTM Standard B557A Standard test method of tension testing wrought and cast alluminium and magnesium alloy products
12. ASTM Standard B93 Standard specification for magnesium alloys in ingot form sand castings, permanent mold castings and die castings
13. ASTM Standard B94 Standard specification for magnesium alloys die castings
14. ASTM Standard E23: Standard test method for impact test method for impact testing of metallic materials
15. ASTM Standard E8, Standard test method for tension testing of metallic materials
16. Aune TK, Albright D, Westengen H, Johnsen TE, Andersson B. Behavior of die cast magnesium alloys subject to rapid deformation, SAE paper no. 2000-01-1116. *Proceedings of the SAE 2000 World Congress, Detroit, MI, USA, 2000.*
17. Aune TK. AM50A charpy impact testing curves and specimens. Data provided by Norsk Hydro ASA, Oslo, Norway, 2000.

18. Avedesian M., H. Baker, editors, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM Speciality Handbook, ASM International, The Materials Information Society, 1999.
19. Barbagallo, S., Cerri, E. Evaluation of the KIC and JIC fracture parameters in a sand cast AZ91 magnesium alloy. *Engineering failure analysis* 11 (2004)
20. Bathe K-J, *Finite Element Procedures*
21. Beleaev, N. M. *Rezistența materialelor*, E.T. 1956
22. Bezuhov, N. I. *Teoria elasticității și plasticității* E.T. 1957
23. Blair, E. C., The effect of strain rate and temperature on the deformation of die cast AM60b. SAE technical paper no. 950425, 1995, 343.
24. Brandes E. A., G. M. Brooks, *Smithells light metal handbook*
25. Buzdugan, Gh. *Rezistența materialelor*, Ed. a 9-a, E.D.P. 1970
26. Carlson B E, The effect of strain rate, temperature on the deformation of die cast AM60B. SAE paper no. 950425. *Proceedings of the SAE 1995 World Congress*, Detroit, MI, USA, 1995.
27. Ciolcov, D. *Mecanica ruperii materialelor*, E.A. 1977
28. Dahle A, Y. Lee, M. Nave, P. Schaffer, D. StJohn, Development of the as-cast microstructure in magnesium-aluminium alloys, *Journal of Light Metals* 1, 2001, 61-72.
29. Davey K., S. Bounds, Modelling the Pressure Die Casting Process using Boundary and Finite Elements Methods, *Journal of Material Processing Technology* 63, 1997, 696-700
30. Dawes M G, 'An Introduction to K, CTOD and J Fracture Mechanics Analyses and Toughness, and the Application of these to Metal Structures'.
31. Dead Sea Magnesium website www.dsmag.co.il
32. Diecaster Bulletin No. 6, "AS21X Information Manual", (2001) Hydro Magnesium website, www.hydomagnesium.com.
33. Donlon WT, Paige C, Morris CJ, Allison JE. The effects of casting defects and microstructure on the mechanical properties of die cast AM50 magnesium and 356 aluminum. *Proceedings of the Symposium on Aluminum and Magnesium for Automotive Applications*, Cleveland, OH, USA, 1995.
34. Druschnitz A P, Showalter E R. Bolt load compressive stress retention testing of magnesium alloys. SAE paper no. 2003-01-0187. *Proceedings of the SAE 2003 World Congress*, Detroit, MI, USA, 2003.
35. Druschnitz A P, Showalter E R. McNeil J B, White D L. Evaluation of structural an high temperature magnesium alloys. SAE paper no. 2002-01-0080. *Proceedings of the SAE 2002 World Congress*, Detroit, MI, USA, 2002.
36. ECE R.12 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the driver against the steering mechanism in the event of impact
37. ECE Regulation No. 12 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the driver against the steering mechanism in the event of impact
38. El-Mahallawy N.A., M.A. Taha, E. Pokora, On the influence of process variables on the thermal conditions and properties of high pressure die-cast magnesium alloys, *Journal of Material Processing Technology*, 73, (1998), 125-138.
39. Gjestland H. T., S. Sannes, H. Westengen, and D. Albright, "Effects of casting temperature, section thickness and die filling sequence on

- microstructure and mechanical properties of high pressure die castings," NADCA Transactions, Indianapolis, Ind, USA, T03-036, 2003.
40. Hollomon J. H., "Tensile deformation," Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, vol. 162, pp. 268-275, 1945.
 41. Huang Y J, Hu B H, Pinwill I, Zhou W, Taplin D M R. Effects of process settings on the porosity levels of AM60B magnesium die castings. Materials and manufacturing processes vol. 15, No. 1, 2000
 42. International Magnesium Association website, www.intlmag.org.
 43. ISO 16220 Magnesium and magnesium alloys, magnesium alloys ingots and castings
 44. ISO 2107 Aluminium, magnesium and their alloys, temper designations
 45. John Campbell, Castings
 46. Johnson G R, Cook W J. A constitutive model and data for metals subject to large strains, high strain rates and high temperatures. Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, The Hague, Netherlands, 1983.
 47. Kieábus A, T. RzychoĔ, Microstructural characterization of Mg-Al alloys, New Technologies And Materials In Metallurgy And Materials Science, Katowice 2005, 117-122.
 48. Kim S., H. Yoo, Y. Kim, Research strategy for AM60 magnesium steering wheel, Magnesium Technology 2002.
 49. Luo A, H. Hu, and S. H. J. Lo, "Microstructure and mechanical properties of squeeze cast AZ91D magnesium alloy," Light Metals Symposium, CIM, Montreal, QC, Canada, 375-387, 1996.
 50. Magnesium and Magnesium Alloys, Avedesian, M.M. and Baker, H. eds. ASM International, Materials Park OH (1999),
 51. Magnesium Die Casting Handbook, NADACA, 1998.
 52. Mao P, Liu Z, Wang C, Guo Q, Sun J, Wang F, Lin L. Fatigue behavior of magnesium alloy and application in auto steering wheel frame. Transactions of nonferrous metals society of China 18 2008
 53. Mocanu D. R., ș. a. Încercarea materialelor , E. T. 1986
 54. Moise V, Dumitru I. Analiza stării de tensiune și optimizarea construcției ansamblului volanului unui autoturism. Zilele academice timișene 2005
 55. Moise V, Dumitru I. Cercetări asupra rezistenței statice și dinamice a volanelor cu 3 spițe, studiul influenței tensiunilor remanente. Zilele academice timișene 2003
 56. Moise V, Dumitru I. Contribuții privind caracteristicile de rezistență și tenacitatea la rupere în regim static a aliajului AM60B. Încercări în regim static și dinamic asupra scheletului de volan. Referat 2 prezentat la 15 iunie 2004
 57. Moise V, Dumitru I. Analiza stării de tensiune și optimizarea construcției ansamblului volanului unui autoturism. Referat 3 prezentat la 15 decembrie 2004
 58. Moise V, Dumitru I, Hlușcu M. Actual trends of magnesium alloys used in the automotive industry. Buletinul I.P.T. în curs de apariție.
 59. Mordike B. L., K. U. Kainer, Magnesium alloys and their applications
 60. Moscovitch N., D. Elezier, E. Aghion, The effect of high pressure die casting process characteristic on the properties and performance of advanced Mg alloys, Magnesium Technology 2005, 357-363.
 61. Noranda website, www.norandamagnesium.com
 62. Pană, T. Aplicații inginerești ale mecanicii ruperilor, E.T. 1975

63. Parton, V. Z, Morozov, E. M. Elastic-plastic fracture mechanics, Mir publishers 1978
64. Pekguleryuz, M.O., "Development of Creep Resistant Magnesium Diecasting Alloys—An Overview" and "High Temperature Magnesium Alloy Development, Noranda website, www.norandamagnesium.com
65. Pitsaris C., T. Abbott, C. Davies, G. Savage, Influence of process parameters on the microstructure and mechanical properties of magnesium die castings, Magnesium Alloys and Their Applications, Wolfsburg, 2003, 695-699.
66. Polmear I., Overview – Magnesium alloys and applications, Materials Science and Technology, Vol.10, 1994, 410-427.
67. Powell B. R., V. Rezhets, M. P. Balogh, and R. A. Waldo, "Microstructure and creep behavior in AE42 magnesium die-casting alloy," Journal of the Electrochemical Society, vol. 54, no. 8, pp. 34–38, 2002.
68. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM Handbook, Volume 2, Tenth Edition, ASM International, Materials Park, OH (1990)
69. Rodrigo D., M. Murray, H. Mao, et al., "Effects of section size and microstructural features on the mechanical properties of die-cast AZ91D and AM60B magnesium alloy test bars," SAE Technical Paper, no. 1999-01-0927, 1999.
70. Rodrigo, D., Murray, M., Mao, H., Brevick, J., Mobley, C., Chandrasekar, V., Esdaile, R., Effects of section size and microstructural features on the mechanical properties of die cast AZ91D and AM60B magnesium alloy test bars. SAE paper no. 1999-01-0927. Proceedings of the SAE 1999 World Congress, Detroit, MI, USA, 1999.
71. Sannes S., H. Westengen, The influence of process conditions on the microstructure and mechanical properties of magnesium die-casting, Magnesium Alloys and Their Applications, Wolfsburg, 1998, 223-228.
72. Schindelbacher G. and R. Rosch, "Mechanical properties of magnesium die-casting alloys at elevated temperatures and microstructure in dependence of wall thickness," Magnesium Alloys and Their Applications, Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH, 247–252, 1998.
73. Sequeira W., The microstructure and mechanical properties of high pressure diecast magnesium alloy AZ91D, Ph.D. thesis, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 2000.
74. Spare, N. C., Modern strategy for magnesium in automobiles: In Design Prospects and Material Aspects and Magnesium Technology, Proceedings of London Conference, 1986, pp. 101–1068
75. SR EN 10002-1, Materiale metalice. Partea I: Metoda de încercare la temperatura ambiantă
76. Terje, K. A. and Riopelle, L. A., Evaluation of the mechanical properties critical to the design of interior magnesium components. SAE special publications, Magnesium in Automotive Components, 1996, 1163
77. U.S. Department of transportation, National highway traffic safety administration: Laboratory test procedure for new car assessment program, Side impact testing
78. U.S. Department of transportation, National highway traffic safety administration: Laboratory test procedure for new car assessment program, Frontal impact testing

-
79. Wang R. M., A. Eliezer, and E. M. Gutman, "An investigation on the microstructure of an AM50 magnesium alloy," *Materials Science and Engineering*, vol. 355, no. 1-2, pp. 201-207, 2003.
 80. Westengen H., L. Wei, T. Aune, D. Albright, Effect of intermediate temperature aging on mechanical properties and microstructure of die-cast AM-alloys, *Magnesium Alloys and Their Applications*, Wolfsburg, 1998, 209-214.
 81. World Patent #WO0144529, "Magnesium alloy for high temperature applications", (2001).
 82. Yang Z, Raman S, Ma D. Virtual tests for facilitating steering wheels development, SAE paper no. 2005-01-1072. Proceedings of the SAE 2005 World Congress, Detroit, MI, USA, 2005.
 83. Zhou M., "An experimental study of die and squeeze cast Mg alloy. AM50," M.S. thesis, University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, 2004.
 84. Zhou M., N. Li, and H. Hu, "Effect of section thicknesses on tensile behavior and microstructure of high pressure die cast magnesium alloy AM50," *Materials Science Forum*, vol. 475- 479, part 1, pp. 463-468, 2005.

Cuprinsul comentat

Capitolul 1. Introducere, importanța temei. Prezintă importanța noilor aliaje de magneziu în industria auto, mai ales în legătură cu domeniul siguranței participanților la trafic.

Capitolul 2. Tendințe actuale privind folosirea aliajelor de magneziu în industria de automobile. Prezintă compoziția și proprietățile noilor aliaje de magneziu, în conformitate cu standardele internaționale și cele mai noi surse bibliografice. Se prezintă sistemele de aliere, proprietățile mecanice ale aliajelor, avantajele și dezavantajele lor, motivele pentru care magneziul a devenit al treilea metal structural ca utilizare.

Capitolul 3. Particularități tehnologice ale prelucrării aliajelor de magneziu folosite în industria auto. Prezintă noile tehnologii de prelucrare prin turnare a aliajelor de magneziu, avantajele și dezavantajele lor, precum și particularitățile magneziului care au permis dezvoltarea acestor tehnologii.

Capitolul 4. Cercetări teoretice și experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice ale aliajelor de magneziu folosite în industria auto. Prezintă cercetările efectuate pentru determinarea proprietăților mecanice a mai multor aliaje de magneziu: AM50A, AM60B, AE42, AS21B, AJ50X, AJ52X, MRI-153. S-au determinat modulul de elasticitate, tensiunea de rupere, alungirea la rupere, limita de elasticitate, la temperatura ambiantă și la temperaturi ridicate până la 175°C. Reziliența s-a determinat numai la temperaturi de 20°C și 40°C. S-au mai determinat proprietățile de fluaj, fluajul fiind unul din defectele aliajelor de magneziu, precum și strângerea remanentă într-o asamblare cu șurub. Pe epruvetele încercate s-a studiat structura secțiunii, dimensiunea grăunților și prezența porilor. Pentru aliajul AM50A s-a continuat cu trasarea curbei caracteristice și corectarea coeficienților relației constitutive, apoi pentru același aliaj s-au măsurat proprietățile de mecanică a ruperii. S-a ajuns la concluzia că aliajul AM50A corespunde pe deplin cerințelor anumitor aplicații din industria auto.

Capitolul 5. Contribuții privind aplicarea metodelor numerice la studiul stării de tensiuni și deformații a structurii de rezistență a volanului de automobil. Prezintă modul de aplicare a metodei elementelor finite la studiul stării de tensiuni și deformații din scheletul volanului atât pentru încercările statice, cât și pentru încercările dinamice. S-au aflat zonele critice ale scheletului. S-a făcut un studiu pentru a îmbunătăți precizia simulării dinamice a încercării la impact cu manechinul. Pentru aceasta, s-a făcut atât simularea prin metoda elementelor finite, cât și încercarea experimentală pentru un număr de 16 teste de ciocnire ale aceluiași model de schelet, în diferite condiții de testare determinate de orientarea volanului și viteza manechinului la impact.

Capitolul 6. Contribuții asupra analizei experimentale a volanului și încadrarea acesteia în cerințele impuse de normele interne și internaționale. Prezintă pe scurt componentele ansamblului volan apoi se trece la descrierea programului de testare al volanului de automobil, conform normelor interne ale producătorilor și a reglementărilor internaționale în domeniul siguranței rutiere. Un spațiu mai mare este acordat încercărilor dinamice, în special încercărilor de impact cu manechinul. Pentru încercarea de impact cu manechinul se studiază caracteristicile de absorbție a energiei de impact de către volan. Prin prisma acestora se face o comparație între

comportarea la impact a scheletului produs dintr-un aliaj de magneziu cu același schelet produs dintr-un aliaj de aluminiu.

Capitolul 7. Modelarea geometriei structurii de rezistență a volanului și aplicarea rezultatelor în scopul optimizării ei. Prezintă influența geometriei scheletului asupra rezultatelor încercărilor mecanice la care e supus. Încercarea cea mai solicitantă este încovoierea scheletului și pentru aceasta se face un studiu prin metoda elementelor finite, prin care se cercetează influența pe care diferiți parametrii constructivi o au asupra stării de tensiuni și deformații dezvoltată în schelet în timpul acestei încercări. Prin aceasta se caută obținerea formei optime a scheletului care să răspundă corespunzător la încercările statice. Pentru a avea o estimare și a încercărilor la impact, acestea s-au tratat ca solicitări prin șoc. Ipoteza că încercările la impact pot fi tratate ca solicitări prin șoc s-a verificat prin compararea rezultatelor obținute în această ipoteză cu rezultatele experimentale obținute pe două modele de volane aflate în producție. S-a tras concluzia că o mare parte din energia de impact este absorbită de către manechin și airbag.

Capitolul 8. Concluzii. Contribuții personale. Prezintă concluziile lucrării și contribuțiile aduse.