

Materiale utilizate în construcția și întreținerea autovehiculelor

Materiale solide

MOLEA Andraia

MERIE Violeta Valentina

SUCIU Ramona - Crina

UTPRESS

Cluj-Napoca, 2023

ISBN 978-606-737-681-4



**Andreia MOLEA
Violeta Valentina MERIE
Ramona - Crina SUCIU**

**MATERIALE UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIA ȘI
ÎNTREȚINEREA AUTOVEHICULELOR**
Materiale solide



**UTPRESS
Cluj-Napoca, 2023
ISBN 978-606-737-681-4**



Editura UTPRESS
Str. Observatorului nr. 34
400775 Cluj-Napoca
Tel.: 0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
www.utcluj.ro/editura

Director: ing. Dan COLȚEA

Recenzia: Prof.dr.ing. Cătălin Popa
Conf.dr.ing. Nicolae Vlad Burnete

Pregătire format electronic on-line: Gabriela Groza

Această carte a fost concepută pentru a sprijini învățarea și înțelegerea unor concepte de bază privind materialele solide - metalice, polimerice, materiale de fricțiune - utilizate în construcția autovehiculelor, perspectivele privind utilizarea materialelor avansate în construcția autovehiculelor precum și reciclarea materialelor și considerații privind vehiculele scoase din uz.

Ea se adresează, ca material didactic, studenților de la programele de studii de licență din domeniul Ingineriei Autovehiculelor (Autovehicule Rutiere), precum și de master (Automobilul și Mediul), fiind de fapt utilă tuturor studenților din universitățile tehnice care studiază cursul de materiale utilizate în construcția autovehiculelor, cât și inginerilor și celor care lucrează în cercetare.

Copyright © 2023 Editura UTPRESS
Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii UTPRESS.

ISBN 978-606-737-681-4

Prefață

În contextul dinamic al evoluției tehnologice din domeniul construcției autovehiculelor, materia primă devine un subiectul central al cercetării și dezvoltării, captând din ce în ce mai mult atenția specialiștilor și nu numai. Rezolvarea simultană a multiplelor cerințe care apar la dezvoltarea autovehiculelor precum încadrarea în limitele de emisii poluante, creșterea eficienței motoarelor cu ardere internă pentru autovehiculele cu sisteme clasice de propulsie, respectiv creșterea autonomiei și reducerea timpilor de încărcare pentru autovehiculele electrice, constituie doar câteva dintre provocările complexe care generează o dinamică a inovării în acest domeniu.

Prezentul volum reprezintă un efort important de explorare a acestei tematici, împărțindu-se în cinci capitole distincte. De la o introducere care evidențiază necesitatea acestui efort, respectiv punctează principalele evoluții din domeniul materialelor pentru autovehicule și până la analiza materialelor feroase (oțeluri și fonte) și neferoase (aluminiu, magneziu, titan), a materialelor plastice (termoplaste, elastomeri și duromeri), materialelor de fricțiune (abordate în funcție de tipul de matrice) și, nu în ultimul rând, reciclarea materialelor și a vehiculelor scoase din uz, prin explicațiile coerente, definiții clare și numeroasele exemple ilustrative, această lucrare se adresează tuturor celor care doresc să dobândească o bună înțelegere a domeniului.

Abordând aspecte precum obținerea, proprietățile și selecția materialelor în funcție de cerințele specifice, lucrarea își propune să ofere o perspectivă amplă asupra acestui domeniu complex. Suplimentar, volumul acordă o atenție deosebită procesului de reciclare, evidențiind etapele acestuia și rezultatele asociate, respectiv subliniind importanța includerii cerințelor acestui proces în etapele de proiectare a autovehiculelor din perspectiva economiei de resurse și a reducerii impactului asupra mediului.

Ceea ce distinge această lucrare este nivelul său de accesibilitate. Oferind informații concise și exemplificări ample, cartea se adresează atât specialiștilor din industrie, cât și publicului neinițiat. Prin urmare, volumul se conturează ca o resursă importantă și utilă pentru toți cei interesați de complexitatea materialelor din domeniul autovehiculelor și transporturilor.

Nicolae Vlad BURNETE

Cuprins

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Noțiuni introductive | 6 |
| 2 | Aliaje feroase și neferoase | 15 |
| 2.1 | Aliaje feroase | 15 |
| 2.1.1 | Oțeluri | 18 |
| 2.1.2 | Fonte | 29 |
| 2.2 | Aliaje neferoase ușoare | 36 |
| 3 | Materiale polimerice | 42 |
| 3.1 | Termoplaste | 44 |
| 3.2 | Elastomeri | 58 |
| 3.3 | Duromeri..... | 67 |
| 4 | Materiale de fricțiune..... | 74 |
| 5 | Reciclarea materialelor și a vehiculelor scoase din uz | 87 |
| | Bibliografie..... | 98 |

1 Noțiuni introductive

Există mii de materiale disponibile pentru diverse aplicații în inginerie. În general, majoritatea materialelor se clasifică din punct de vedere al naturii în patru categorii: metale, ceramice, polimeri și materiale compozite. Materialele sunt adesea clasificate în funcție de: compoziția chimică, proprietățile fizice sau mecanice. Clasificarea materialelor compozite se realizează fie pe baza compoziției, fie pe baza legăturilor dintre componente [1].

Materialele metalice se definesc ca fiind elemente chimice opace, care prezintă luciu caracteristic, sunt bune conductoare de căldură și electricitate, sunt maleabile și ductile și se regăsesc în stare solidă la temperatură obișnuită (cu excepția în mercurului). Metalele se clasifică în [1]:

- *metale feroase și aliajele acestora* - se disting printr-un punct de topire ridicat, duritate și densitate crescută (oțeluri, oțeluri carbon, oțeluri aliate, oțeluri inoxidabile, oțeluri pentru scule și matrițe);
- *metale neferoase și aliajele acestora* - se disting prin conductivitate termică și electrică crescută și se topesc la o temperatură mai scăzută față de cele feroase (aluminiu, cupru, magneziu, nichel, titan, metale prețioase, metale refractare, super-aliaje).

Materialele ceramice sunt materiale formate din compuși anorganici, fără caracter metalic. În general conțin elemente metalice combinate cu elemente puternic nemetalice (oxigen, clor, fluor etc.). Acestea sunt caracterizate prin rezistență și duritate ridicată, conductivitate electrică scăzută și sunt fragile. Ceramicele se clasifică în [1]:

- *ceramice clasice (tradiționale)* – sunt obținute prin tratarea termică (arderea) a silicaților naturali, precum argila și nisipul (porțelan, faianță, lut etc.)

- *ceramice tehnice* – sunt structuri mai complexe, cristaline sau amorfe (sticle), iar compuşii principali sunt oxizii, nitrurile sau carburile (oxid de aluminiu Al_2O_3 , dioxid de zirconiu ZrO_2 , carbură de siliciu SiC , nitrură de titan TiN etc.).

Materialele polimerice sunt materiale organice macromoleculare constituite din lanțuri lungi de atomi de carbon cu hidrogen, oxigen și azot. Polimerii se clasifică în [1], [2]:

- *termoplaste* – sunt materiale polimerice ce trec în stare vâscoasă la cald (se pot înmuia/topi prin încălzire) datorită catenelor liniare și/sau a lanțurilor laterale. Aceste materiale pot fi prelucrate printr-o varietate de tehnici de turnare și extrudare (polietilenă, polipropilenă, polistiren etc.);
- *duromeri* – sunt materiale polimerice la care întărirea este ireversibilă, deci nu se pot înmuia/topi deoarece prin încălzire se distruge macromolecula datorită legăturilor transversale tari (rășini epoxidice, poliuretani etc.);
- *elastomeri* – sunt materiale polimerice ce pot fi deformate elastic atunci când se aplică o forță și pot reveni la forma inițială după ce acțiunea forței a încetat deoarece prezintă legături transversale slabe (neopren, cloropren, cauciuc etc.).

Materialele compozite sunt obținute prin combinarea unor materiale care diferă din punctul de vedere al compoziției sau formei la scară macro, în scopul obținerii unor caracteristici și proprietăți noi. Un material compozit este format, în general, din două componente: matrice și materiale de armare. Matricea este componenta majoritară în care se înglobează celelalte componente și menține forma piesei, în timp ce materialele de armare se adaugă (în matrice) pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale compozitului. Clasificarea materialelor compozite se realizează fie în funcție de matrice, fie în funcție de constituentul de armare. În funcție de matrice, compozitele se clasifică în [1], [2]:

- *compozite cu matrice polimerică* – sunt formate din materiale macromoleculare termoreactive sau termoplaste și prezintă rezistență și rigiditate mai ridicate decât polimerii;
- *compozite cu matrice metalică* – sunt formate din matrice metalică reprezentată de un metal ductil (aluminiu, magneziu, cupru, titan etc.) și componenta de armare care poate să fie sub formă de fibre și/sau particule ceramice, utilizate pentru creșterea rigidității, refractarității și rezistenței;
- *compozite cu matrice ceramică* – sunt formate din matrice ceramică armate cu fibre metalice pentru creșterea tenacității.

În funcție de forma constituentului de armare, compozitele se clasifică în [1], [2]:

- *compozite armate cu fibre sau țesături* – principalele fibre utilizate în obținerea compozitelor sunt fibrele de sticlă, de carbon, de Kevlar etc. Compozitele armate cu fibre se împart, la rândul lor, în două clase, după forma și dimensiunile relative ale materialului de armare:
 - *compozite armate cu fibre monostrat (scurte sau lungi)* – fibrele asigură compozitului rigiditate și rezistență ridicată;
 - *compozite armate cu fibre multistrat* – sunt realizate astfel încât fibrele unui strat să fie paralele și fiecare strat să fie orientat în mod corespunzător pentru a obține o rezistență și rigiditate ridicate, pe anumite direcții.
- *compozite armate cu particule* – particulele sunt fin dispersate în matrice. Forma particulelor poate fi sferică, plată sau de altă configurație și se utilizează pentru obținerea compozitelor cu rezistență mare la uzură, stabilitate dimensională și capacitate mare de amortizare a vibrațiilor.

În general, **proprietățile materialelor** determină proprietățile de utilizare ale produselor și sunt clasificate în patru grupe, și anume: proprietăți fizice, chimice, mecanice și tehnologice [1].

Proprietățile fizice descriu caracteristicile de densitate, conductivitate electrică, conductivitate termică, coeficient de dilatare termică și proprietățile magnetice ale materialelor. Acestea depind atât de structura cât și de modul de procesare ale materialelor [1].

Capacitatea materialelor de a reacționa sau de a rezista la medii corozive, oxidante sau reactive este cunoscută sub numele de **proprietăți chimice**. Acestea se descriu prin: compoziția chimică, rezistența la agenți chimici, rezistența la coroziune, pH-ul, concentrația, reactivitatea, afinitatea pentru oxigen, solubilitatea, stabilitatea chimică și tensiunea superficială.

Proprietățile mecanice caracterizează răspunsul unor eșantioane de material cu forme și dimensiuni standardizate (epruvete) la solicitări simple, de natură pur mecanică. Proprietățile mecanice se descriu prin [1]:

- *rezistența mecanică* – reprezintă reacțiunea cu care materialul se poate opune unui efort la care este supus și se calculează ca raport între forță și secțiunea transversală a epruvetei;
- *limita (rezistența) de curgere tehnică* – reprezintă raportul dintre forța care produce o deformare neproportională prescrisă și secțiunea inițială;
- *ductilitatea* – reprezintă capacitatea materialului de a se deforma plastic înainte de rupere (noțiuni conexe: plasticitate, maleabilitate, iar opusul este fragilitate);
- *tenacitatea* – reprezintă capacitatea materialelor de a înmagazina energie fără a se rupe;
- *rigiditatea* – caracterizează modul în care se opun materialele deformării elastice sub acțiunea forțelor exterioare;
- *duritatea* – reprezintă capacitatea materialelor de a se opune pătrunderii penetratorilor exteriori.

La nivel european, sectorul transportului, emite aproape 25 % din cantitatea de gaze cu efect de seră și este principala sursă de poluare în orașe. Mai mult decât atât, pentru producția de autovehicule este necesară o cantitate semnificativă de materii prime și materiale, ceea ce conduce la

consum ridicat de resurse naturale și combustibili fosili. Pentru a respecta reglementările în vigoare (2009/443/CE, 2000/53/CE, 2014/95/UE), producătorii de autovehicule au dezvoltat mai multe soluții tehnice (prin care se reduc inclusiv emisiile de gaze cu efect de seră) precum: sisteme alternative de propulsie, reducere masei autovehiculelor și creșterea eficienței motorului. Deciziile privind tipurile de materiale utilizate pentru construcția și întreținerea componentelor auto nu se bazează doar pe condițiile de funcționare, ci și pe circumstanțele economice. Principalele motive pentru care este necesar un proces amplu de alegere a materialelor sunt următoarele: reconstruirea unui produs existent (pentru a obține performanțe și fiabilitate mai ridicate, costuri mai reduse de producție și masă totală mai mică) și respectiv, crearea unui produs nou folosind materialul selectat [3].

Materialele utilizate în industria autovehiculelor trebuie să îndeplinească mai multe criterii înainte de a fi aprobate. Unele dintre criterii sunt rezultatele reglementărilor și a legislației de mediu și siguranță, iar unele sunt rezultate pe baza cerințelor clienților. Adesea sunt implicați mai mulți factori cu cerințe contradictorii și, prin urmare, un design de succes este posibil doar printr-o soluție optimizată și echilibrată. Cerințele rezultate din reglementările în vigoare vizează protecția mediului, și ca urmare reducerea emisiilor poluante, respectiv a cantității de deșeuri prin utilizarea unor materiale reciclabile. În acest sens, producătorii de autovehicule depun eforturi pentru a reduce masa totală a vehiculelor prin dezvoltarea de noi soluții în care se pune un accent deosebit pe utilizarea structurilor din aliaje (caracterizate prin proprietăți mecanice superioare) și creșterea ponderii de componente realizate din materiale ușoare. Pe de altă parte, utilizatorii de autovehicule solicită confort și siguranță sporite, respectiv se așteaptă ca în mod continuu să se lanseze noi modele de autovehicule care să îndeplinească aceste condiții. Îndeplinirea tuturor acestor cerințe este o sarcină dificilă, deoarece acestea se pot exclude reciproc. De exemplu, pentru a îmbunătăți confortul este necesar să se instaleze materiale izolante suplimentare care să permită reducerea nivelului de zgomot, să se introducă multe componente și dispozitive noi (spre exemplu: sisteme de încălzire pentru oglinzile

exterioare și scaunele conducătorului/pasagerilor sau hayone acționate electric, etc.). Pentru îmbunătățirea siguranței este necesară consolidarea caroseriei autovehiculului, a sistemului de frânare, dar și altele. În consecință, autovehiculul devine mai sofisticat, iar masa totală crește inevitabil, ceea ce duce, la rândul său, la un consum mai mare de combustibil și la creșterea emisiilor poluante [4].

Oțelurile, fontele, aluminiul și aliajele pe bază de aluminiu, magneziul și aliajele pe bază de magneziu, materialele plastice și compozitele sunt printre materialele principale utilizate pentru fabricarea pieselor și a componentelor autovehiculelor (fig. 1.1).

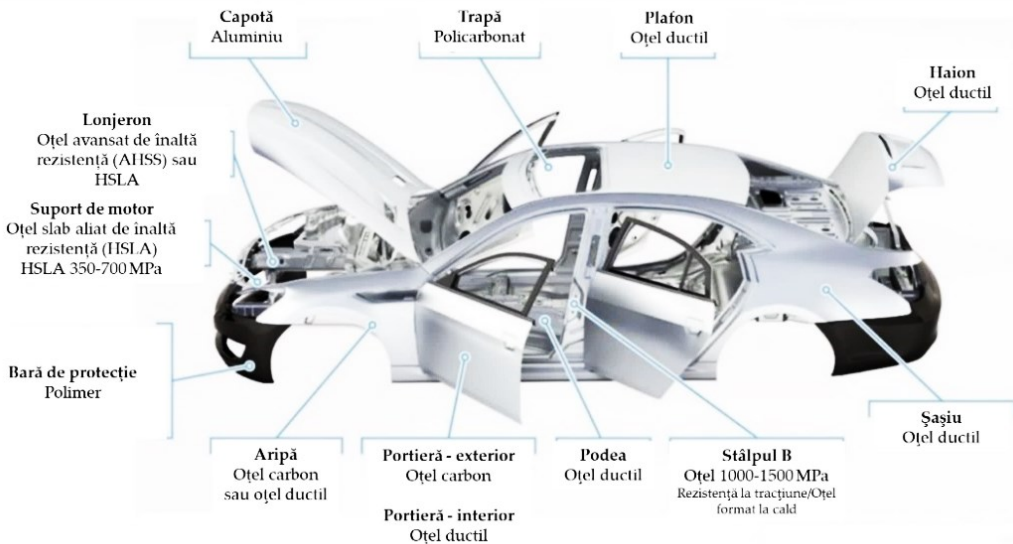


Fig. 1.1 Principalele materiale utilizate pentru fabricarea componentelor din construcția autovehiculelor [5]

Industria siderurgică investește resurse importante în inovare, astfel încât să dezvolte noi materiale de tip oțeluri și fonte, altfel spus materiale metalice de înaltă rezistență care pot fi aplicate nu numai pentru caroseriile și șasiul autovehiculelor (fig. 1.2), ci și pentru motor, roți și multe alte componente. Utilizarea acestor materiale are ca efect reducerea masei, și, în

plus, îmbunătățirea rezistenței, rigidității, dar și a altor caracteristici structurale.



Fig. 1.2 Șasiul din oțel al unui autovehicul [6]

Prin urmare, există un potențial ridicat de a construi autovehicule mai ușoare și, în același timp, mai sigure. În timp ce caroseria, șasiul, motorul și alte componente ale grupului motopropulsor sunt realizate din materiale feroase clasice (oțeluri și fonte reprezintă aproximativ 80 % masa totală a autovehiculului), materialele avansate ușoare (aluminiul - fig. 1.3, magneziul și aliajele acestora) concurează ca potențiali înlocuitori în toate aceste aplicații [4].



Fig. 1.3 Bloc motor din aluminiu [7]

Materialele polimerice au fost introduse în industria autovehiculelor (fig. 1.4) datorită costurilor mai reduse de producție comparativ cu producția de componente din materialele metalice. Ulterior, creșterea ponderii de materiale plastice s-a datorat necesității de a realiza autovehicule cu masă redusă, dar și datorită proprietăților pe care materialele polimerice le oferă (flexibilitate ridicată, rezistență la coroziune și proprietățile mecanice bune). Deși aceste avantaje sunt bine cunoscute industriei, utilizarea materialelor plastice ridică în continuare preocupări cu privire la reciclare, iar în cazul compozitelor (de exemplu fibrele de carbon) din perspectiva costurilor de fabricare (este de 10 ori mai mare costul de producție a fibrelor de carbon decât costul de producție a oțelurilor) [8].



Fig. 1.3 Far din policarbonat [9]

Un alt furnizor important pentru producția de autovehicule este industria cauciucului, deoarece aproximativ 75 % din cauciucul natural din lume este folosit pentru fabricarea anvelopelor sau garniturilor. O anvelopa realizată dintr-un material de calitate îmbunătățește eficiența și siguranța rutieră. În realizarea anvelopelor cel mai frecvent sunt utilizați elastomerii siliconici (fig. 1.5) deoarece prezintă atât rezistența cât și durabilitate. Proprietăți precum rezistența la intemperii, abraziune, radiații ultra violete și substanțe chimice, fac ca aceste materiale elastice să fie utilizate cu succes în industria autovehiculelor [10].



Fig. 1.5 Anvelope din elastomeri siliconici [11]

Având în vedere toate cele prezentate anterior, se poate concluziona că, industria autovehiculelor se îndreaptă către o noua era utilizării materialelor ușoare, performanțe ridicate și eficiență mai mare a combustibilului, dar fără a realiza compromisuri cu privire la calitatea materialelor, confortul și siguranța pasagerilor. În următoarele capitole sunt tratate în detaliu principalele materiale utilizate în industria autovehiculelor din perspectiva obținerii, a proprietăților și a destinației.

2 Aliaje feroase și neferoase

2.1 Aliaje feroase

Aliajele feroase care se utilizează în cea mai mare pondere în construcția autovehiculelor sunt oțelurile și fontele. Oțelurile și fontele sunt aliajele complexe ale fierului (Fe) cu carbonul (C) care, pe lângă cele două elemente de bază, mai conțin siliciu (Si), mangan (Mn), sulf (S) și/sau fosfor (P). În funcție de aplicație, în compozite pot fi introduse și alte elemente de aliere precum cromul (Cr), nichelul (Ni), molibdenul (Mo), cuprul (Cu), aluminiul (Al), pentru a obține oțeluri și fonte aliate. Scopul introducerii/includerii acestor elemente în structura oțelurilor și fontelor este acela de a îmbunătăți: proprietățile mecanice (rezistența mecanică, elasticitatea și duritatea), proprietățile fizice (termice și magnetice) și/sau chimice (rezistența la coroziune) [12].

Siderurgia modernă utilizează două metode de fabricare pentru obținerea oțelului. În figura 2.1 se prezintă cele două metode de obținere a oțelului. Metoda fabricării oțelului cu oxigen de bază (BOS - *Basic Oxygen Steelmaking*) constă în utilizarea, ca materie primă, a minereurilor de fier (hematit și limonit, Fe_2O_3 și magnetit, Fe_3O_4) și parcurgerea următoarele etape: prepararea minereurilor, elaborarea fontei în furnal, transformarea fontei în oțel în convertizoare cu insuflare de oxigen. Aproximativ 67 % din producția mondială de oțel se obține folosind această metodă. În schimb, prin metoda fabricării oțelului în cuptoarele electrice cu arc, EAF (*Electric Arc Furnance*) se pornește, ca materie primă, de la deșeuri de oțel (fier vechi) care se topesc în cuptoare cu arc electric. După elaborarea primară, oricare ar fi metoda utilizată, oțelul în stare lichidă este preluat în oala de turnare, unde este transformat, prin procese de elaborare secundară, în tipul de oțel dorit din punct de vedere al utilizării [13].

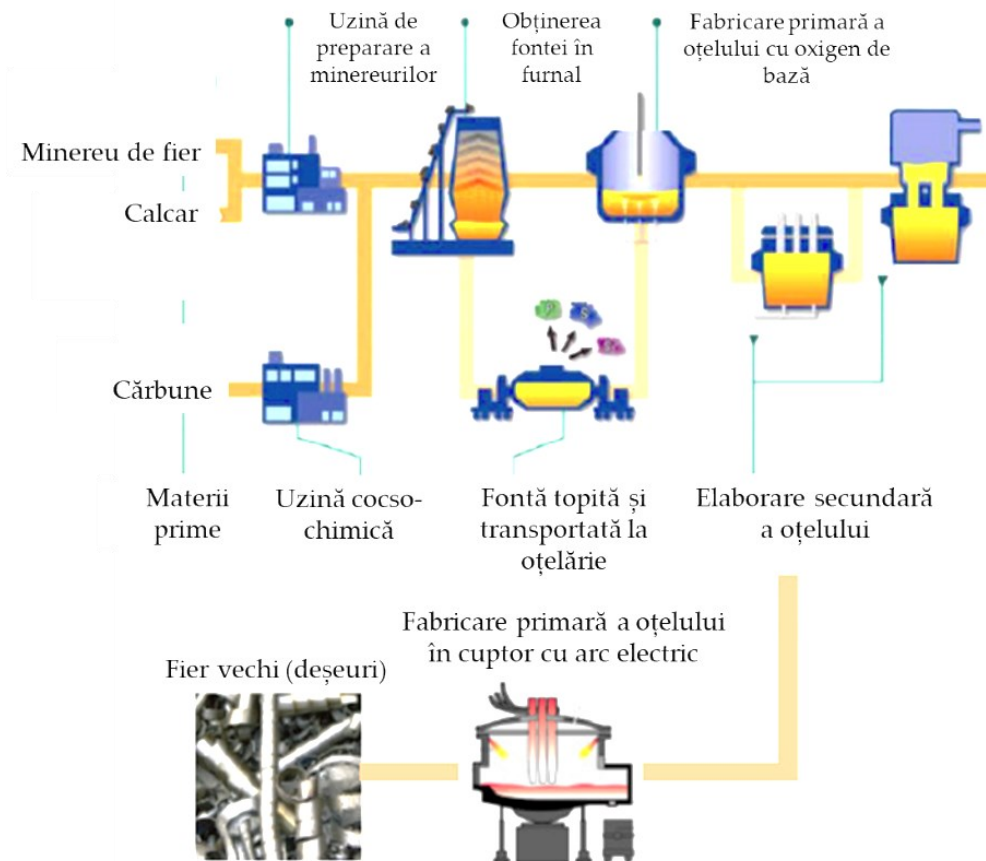


Fig. 2.1 Fluxul tehnologic de fabricare a oțelului [13]

După obținerea compoziției dorite, oțelul este turnat fie sub formă de lingouri, fie sub formă de semifabricate. În continuare, aceste semifabricate sunt prelucrate prin laminare la cald cu scopul de a obține table, bare, profile, țevi sau sârme [13].

Constituenții metalografici ai oțelurilor și fontelor sunt [12]:

- *ferita* $Fe_{(\alpha)}C$ - este o soluție solidă a carbonului în fierul α , cu conținut foarte mic de carbon și cu structură poliedrică,

proprietățile ei fiind foarte apropiate de cele ale fierului pur, adică este din punctul de vedere al proprietăților este moale și plastic;

- **austenita** $Fe_{(\gamma)}C$ - este o soluție solidă a carbonului în fierul γ , are structură poliedrică, ce prezintă proprietăți asemănătoare feritei. Este stabilă termic la temperaturi de peste $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ și datorită proprietăților de plasticitate, se pot aplica deformările la cald prin laminarea și forjarea aliajelor;
- **cementita** Fe_3C (denumită și carbură de fier) - este un compus definit cu 6,67 % carbon, ce prezintă duritate și fragilitate ridicate. Structura cementitei primare apare în amestec cu ledeburita (Fe_3C_I) și se prezintă sub formă de lamele de culoare albă. Cementita secundară (Fe_3C_{II}) prezintă o structură sub formă de lamele fine sau de globule în perlită. La temperaturi sub $723\text{ }^{\circ}\text{C}$, cementita terțiară (Fe_3C_{III}) se separă din ferită;
- **bainita** - este un amestec de ferită cu conținut ridicat de carbon și carburi care nu au ajuns la stadiul de cementită;
- **ledeburita** - este un amestec formată din perlită și cementită primară care apare numai în aliajul eutectic cu 4,3 % carbon. Aceasta este dură și fragilă, motiv pentru care prezența ei în structură face ca aliajele să nu poată fi deformate nici prin presare, nici prin lovire;
- **perlita** - este un amestec mecanic de ferită și cementită, cu structură lamelară sau globulară și are proprietăți de finețe și distribuția fazelor constituente.

Microstructurile caracteristice oțelurilor și fontelor sunt evidențiate în figura 2.2. Pentru ferită (a) și austenită (b) se poate observa structura poliedrică, în timp ce pentru cementită (c), ledeburita (e) și perlită (f) se evidențiază preponderent structura de globule, iar pentru bainită (d) structura este de tip lamelar [14]–[19].

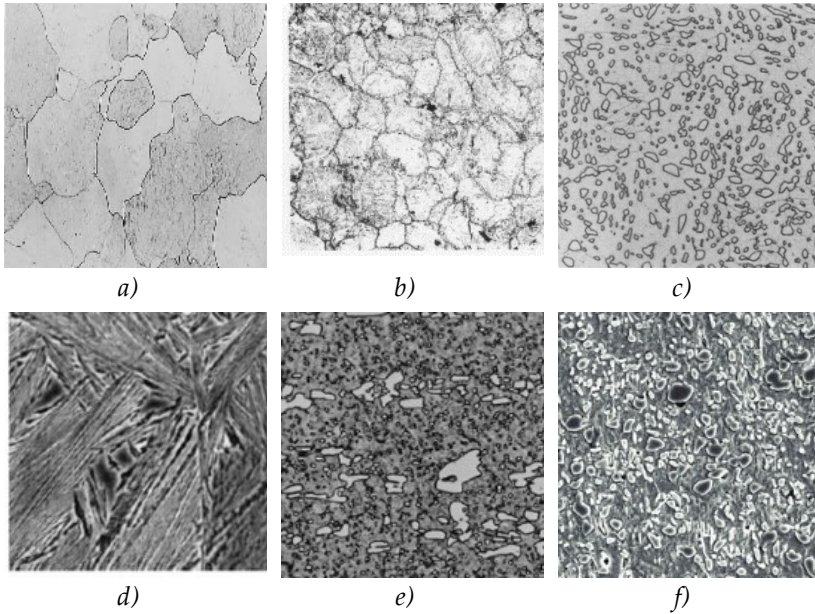


Fig. 2.2 Microstructuri caracteristice ale oțelurilor și fontelor.

a) ferită [19], b) austenită [18], c) cementită [14], d) bainită [17], e) ledeburită [16] și f) perlită [15]

2.1.1 Oțeluri

Definiție

Oțeluri sunt aliaje complexe cu baza fier (Fe), care au ca element principal de aliere maxim 2,1 % carbon (C) [1], [20].

Oțelurile se caracterizează prin faptul că, la rece sau la cald, pot fi deformate plastic prin presare sau lovire, fără să se rupă. Principalele motive care stau la baza alegerii oțelurilor pentru fabricarea structurii de rezistență a autovehiculului este capacitatea acestuia de a absorbi energia de impact în cazul unei coliziuni [21].

Oțelurile convenționale se clasifică după mai multe criterii precum [20]:

- *compoziția chimică:*
 - oțeluri nealiatate (oțeluri carbon) - conțin numai fier, carbon și elemente însoțitoare;
 - oțeluri aliate - pe lângă elementele menționate anterior, conțin și elemente adăugate intenționat (elemente de aliere) cum ar fi: cromul, nichelul sau titanul;
- *destinația oțelurilor* - oțeluri pentru construcții, oțeluri pentru scule și oțeluri cu destinație specială (arcuri, rulmenți, oțeluri inoxidabile);
- *starea de livrare* - oțeluri laminate la cald, oțeluri forjate și oțeluri turnate în piese;
- *duritatea* - oțeluri moi, oțeluri semi-dure, oțeluri dure, oțeluri extradure [20].

Oțelurile carbon (nealiatate) sunt oțeluri nealiatate cu un conținut de până la 0,6 % carbon, care sunt slab aliate. Proprietățile și structura oțelurilor carbon sunt dependente, în cea mai mare măsură, de conținutul de carbon. Spre exemplu, densitatea, conductivitatea termică, coeficientul de dilatare, plasticitatea și tenacitatea scad cu creșterea conținutului de carbon, în timp ce căldura specifică și rezistența cresc o dată cu creșterea conținutului de carbon. Din punct de vedere al proprietăților tehnologice, ambutisarea adâncă și matrițarea complexă nu sunt posibile decât la oțelurile cu mai puțin de 0,08 % carbon, în timp ce, în cazul oțelurilor cu un conținut cuprins între 0,15 % și 0,30 % carbon se poate realiza doar o ambutisare redusă și îndoirea la rece. La conținuturi de 0,30 % ÷ 0,40 % carbon este posibilă îndoirea doar la raze mari. În ceea ce privește sudabilitatea, aceasta se poate aplica doar la conținuturi mici de carbon (sub 0,25 % carbon). Prelucrabilitatea prin așchiere este dependentă de structură, care, după cum s-a menționat anterior, este dependentă de conținutul de carbon [22].

Oțelurile carbon pentru construcții trebuie să poată fi prelucrate prin sudare și deformare plastică la rece, motiv pentru care este necesară folosirea oțelurilor moi. În funcție de cerințele impuse aceste oțeluri, se pot clasifica la rândul lor în oțeluri de uz general și oțeluri carbon de calitate. Oțelurile de uz general se caracterizează prin faptul că se folosesc sub formă de

produse laminate la cald, fără prelucrări prin așchiere. Oțelurile carbon de calitate prezintă un conținut de carbon sub 0,25 % și se folosesc pentru construcții metalice sudate, cum ar fi mantale, capace, tiranți. În schimb, cele cu un conținut mare de carbon se folosesc pentru piese precum șuruburi, piulițe, pene [23].

Oțelurile carbon de destinație specială sunt utilizate în multiple domenii. Din această categorie fac parte oțelurile pentru arcuri, oțelurile pentru rulmenți, oțelurile pentru prelucrare pe mașini-unelte automate, oțelurile pentru construcția cazanelor și a recipientelor sub presiune, oțelurile pentru țevi, oțelurile pentru autovehicule dar și pentru altele. Oțeluri pentru arcuri sunt oțeluri carbon sau slab aliate, având caracteristici mecanice dependente de conținutul de carbon, siliciu și mangan și aplicarea unor tratamente termice. Acestea prezintă o elasticitate îmbunătățită și proprietăți mecanice stabile în timp. Oțelurile pentru rulmenți sunt oțeluri aliate cu crom, prelucrate prin laminare fie la cald, fie la rece, cojite, șlefuite și calibrate. Pentru a îndeplini rolul funcțional, aceste oțeluri trebuie să fie lipsite de defecte macroscopice, iar incluziunile nemetalice să fie cât mai puține și uniform distribuite. Oțelurile pentru prelucrare pe mașini-unelte automate sunt oțeluri moi sau semi-dure, cu un conținut ridicat de sulf (permite obținerea unei așchii mai fragile, ușor detașabile la prelucrarea prin așchiere). Oțelurile pentru construcția cazanelor și a recipientelor sub presiune sunt oțeluri carbon slab aliate și aliate, sub formă de tablă laminată la cald. Oțelurile pentru țevi sunt oțeluri carbon sau oțeluri aliate, laminate plastic la cald în țagle rotunde sau pătrate [23], [1].

Oțelurile convenționale utilizate în construcția autovehiculelor sunt oțeluri de calitate superioară și slab aliate cu crom, nichel sau molibden, și prezintă, după aplicarea unui tratament termic, proprietăți mecanice îmbunătățite. Alte avantaje ce pot fi enumerate sunt: rigiditate bună, comportare bună din punct de vedere al absorbției energiei de impact, remediere facilă a defecțiunilor, posibilitatea reciclării deșeurilor (atât a materialului rezultat în urma reciclării vehiculelor scoase din uz, cât și a celor obținute în procesul de fabricare). Principalul dezavantaj al utilizării oțelurilor în construcția autoturismelor îl constituie greutatea specifică mare,

în comparație cu aluminiul, magneziul, materialele plastice și compozitele cu matrice organică [21].

Oțelurile moderne utilizate în construcția autovehiculelor (fig. 2.3), pot fi clasificate astfel:

- *folosind denumiri comune*: oțeluri cu rezistență scăzută HSS și oțeluri avansate de înaltă rezistență AHSS;
- *în funcție de limita de curgere*: oțelurile cu limita de curgere < 210 MPa (oțeluri convenționale), oțeluri cu limita de curgere cuprinsă între 210 și 550 MPa (oțelurile HSS) și oțeluri cu limita de curgere mai mare de 550 MPa (clasă din care fac parte AHSS și oțelurile de înaltă rezistență UHSS);
- *oțeluri de înaltă rezistență HSIF* și oțeluri de înaltă rezistență cu tratament termic de durificare HSIF-BH;
- *oțeluri avansate de înaltă rezistență AHSS*, obținute prin laminate la rece, galvanizate și normalizate poartă denumire de oțeluri duplex;
- *oțeluri martensitice MART* [24].

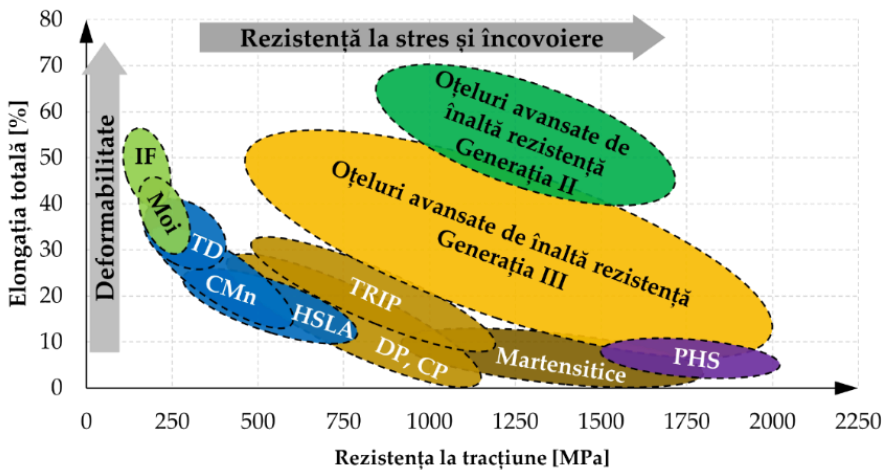


Fig. 2.3. Principalele clase de oțeluri utilizate în industria autovehiculelor [3]

Oțelurile avansate de înaltă rezistență AHSS reprezintă o nouă generație de oțeluri, având o microstructură multifazică (fig. 2.4), având rezistență și deformabilitate ridicate. Dintre aceste tipuri de oțeluri se amintesc: oțelurile bifazice ferito–martensitice DP, oțelurile cu plasticitate indusă de transformare TRIP, oțelurile complexe formate din ferite, bainite, perlite și austenite CP [25].

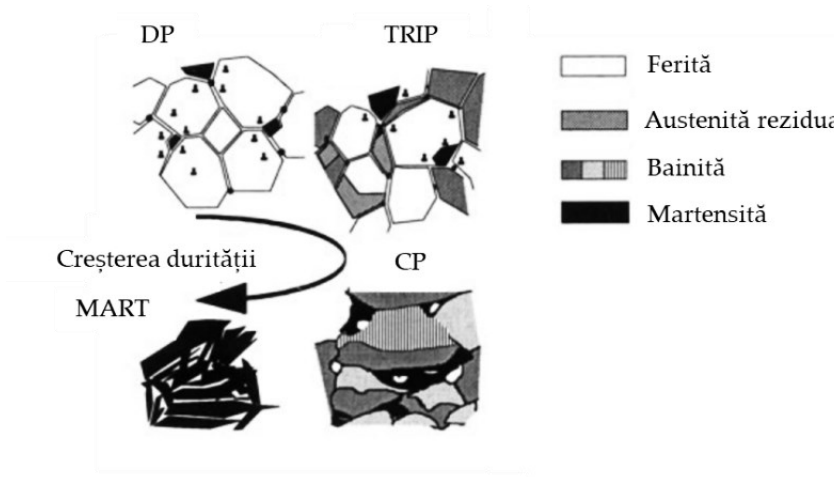


Fig. 2.4. Microstructuri tipice oțelurilor AHSS [25]

În tabelul 2.1 sunt prezentate dimensiunile microstructurilor tipice din oțelurile AHSS.

Tabelul 2.1 Dimensiunile microstructurilor tipice prezente în oțelurile AHSS [24]

| Oțel | Ferita [%] | Martensită [%] | Bainită [%] | Austenită reziduală [%] |
|------|-------------|----------------|-------------|-------------------------|
| DP | 0,80 - 0,85 | 0,15 - 0,20 | - | - |
| TRIP | 0,55 - 0,65 | - | 0,25 - 0,35 | 0,05 - 0,20 |
| CP | 0,05 - 0,10 | 0,05 - 0,10 | 0,80 - 0,90 | - |
| MART | - | 1,0 | - | - |

DP – oțel cu fază dublă, TRIP - Oțel cu plasticitate indusă de transformare, CP - oțel complex, MART - oțel martensitic

Oțelurile bifazice ferito–martensitice DP sunt comercializate de la începutul anilor 1990 și sunt utilizate pe scară largă în sectorul construcțiilor de autovehicule, datorită proprietăților de rezistență, formabilitate și

ductilitate provenite din compoziția micro-structurală particulară constând dintr-o matrice de ferită moale și ductilă care conține insule de martensită (10 – 35 % martensită), ca fază secundară (fig. 2.5) și austenită reziduală (1 – 2 % austenită reziduală), care sunt omogen dispersate. Pentru realizarea acestor microstructuri, oțelurile DP conțin de obicei 0,06 - 0,15 % carbon și 1,5 – 3 % mangan. Ambele elemente stabilizează austenita, iar pentru a întârzia formarea perlitite sau bainitei se adaugă crom și molibden. Pentru a iniția transformarea feritei, se adaugă siliciu, în timp ce pentru rafinarea microstructurii se adaugă vanadiu și niobiu [16], [26].

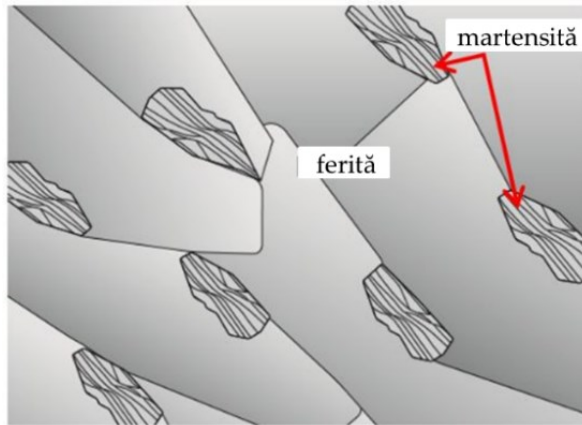


Fig. 2.5 Microstructura oțelurilor bifazice ferito-martensitice DP [27]

Oțelurile DP prezintă o rezistență ridicată la tracțiune (500 - 1200 MPa) și o alungire maximă cuprinsă în intervalul 12 – 34 %, dependentă de compoziția micro-structurală, de dimensiunea granulelor de ferită și a celor de martensită, respectiv de morfologia și distribuția martensitei. Creșterea conținutului de martensită influențează creșterea rezistenței la curgere, dar scade rezistența de rupere la tracțiune. Existența unor zone izolate de martensită în matricea feritică, îmbunătățește proprietățile de rezistență și ductilitatea [26].

Principalele metode de obținere a oțelurilor DP (fig. 2.6), constau în:

- recoacerea structurii ferito-perlitice, urmată de călire (răcire bruscă) în apă (metoda A);

- recoacerea lentă a unei structuri de tip austenită la temperatura de transformare în ferită apoi călire în apă, astfel încât, austenita să se transforme în martensită (metoda B);
- laminarea la cald a oțelului urmată de o primă răcire lentă la temperatura eutectoidă urmată de a doua răcire la o viteză foarte rapidă și, în final, de o răcire lentă (metoda C) [28].

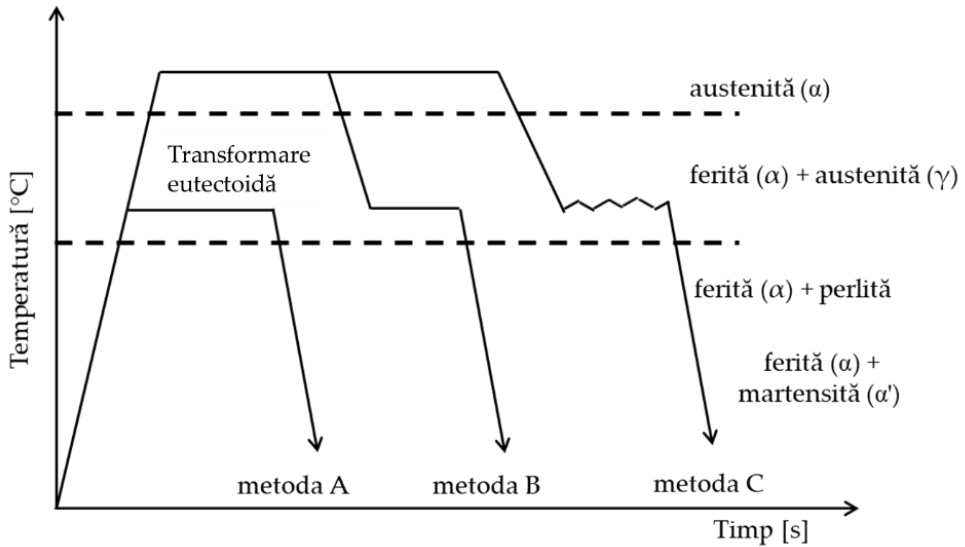


Fig. 2.6 Metodele de obținere a oțelurilor DP [28]

Datorită rezistenței la tracțiune, capacității acestor oțeluri de-a absorbi multă energie în timpul impactului și a ductilității lor, acestea sunt adesea utilizate în industria auto pentru obținerea unor piese cu geometrii complexe, printre acestea numărându-se caroserii (fig. 2.7), roți și bare de protecție, elemente transversale și stâlpi [26].



Fig. 2.7 Caroserie unui autovehicul construită din oțel DP [29]

Oțeluri cu plasticitate indusă de transformare TRIP sunt compuse, din punct de vedere al microstructurii, dintr-o matrice de ferită amestecată cu bainită, martensită și o fracție de austenită reziduală metastabilă cu alte faze (fig. 2.8).

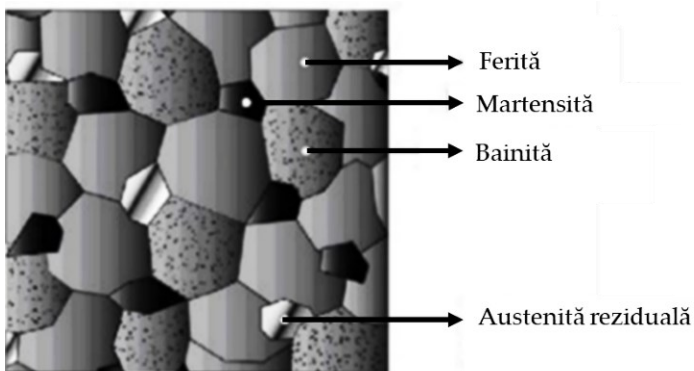


Fig.2.8 Microstructura oțelurilor TRIP [30]

Prima fază este moale, a doua oferă rezistență și duritate, iar ultima, austenita (care în timpul deformării devine martensită), conferă rezistență mecanică ridicată. Datorită, rezistenței mecanice și alungirii ridicate precum și deformabilității excelente, oțelurile TRIP sunt utilizate la fabricarea componentelor structurale pentru autovehicule [20], [31]. Pentru a spori siguranța pasagerilor, calitatea oțelurilor este mereu îmbunătățită, prin aliere [32]. Siliciul inhibă formarea cementitei în timpul transformării bainitice (cantitatea minimă necesară fiind de aproximativ 0,8 %), aluminiul

stabilizează ferita, niobiul scade temperatura de transformare a martensitei, întârzie precipitarea carburilor în timpul transformării bainitei și crește cantitatea de austenită reziduală, iar carbonul îmbunătățește și crește stabilitatea austenitei [23], [33], [34].

Procedeul de obținere a oțelurilor TRIP, prezentat în figura 2.9, constă în:

- încălzirea oțelului în zona austenitică;
- răcirea până în regiunea intercritică urmată de deformarea în această zonă;
- răcirea rapidă până la zona bainitică;
- răcirea bruscă până la temperatura ambiantă, cu menținerea unei compoziții formată din bainită, martensită și o fracție de austenită reziduală [28].

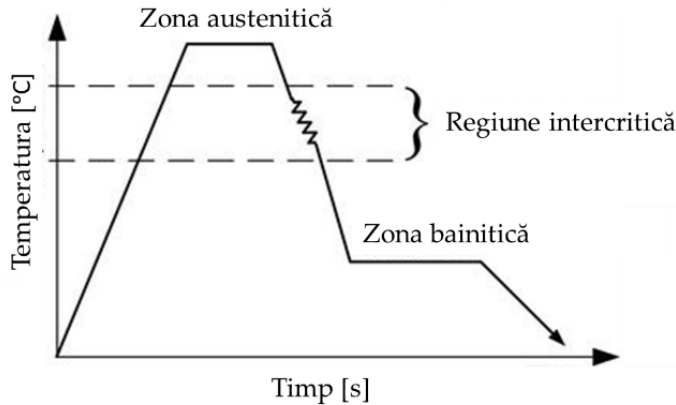


Fig. 2.9 Reprezentarea schematică a obținerii oțelurilor TRIP [28]

Oțelurile TRIP sunt utilizat pentru fabricarea lonjeroanelor, panoului de bord, suport motor, traversă barei de protecție (fig. 2.10) [26], [35].



Fig. 2.10 Armătura stâlpului B și traversa barei de protecție realizată din oțel TRIP [35]

Oțelurile complexe CP conțin concentrații peste 0,15 % carbon și 2 % mangan. Din punct de vedere metalografic acestea prezintă o microstructură formată din ferită și bainită, respectiv cantități mici de perlită, martensită și austenită reziduală. Alierea cu elemente precum titanul, vanadiul și niobiul, împiedică creșterea granulelor în timpul procesării, ceea ce conduce la obținerea unei microstructuri foarte fine [36]. Datorită capacității ridicate a oțelurilor CP de a absorbi energia în timpul unei coliziuni și prelucrabilității prin deformare plastică la rece, aceste oțeluri se regăsesc în mai multe aplicații auto: structura caroseriei (fig. 2.11), suspensii și componentele șasiului [37].



Fig. 2.11 Caroseria unui autovehicul realizată din oțel CP [38]

Oțelurile de înaltă rezistență slab aliate HSLA prezintă în compoziția lor conținuturi reduse de carbon, maxim 1,5 % mangan, elemente de aliere (niobiu, cupru, vanadiu sau titan), elemente de adaos (zirconiu, calciu sau pământuri rare) pentru îmbunătățirea deformabilității sau cupru, siliciu, nichel sau crom pentru creșterea rezistenței la coroziune (tabelul 2.2).

Tabelul 2.2 Compoziția oțelurilor HSLA [39]

| Marca | C (%max) | Mn (%max) | P (%max) | S (%max) | Si (%max) | Obs. |
|-------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--|
| 942X | 0,21 | 1,35 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb |
| 945A | 0,,15 | 1,00 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | |
| 945C | 0,23 | 1,40 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | |
| 945X | 0,22 | 1,35 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb |
| 950A | 0,15 | 1,30 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | |
| 950B | 0,22 | 1,30 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | |
| 950C | 0,25 | 1,60 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | |
| 950D | 0,15 | 1,00 | 0,15 | 0,05 | 0,90 | |
| 950X | 0,23 | 1,35 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb |
| 955X | 0,25 | 1,35 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb și V, barbotat cu N ₂ |
| 960X | 0,26 | 1,45 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb și V, barbotat cu N ₂ |
| 965X | 0,26 | 1,45 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb și V, barbotat cu N ₂ |
| 970X | 0,26 | 1,65 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb și V, barbotat cu N ₂ |
| 980X | 0,26 | 1,65 | 0,04 | 0,05 | 0,90 | tratat cu Nb și V, barbotat cu N ₂ |

Îmbunătățirea deformabilității prezintă interes în industria autovehiculelor. Înlocuind oțelurile cu conținut redus de carbon, cu piese de oțel subțiri în secțiunea transversală (uși, grinzi, șasiuri), se reduce-se masa autovehiculului, fără a periclita elementele de rezistență [39].

2.1.2 Fonte

Definiție

Fontele albe sunt aliaje din carbură de fier (Fe_3C) în care conținutul de carbon este cuprins între 2,11 - 6,67 % carbon. Fontele de turnătorie sunt aliaje fier-carbon ce conțin peste 2,08 % carbon, în compoziție regăsindu-se grafitul liber [1], [20].

Fontele elaborate în practică conțin în compoziție 2,8 – 4 % carbon, precum și alte elemente de bază (siliciu, mangan, fosfor și sulf), elemente însoțitoare (plumb, titan, staniu și staniu) și posibil elemente de aliere (crom, nichel, molibden și cupru). Creșterea conținutului de carbon conduce la creșterea rezistenței și a durității fontelor albe. Pentru fontele de turnătorie, siliciul determină creșterea conținutului de ferită și scăderea celei de perlită, având drept consecință, scăderea rezistenței și a durității, respectiv, creșterea alungirii. Cantitatea de perlită este controlată de adaosul de carbon, perlita conferind caracteristici de rezistență superioare. Creșterea durității și a rezistenței, scădere prelucrabilității, mai ales, în cazul fontelor cenușii, este determinată de elementele însoțitoare [20], [1]. Pentru o vedere de ansamblu asupra fontelor, în figura 2.12 se prezintă schema clasificării fontelor.

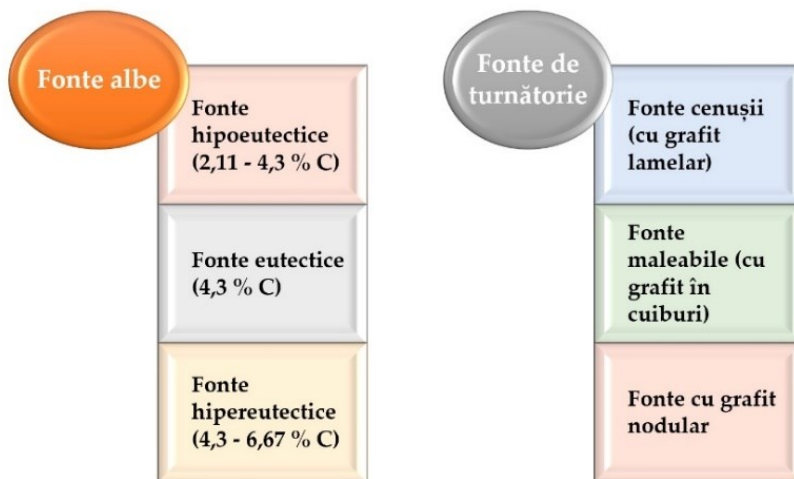


Fig. 2.12 Clasificarea fontelor

În funcție de structura fontelor, proprietățile lor variază în limite largi [40]:

- densitate: $\rho = 7000 \div 7700 \text{ kg/m}^3$;
- rezistență la rupere: $R_m = 100 - 700 \text{ MPa}$;
- alungire relativă: $A = 0,2 \div 25 \%$;
- reziliență (încercare la șoc): $KCU = 0 \div 17 \text{ daJ/cm}^2$;
- duritate Brinell: $HB = 190 \div 320$.

Structura fontei în stare lichidă, compoziția chimică, tratamentul termic aplicat după solidificare sunt factori care influențează caracteristicilor structurale, proprietăților fizico-mecanice, tehnologice și de exploatare ale fontelor [41]. În ceea ce privește prelucrabilitatea fontelor, aceasta este influențată de cantitatea și natura carbonului segregat care conduce la reducerea frecării dintre unealtă și piesă.

Fontele brute (de primă fuziune) sunt fonte care se obțin în furnal, conțin $2,3 \div 5 \%$ grafit, prin reducerea minereurilor de fier cu ajutorul cocsului. Acestea se împart în:

- *fonte brute nealiat* – sunt caracterizate prin faptul că niciunul dintre elementele permanente însoțitoare (siliciu și mangan), nu depășește 5% și sunt utilizate pentru obținerea oțelului în cuptoare Siemens – Martin sau în convertizoare numindu-se în acest caz, fonte de afinare și pentru retopire și turnare în piese;
- *fonte brute aliate* – sunt caracterizate prin faptul că elementele permanente însoțitoare (siliciu și mangan) nu depășește 5% [20].

Fontele albe conțin proporții mici de elemente însoțitoare. Acestea prezintă în structură cementită, fapt ce induce culoarea albă în spărtură și duritatea ridicată ($400 - 600 \text{ HB}$). Aceste fonte sunt fragile, nedeformabile și neprelucrabile prin așchiere; iar datorită acestor proprietăți, se folosesc în stare brută turnată, la fabricarea de piese care trebuie să reziste la uzură [20].

Fontele de turnătorie sunt aliaje industriale care se obțin din fontele brute și sunt destinate turnării în piese. Ele conțin între $2,08 - 3,5 \%$ carbon, precum și proporții relativ mari de elemente însoțitoare, precum: $0,5 - 3,5 \%$ siliciu, $0,3 - 1,5 \%$ mangan, sub $0,15 \%$ sulf și până la 1% fosfor. În funcție de

conținutul elementelor însoțitoare și de condițiile de solidificare, fontele turnate în piese, se clasifică la rândul lor în:

- *fonte cenușii (fonte cu grafit lamelar)* - conțin proporții mari de siliciu (peste 1,5 % siliciu), iar carbonul este prezent, în cea mai mare parte, sub formă de grafit lamelar. Proprietățile fizice și mecanice sunt dependente de microstructura masei de bază și de forma, mărimea și distribuția grafitului. Deoarece, grafitul reduce densitatea masei de bază, fontele cenușii feritice (fig. 2.13) prezintă o densitate cuprinsă între 6600 – 6800 kg/m³, în timp ce cele perlitice de 7200 – 7400 kg/m³. Din punct de vedere al proprietăților mecanice, rezistența mecanică cea mai bună o au fontele cu masă perlitică. Pe de altă parte, prezența grafitului lamelar face ca fontele cenușii să fie casante. Simbolizarea acestora este alcătuită din literele EN-GJ, pentru fontele de turnatorie, urmat de litera L (care semnifică structura lamelară) și de valoarea minimă a rezistenței de rupere la tracțiune.



Fig. 2.13 Microstructura fontelor cenușii feritice [42]

- *fonte maleabile* - se obțin din fonte albe prin aplicarea tratamentului termic de recoacere de maleabilizare. Acest tratament termic se

bazează pe faptul că prin încălzire la temperaturi înalte cementita din fontele albe se descompune pentru a forma grafitul, un constituent stabil. Structura fontelor maleabile se constituie din grafit în cuiburi (fig. 2.14), inclus într-o masă metalică de bază ce diferă în funcție de modul în care se realizează recoacerea. Descompunerea cementitei conduce la obținerea unei fonte cu o masă complet feritică (dacă se descompune cementita liberă sau cementita din perlită). Masa de bază a fontei este complet perlitică dacă se descompune cementita liberă sau cementita din perlită, în timp ce fonta are o masă de bază ferito-perlitică dacă se descompune doar cementita liberă.

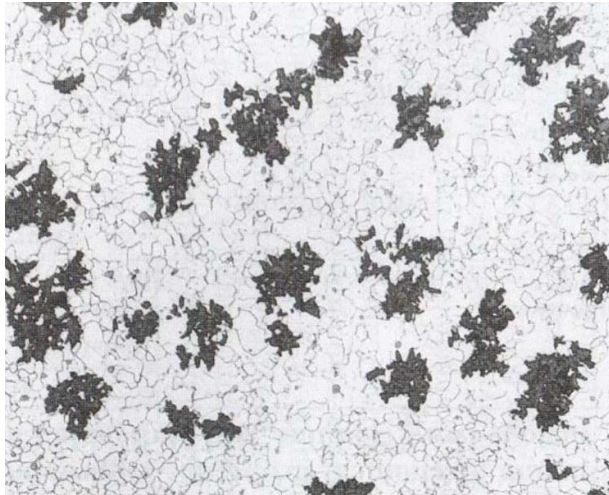


Fig. 2.14 Microstructura fontelor maleabile [42]

- După structura și aspectul rupturii, fontele maleabile se clasifică astfel [20]:
 - *fonte maleabile cu miez alb* – prezintă în ruptură (interior) culoare gri-argintie. Se obțin din fonte albe, prin aplicarea tratamentului termic de maleabilizare la temperaturi cuprinse între 1000 - 1050°C timp de 80 - 120 ore, într-un mediu oxidant. Se simbolizează folosind forma alfanumerică, dintr-un grup de patru litere (GJMW), reprezentând inițialele

denumirii în limba engleză a acestei fonte, urmat de un număr care reprezintă rezistența minimă la tracțiune, exprimată în N/mm^2 și de o cifră ce reprezintă alungirea minimă la rupere, exprimată în % (de exemplu: EN-GJMW-360-12);

→ *fonte maleabile cu miez negru* - prezintă o culoare cenușie neagră (la interior) și se obțin din fonte albe prin aplicarea tratamentului termic de grafitizare, la $950\text{ }^\circ\text{C}$, timp de 50–60 ore, într-un mediu neutru. Simbolizarea se realizează similar cu cea a fontelor cu miez alb, doar că în loc de litera W apare litera B.

- *fonte cu grafit nodular* – se obțin prin modificare cu magneziu sau ceriu în cantitate redusă, care acționează asupra condițiilor de germinare și creștere ulterioară a germenilor de grafit (fig. 2.15). Acestea sunt fontele cu cele mai bune proprietăți de rezistență și plasticitate. Simbolizarea acestora este alcătuită din literele EN-GJ pentru fontele de turnatorie, urmat de litera S care semnifică structura nodulară, valoarea minimă a rezistenței de rupere la tracțiune exprimată în MPa, și alungirea minimă la rupere exprimată în %.

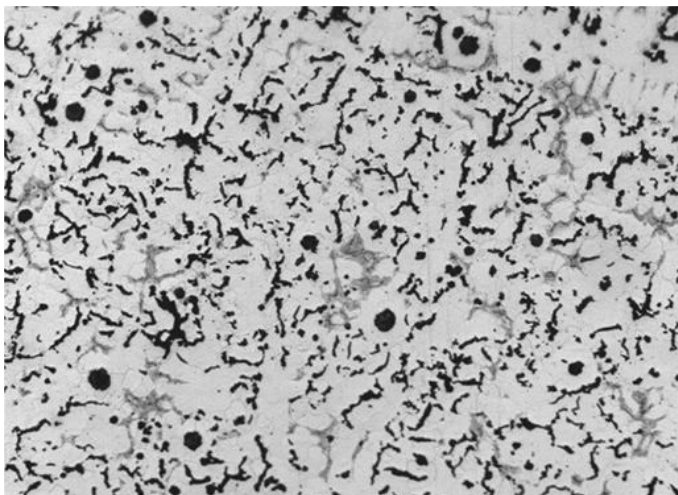


Fig. 2.15 Microstructura fontelor cu grafit nodular [42]

Fontele aliate (speciale) se obțin prin aplicarea unor tratamente termice și prin aliere cu nichel, crom, molibden, mangan etc. Din această categorie fac parte [20]:

- *fontele antifricțiune* – sunt fonte cu grafit lamelar, nodular sau fonte maleabile, aliate cu 7,5 - 12,5 % mangan, titan, aluminiu sau magneziu și se caracterizează printr-un coeficient de frecare scăzut. Din acest motiv, aceste fonte utilizează pentru realizarea lagărelor.
- *fonte rezistente la uzare abrazivă (fontă de fricțiune)* – sunt fonte albe sau înalt aliate cu 1,5 - 28 % crom, nichel, molibden, mangan și/sau siliciu și se caracterizează printr-un coeficient de frecare mare (până la 0,6) și rezistență la uzură ridicată. Se utilizează la fabricarea plăcuțelor discurilor de frânare și a unor piese utilizate în industria minieră, instalații de formare și sablare din turnătorii;
- *fonte refractare* – sunt fonte aliate cu crom, siliciu și aluminiu și se caracterizează prin rezistență la oxidare și stabilitate dimensională la temperaturi ridicate;
- *fonte austenitice* – sunt fonte înalt aliate, cu un conținut de 12 – 36 % nichel, crom și mangan și se caracterizează prin rezistență bună la coroziune și uzură în condiții de lubrifiere (antifricțiune), respectiv rezistență la șoc termic.

Fontele cenușii se utilizează pe scară largă la turnarea de piese cu configurații simple sau complexe. În construcția autovehiculelor, acestea sunt utilizate la batiuri, chiulase de motor (fig. 2.16), rotoare de pompe de apă, carcase dar și altele.

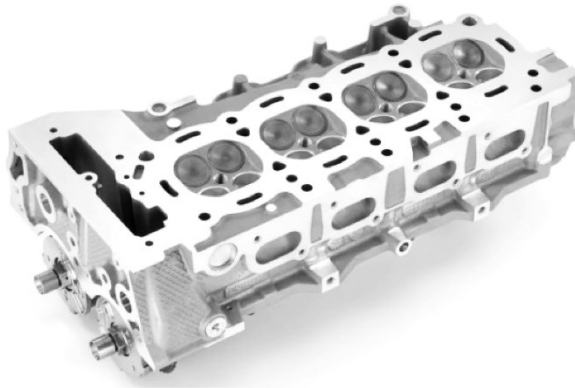


Fig. 2.16 Chiulasă din fontă [43]

Fontele maleabile cu miez negru prezintă aplicații în industria autovehiculelor prin realizarea unor componente precum: discurile de frână (fig. 2.17 a), cutia diferențialului, suportul fuzetelor, roți și coroane dințate (fig 2.17 b), pinioanele, cutia de direcție, pedala de frână sau de ambreiaj, blocul motor dar și altele.



Fig. 2.17 a) disc de frână și b) roți și coroane dințate din fontă [44], [45]

Selecția materialelor pentru fabricarea pieselor mecanismului motor (părți mobile și fixe) se realizează în funcție de solicitările termice și mecanice existente în regimul de funcționare al acestuia [46]:

- piesele rezistente la șoc, oboseală și rupere, cum sunt bolțul, biela și arborele cotit, sunt fabricate din oțeluri aliate sau oțeluri carbon de calitate;

- piesele care necesită rezistență ridicată la uzură și coroziune, conductivitate termică bună, coeficient de dilatare mic (cum sunt pistoanele) sunt realizate adesea din fonte;
- piesele care necesită etanșare și durabilitate (cum sunt segmentii) sunt realizate din fonte cenușii perlitice cu grafit lamelar.

2.2 Aliaje neferoase ușoare

Pentru a reduce impactul asupra mediului, constructorii de autovehicule îmbunătățesc și modifică continuu vehiculele dezvoltate, inclusiv integrarea unor materiale avansate. Ca urmare a progreselor din domeniul științei materialelor, în industria autovehiculelor se utilizează diverse materiale ușoare și de înaltă rezistență. Dintre aceste materiale se amintesc aliajele pe bază de aluminiu, magneziu și titan, care pot înlocui oțelurile tradiționale de calitate superioară sau fontele [47]. Aliajele ușoare sunt considerate aliajele metalice cu densitate mai mică de 4500 kg/m^3 (spre deosebire de oțeluri $\rho = 7500 \div 8000 \text{ kg/m}^3$ și fonte $\rho = 7000 \div 7700 \text{ kg/m}^3$). Utilizarea metalelor ușoare și aliajelor acestora în industria autovehiculelor a înregistrat o creștere substanțială în ultimele decenii, în principal ca urmare a *noilor cerințe criterii pentru alegerea materialelor utilizate în construcția autovehiculelor* (criterii care urmăresc reducerea masei și îmbunătățirea unor proprietăți mecanice, fizice sau chimice). Prin utilizarea materialelor avansate, se urmărește creșterea duratei de exploatare a autovehiculelor și componentelor acestora, ceea ce ar conduce la reducerea deșeurilor de materiale asociate cu vehiculele scoase din uz. De asemenea, se poate reduce cantitatea de materii prime și energia necesară pentru procesarea materialelor și pentru fabricarea componentelor autovehiculelor. Este important însă ca materialele avansate și designul lor să fie adaptate pentru o reciclare eficientă a vehiculelor [47].

Aluminiul se obține la scară industrială prin descompunerea electrolitică a aluminei dizolvată în criolit topit. Proprietăți precum

densitatea mică ($\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$), rezistența la coroziune și conductibilitatea termică bună, au dus la utilizarea acestui material pentru confecționarea de caroserii de autovehicule. Alierea aluminiului cu diferite elemente (cuprul și manganul), are ca scop îmbunătățirea proprietăților de rezistență precum: limita de curgere, rezistența la rupere și duritatea. Dezavantajul principal al alierii este reducerea plasticității și conductibilității electrice. Aliajele pe bază de aluminiu se clasifică în aliaje deformabile prin presare și aliaje de turnătorie [40].

Din clasa de aliaje deformabile prin presare fac parte [1], [40]:

- *aliajele anticorozive*, care sunt aliaje de aluminiu cu mici cantități de mangan și magneziu:
- *aliajele durificabile prin tratament termic* se obțin prin alierea cu elemente care au proprietatea de a forma diferiți compuși (fie cu aluminiu, fie între elementele de aliere) care conferă aliajului duritate mai ridicată. Din punct de vedere practic, cel mai important aliaj este duraluminiu obținut prin alierea aluminiului cu cupru și cantități mici de magneziu sau mangan. Cuprul, magneziul sau manganul se utilizează prin aliere cu aluminiu pentru a crește rezistența la rupere, dar scade rezistența la coroziune a materialului.

Din clasa aliajelor de turnătorie fac parte următoarele [1], [40]:

- *aliaje aluminiu-siliciu* (silumin) care conțin până la 13,5 % siliciu. Deoarece nu se pot durifica prin tratament termic, acestea nu pot fi utilizate ca aliaje binare, ci doar în compoziție cu magneziul și cuprul (se obțin aliaje ternare). Cuprul îmbunătățește rezistența la rupere, limita de curgere și duritatea, în timp ce magneziul crește rezistența mecanică. Proprietățile mecanice se îmbunătățesc prin tratament termic la $510 \text{ }^\circ\text{C}$ și răcire în apă, urmată de îmbătrânirea artificială la $180 \text{ }^\circ\text{C}$;
- *aliaje aluminiu–magneziu* care conțin 12 % magneziu cu scopul de a se obține proprietăți mecanice îmbunătățite: rezistență la coroziune

foarte bună în diverse medii, rezistență mecanică apreciabilă și capacitatea de a se lustrui;

- *aliaje aluminiu-zinc* conțin 12 % zinc. Pentru îmbunătățirea rezistenței la rupere și a alungirii, în compoziție se adaugă magneziu și cupru. Din punct de vedere al proprietăților, aceste aliaje prezintă rezistență foarte bună la coroziune și stabilitate dimensională.

Deși tehnicile de producție a aliajelor pe bază de aluminiu au evoluat, constructorii de autovehicule se confruntă cu provocări legate de costurile asociate cu utilizarea acestor tipuri de materiale, deoarece sunt de două ori mai scumpe decât oțelul [48]. Principalele avantaje ale utilizării aluminiului și aliajelor acestuia în construcția autovehiculelor, sunt: reducerea masei (care contribuie la reducerea emisiilor poluante) și posibilitatea implementării economiei circulare. Implementarea economiei circulare este justificată de posibilitatea recuperării a mai mult de 90 % din aluminiu la momentul scoaterii din uz a autovehiculului și reutilizarea acestuia pentru a crea noi produse. Suplimentar, folosirea aluminiului în autovehicul satisface parțial cerințele consumatorilor privind creșterea securității active (datorită capacității ridicate de absorbție la impact și a reducerii distanțelor de frânare) și respectiv creșterea performanțelor (reducerea consumului de combustibil). Dezavantajul major al acestor aliaje este costul ridicat [28].

Ca urmare a dependenței proprietăților fizico-mecanice ale aliajelor de aluminiu de compoziție, aplicațiile din industria autovehiculelor pentru fiecare tip de aliaj cu aluminiu diferă după cum urmează [48]:

- *aliajele aluminiu-cupru* - prezintă proprietăți excelente chiar și la temperaturi extreme (ridicate sau scăzute), ceea ce le face potrivite pentru confecționare de: pistoane, bile sau amortizoare;
- *aliajele de aluminiu cu magneziu și siliciu* – prezintă prelucrabilitate bună, rezistență ridicată la coroziune putând fi utilizate pentru confecționarea: aripilor auto, a barelor de protecție sau a capotelor.

În figura 2.18 se pot observa elementele de caroserie ale unui autovehicul obținute din aliaje pe bază de aluminiu.

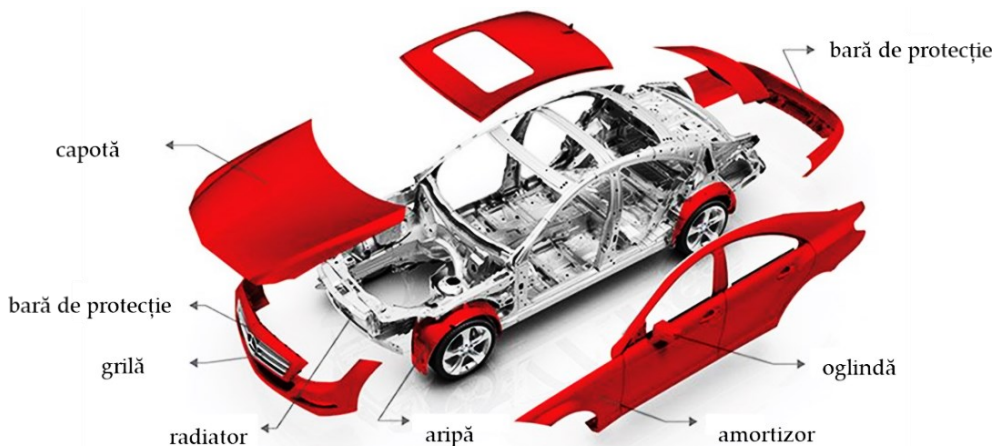


Fig. 2.18 Componente auto obținute din aliaj pe bază de aluminiu [49]

Magneziul este un metal ușor ($\rho = 1738 \text{ kg/m}^3$), de aceea aliajele sale sunt în medie cu 33 % mai ușoare decât cele ale aluminiului, cu 50 % mai ușoare decât titanul și cu 75 % decât oțelurile. Aliajele cu magneziu prezintă însă o serie de dezavantaje legate de proprietățile fizico-chimice, astfel că pentru utilizarea în componentele autovehiculelor (fig. 2.19), proiectarea acestora din urmă necesită o atenție deosebită. Suplimentar, costul ridicat al magneziului și aliajelor sale (costul magneziului este de 3,5 până la 6 ori mai mare decât cel al oțelului și de aproape 3 ori mai mare decât cel al aluminiului), limitează utilizarea pe scară largă [50].

Deoarece magneziu se poate autoaprinde, în anumite condiții (în procesul de prelucrare a aliajelor cu magneziu rezultă șpan și particule fine care oxidează ușor), nu se folosește singur ci aliat cu aluminiu, zinc sau mangan. Chiar și în aceste condiții, se pot obține aliaje ultra-ușoare, cu densitate cuprinsă între 1750 kg/m^3 și 1900 kg/m^3 . Aliajele pe bază de magneziu se clasifică în:

- *aliaje de magneziu deformabile* – conțin aluminiu sau mangan. Pentru a se deforma trebuie încălzite la temperaturi cuprinse între 300 până

la 400 °C;

- *aliaje de magneziu turnate* – conțin 5 ÷ 9 % aluminiu, 1 ÷ 3 % zinc și 0,15 ÷ 0,5 % mangan. Deoarece se formează compuși solubili care precipită prin călire și îmbătrânire, se impune aplicarea tratamentelor termice în vederea obținerii unor proprietăți mecanice îmbunătățite [40].

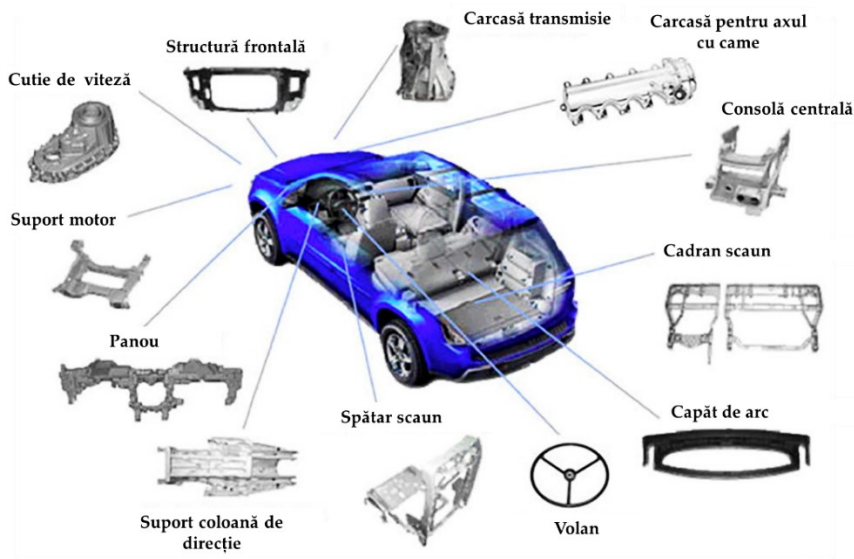


Fig. 2.19 Utilizarea materialelor pe bază de magneziu în industria autovehiculelor [51]

Pentru a mări rezistența la coroziune, aliajele pe bază de magneziu se supun unei oxidări în soluții acide, care le acoperă cu o peliculă galbenă cu rol de protecție [40]. Carterele, pistoanele, galeriile de admisie, distribuitorul pentru pompa de ulei se numără printre componentele din construcția autovehiculelor realizate din magneziu și aliajele sale [52].

Titanul are o densitate scăzută (aproximativ 4500 kg/m³), fiind cu aproximativ 40 % mai ușor decât oțelul. Datorită rezistenței ridicate, rezistenței excelente la coroziune și la oxidare, respectiv capacității excelente de absorbție a energiei, acest material corespunde cerințelor stricte impuse materialelor utilizate în construcția autovehiculelor. Având în vedere că unele aliaje de aluminiu și magneziu prezintă o rezistență inferioară la

temperaturi ridicate, aliajele de titan devin alternative competitive pentru îndeplinirea obiectivelor de reducere a masei autovehiculelor și îmbunătățire funcțională a materialelor. Titanul și aliajele sale alfa sunt, de obicei, folosite la țevi sau tobe de eșapament datorită formabilității la rece. În schimb, aliajele pe bază de titan beta sunt utilizate pentru fabricarea arcurile de suspensie și a supapelor, deoarece posedă un modul de elasticitate scăzut, comportament excepțional la oboseală și rezistență ridicată. Spre deosebire de un arc de suspensie realizat din oțel convențional, cel din titan poate realiza o reducere cu 60 –70 % a masei și, cu 50 – 80 % a, înălțimii libere a arcului [48]. Alte componente ce pot fi fabricate pe bază de aliaje de titan sunt biețele sau rotorul turbocompresorului [53], [54]. În figura 2.20 se prezintă exemple de piese realizate din titan și aliajele acestuia: bielă, supape de admisie și evacuare, inele de etanșare și șurub de jantă [53]. Principalul dezavantaj al utilizării titanului și aliajelor sale este prețul ridicat (de 20 de ori mai mare decât aluminiul), motiv pentru care este limitată utilizarea sa în autovehicule.



Fra 2.20 Exemple de utilizare a titanul și a aliajelor acestuia sub formă de: bielă, supape de admisie și evacuare, inele de etanșare și șurub de jantă [53]

3 Materiale polimerice

Definiție

Materialele plastice (MP) sunt materiale constituite din polimeri de natură organică cu masă moleculară mare (macromolecule), a căror prelucrare sub formă de produse finite se realizează la temperaturi la care acestea devin plastice [1], [2].

Structura unui polimer se obține prin repetarea unor unități structurale, grupări de atomi, ce poartă denumirea de meri. MP folosite în practică sunt constituite din polimeri (mase plastice, rășini, cauciucuri, fibre sintetice) și aditivi (materiale de umplură, plastifianți, antioxidanți, pigmenti, stabilizatori) utilizați cu scopul de a conferii proprietăți diferite.

Materialele utilizate în construcția autovehiculelor au cunoscut îmbunătățiri continue și ponderea acestora s-a modificat în favoarea celor ce impun tehnologii mai avansate, care au condus la realizarea de piese mai ușoare, durabile, confortabile, mai ieftine și cu posibilități superioare de reciclare. În medie, din masa totală a unui autovehicul, ponderea maselor plastice a crescut în ultimii 30 de ani de 5 - 6 ori (fig. 3.1). Mai precis, din masa totală a unui autovehicul, procentul de materiale plastice a crescut continuu de la 6 % în anul 1970, la 16 % în 2010, ajungând la 18 % în 2020 [21], [3], [55].

Materialele polimerice sunt alcătuite din componenți de bază (polimeri naturali sau sintetici) amestecați în diferite proporții cu componenți de adaos. Conținutul procentual al componenților amestecului variază uzual în limitele: polimeri 30 ÷ 60 %, umplură 35 ÷ 65 %, lubrifianți 1 ÷ 2 %, coloranți 1 ÷ 1,5 %, plastifianți, stabilizatori și alți componenți < 2 %. Materialele polimerice, având rol de componenți de bază, pot fi **polimerii sintetici**, care se obțin prin polimerizare, policondensare sau poliadiție, sau **polimerii naturali**, care sunt componenți ai cauciucului natural, rășinilor naturale, compușilor proteici și celulozici [56], [57].

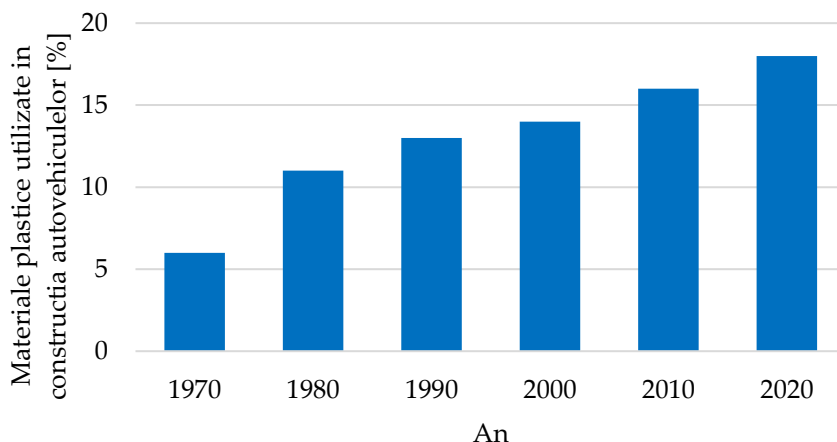


Fig. 3.1 Evoluția ponderii în timp a MP utilizate în construcția autovehiculelor [adaptat după [55]]

Materialele de umplură și armare sunt substanțe chimice simple sau compuse, de natură minerală, vegetală sau animală, utilizate în scopul modificării unor proprietăți ale polimerilor în care se încorporează. Cele mai utilizate materiale de umplură sunt fibrele (fibrele de sticlă, naylon, bumbac) prin care se îmbunătățesc rezistența la tracțiune, sau aluminiu, negru de fum, grafitul prin care se îmbunătățește conductivitatea termică sau caolinul, carbonații, talcul prin care se îmbunătățește stabilitatea. *Plastifianții* sunt substanțe care îmbunătățesc proprietățile elastice și plastice. *Stabilizatorii* sunt substanțe care adăugate polimerului au rolul de a atenua sau de a elimina reacțiile de degradare termică, oxidativă, fotochimică, în timpul prelucrării, utilizării sau depozitării sub acțiunea căldurii, radiației solare, oxigenului sau intemperiei. *Coloranții și pigmenții* conferă efectul cromatic dorit și aspectul corespunzător produsului [56], [57].

În funcție de modificările pe care MP le suferă în timpul formării la cald prin presare, injecție, extrudare, respectiv din punctul de vedere al proprietăților termomecanice, acestea se clasifică în termoplaste, elastomeri și duromeri (fig. 3.2) [58].

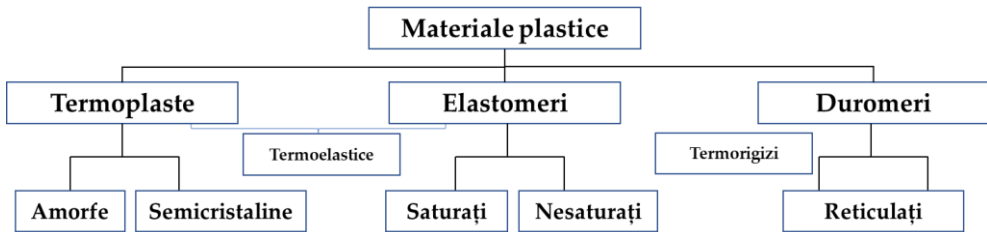


Fig. 3.2 Clasificarea materialelor plastice [adaptat după [58]]

3.1 Termoplaste

Definiție

Materialele termoplaste sunt materiale polimerice ce trec în stare vâscoasă la cald, deci prin încălzire se pot înmuia/topi, datorită catenelor liniare și/sau a lanțurilor laterale [1].

Din cauza dimensiunilor neunitare ale moleculelor – amorfe (fig. 3.3a) sau semi-cristaline (fig. 3.3b) – termoplastele nu au un anumit punct de topire, ci un interval de topire, în cadrul căruia ele devin mai întâi plastice, pentru ca la temperaturi și mai ridicate să treacă într-o topitură mai mult sau mai puțin vâscoasă, astfel că se caracterizează prin temperatura de vitrifiere și domeniul de vitrifiere (domeniul de tranziție sticloasă). Sub această temperatură, materialul este sticos, dur și fragil din cauza faptului că la temperaturi mai mici decât cea de vitrifiere, moleculele devin rigide. Deasupra acestei temperaturi, diferite segmente ale moleculei (nu și molecula în întregime) pot efectua deplasări, astfel încât ghemurile se destind și materialul devine flexibil și își pierde fragilitatea (domeniul înalt -elastic). Termoplastele se pot procesa ușor prin topire și presare în formă (formare prin injecție). După răcire, ele își păstrează configurația geometrică dorită [2].

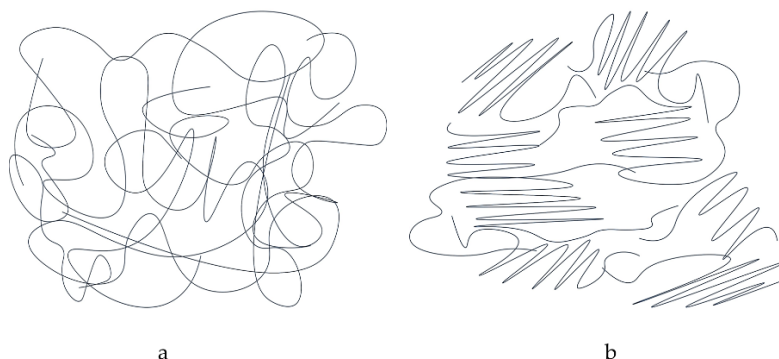


Fig. 3.3 Structura amorfă (ghem static) a) și semi-cristalină b) a termoplastelor [59]

Din punct de vedere al proprietăților mecanice, termoplastele prezintă un comportament viscoelastic și viscoplastic excepțional, tocmai datorită proceselor reversibile la care pot fi supuse – prin încălzire se topesc, iar prin răcire, devin rigide. Acest comportament, descris prin modulul dinamic de forfecare (ce reprezintă rezistența materialelor la deformare sub acțiunea forțelor tangențiale sau de forfecare) este direct dependent de temperatură (așa cum reiese din fig. 3.4), gradul de cristalinitate, cât și de timpul de procesare și deformare [58].

În cazul termoplastelor amorphe și cristaline, în zona I din figura 3.4, materialele prezintă o stare sticloasă (vitroasă) caracterizată de deformații elastice foarte mici care scad aproape liniar cu temperatura. Aceasta stare se menține până la domeniul de vitrifiere, T_v . În zona II, comportamentul celor două tipuri de materiale termoplaste se modifică considerabil datorită structurii. În cazul termoplastelor amorphe, de la temperatura de vitrifiere la temperatura de topire, T_t , (zona IIa) comportamentul materialului plastic amorf este dat de starea înalt-elastică unde deformațiile cresc rapid, astfel că rezistența la acțiunea forțelor exterioare scade considerabil la început după care, rămân constante până aproape de temperatura de cristalizare, T_c . În acest domeniu, termoplastul amorf dezvoltă deformații mari, reversibile, iar în zona IIb, termoplastul amorf trece într-o stare viscoelastică, caracterizată prin apariția deformațiilor ireversibile. Pentru termoplastul semi-cristalin,

zona de tranziție de la temperatura de vitrifiere la temperatura de cristalizare este marcată de trecerea de la stare semi-cristalină solidă la starea lichidă. Deci, polimerii cristalini sau semi-cristalini au o temperatură de topire mai bine definită față de materialele amorfe. Prelucrarea materialelor plastice este dependentă de starea lor fizică, astfel încât un anumit procedeu de prelucrare poate fi aplicat numai într-un anumit interval de temperatură [58].

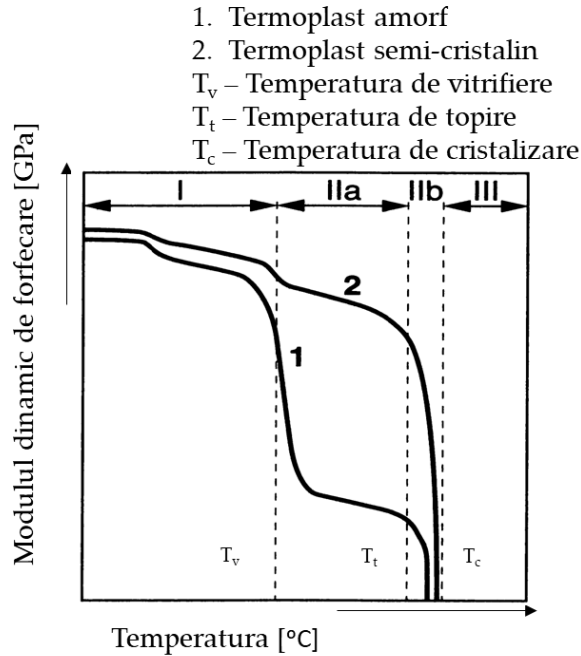


Fig. 3.4 Variația modulului dinamic de forfecare cu temperatura [58]

Termoplastele amorse cele mai răspândite sunt copolimerul acrilonitril–butadienă–stiren (ABS), policarbonatul (PC), polimetacrilatul de metil (PMMA), policlorura de vinil (PVC) și polistirenul (PS), iar cele semi-cristaline sunt poliamidele (PA), polietilena (PE), polipropilena (PP), polietilen tereftalatul (PET) și politetrafluoroetilena (PTFE).

Principalele proprietăți mecanice, precum: modulul de elasticitate, rezistența la tracțiune, elongația sau rezistența la rupere și domeniul de temperatura vitroasă sunt prezentate în tabelul 3.1 [58].

Tabelul 3.1 Principalele proprietăți mecanice ale termoplastelor [58]

| Denumire termoplast | Modulul de elasticitate [N/mm ²] | Rezistența la tracțiune [N/mm ²] | Elongația sau alungirea la rupere [%] | Domeniul de temperatura vitroasă [°C] |
|---------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| ABS | 1300 - 2700 | 32 - 45 | 15 - 30 | 80 - 110 |
| PC | 2100 - 2400 | 56 - 67 | 100 - 130 | 150 |
| PMMA | 1600 - 3600 | 50 - 77 | 2 - 10 | 110 |
| PVC | 2000 - 3000 | 50 - 60 | 10 - 50 | 80 |
| PS | 3200 - 3250 | 45 - 65 | 3 - 4 | 95 - 100 |
| PA 6 | 3000 | 85 | 4,5 | 60 |
| PA 6-GF30 | 9500 | 185 | 3,5 | 60 |
| PA 11 | 1370 | 42 | 5 | 49 |
| PA 11-GF30 | 7300 | 134 | 6 | 49 |
| PA 12 | 1600 | 50 | 5 | 49 |
| PA 12-GF30 | 8000 | 130 | 6 | 49 |
| PA 66 | 300 | 85 | 4,4 | 70 |
| PA 66-GF30 | 10000 | 190 | 3 | 70 |
| PE | 200 - 500 | 8 - 23 | 300 - 1000 | -30 |
| PP | 1100 - 1300 | 30 | 20 - 800 | -10 - 0 |
| PET | 2800 | 80 | 4 | 98 |
| PFTE | 408 | 25 - 36 | 350 - 520 | 127 |

Proprietățile chimice, stabilitatea și durabilitatea în diferite medii a termoplastelor depind de structura macromoleculilor. Acest lucru este crucial atunci când materialele termoplastice sunt utilizate în medii în care pot intra în contact cu diverse substanțe chimice. Majoritatea materialelor termoplastice sunt rezistente la acizi, alcali și solvenți, dar structura chimică a fiecărui termoplast contribuie la rezistența sa chimică unică. Cu toate acestea, anumite materiale termoplastice se pot degrada sau umfla atunci când sunt expuse la anumite substanțe chimice (tabelul 3.2). Acest comportament subliniază importanța înțelegerii proprietăților chimice ale materialelor termoplastice atunci când se selectează unul pentru o anumită aplicație [58].

Tabelul 3.2 Rezistența chimică a termoplastelor în diferite fluide [58]

| Denumire termoplast | Benzină | Benzen | Motorină | Alcool | Uleiuri minerale | Lichide de frână |
|---------------------|---------|--------|----------|--------|------------------|------------------|
| ABS | + | - | + | + | + | - |
| PC | + | - | ° | ° | + | n/s |
| PMMA | + | ° | + | - | + | n/s |
| PVC | - | - | ° | - | ° | n/s |
| PS | - | - | ° | + | ° | - |
| PP | ° | ° | + | + | + | n/s |
| PA 6 | + | + | + | + | + | + / ° |
| PA 6-GF30 | + | + | + | + | + | + / ° |
| PA 11 | + | + | + | + | + | + |
| PA 12 | + | + | + | + | + | n/s |
| PA 66 | + | + | + | + | + | + / ° |
| PA 66-GF30 | + | ° | + | + | + | + |
| PE | ° | ° | + | + | + | n/s |
| PP | ° | ° | + | + | + | n/s |
| PET | + | + | + | + | + | n/s |
| PFTE | + | + | + | + | + | n/s |

+ rezistență chimică ridicată, ° rezistență chimică limitată, - fără rezistență chimică, n/s nu este specificat

Acrilonitril-butadiena-stirenul (ABS) este un grup de copolimeri amorfi, produs prin emulsie sau prin polimerizarea în masă a acrilonitrilului cu stirenul în prezența polibutadienei. Monomerul de stiren ajută la procesabilitatea ABS-ului, iar acrilonitrilul îi oferă rigiditate, rezistență termică și chimică. Butadiena, crește suplimentar duritatea și rezistența produsului chiar și la temperaturi scăzute. În general, ABS-ul poate fi folosit în intervalul de temperaturi de la -20 °C la +80 °C. Din punct de vedere al proprietăților chimice, ABS-ul este rezistent la acizi slabi, baze, acizi hidroclorici și fosforici concentrați, alcoolii și uleiuri, dar este atacat de acizi sulfurici și azotici concentrați și este solubil în esteri, cetone, diclorură de

etilenă sau acetonă. ABS-ul poate fi procesat prin injecție sau extrudare, se poate lipi cu adezivi, se poate decora cu lacuri, sau poate fi acoperit galvanic cu metale. Utilizările ABS-ului sunt:

- *la interior* (stabilitatea dimensională, aspectul suprafeței, rezistența termică și la șoc sunt importante pentru componentele din interiorul autovehiculului): console, torpedouri, componente al sistemului de climatizare, carcase ale sistemului audio, etc.;
- *la exterior*: grile de radiator, capace de roți, carcase de oglinzi sau blocuri optice de semnalizare spate [57], [60].

Compozitele pe bază de ABS care îmbunătățesc comportamentul termic și/sau la șoc (ABS/PC, ABS/PET, ABS/polisulfonă, ABS/poliuretan etc.) au marcat dezvoltarea acestui tip de material. Aliajul ABS/PC este utilizat pentru realizarea unor multitudini de repere auto precum: tablouri de bord, cochilă volan, capac jante (fig. 3.5), bloc lumini, console, grile dar și altele [57], [60].



Fig. 3.5 Capac jante din ABS [61]

Policarbonatul (PC) este un poliester al acidului carbonic obținut prin policondensarea fosgenului în soluție organică în prezență de bisfenol.

PC prezintă o plajă largă de temperaturi de utilizare (de la $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ la $+135\text{ }^{\circ}\text{C}$) și se remarcă prin calități deosebite precum: rezistență mecanică și reziliență ridicată, rezistență la deformarea la cald (se înmoaie doar la temperaturi mai mari de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$), stabilitate dimensională, transparență (utilizare și pentru proprietăți optice), dar și stabilitate la agenți atmosferici. Rezistența PC-ului la agenți chimici este limitată, mai ales față de baze tari în soluție apoasă, amoniac, amine, esteri și față de acțiunea îndelungată a apei fierbinți (datorită hidrolizei legăturilor esterice). La automobile se folosesc la realizarea de elemente decorative ale tabloului bord și la realizarea de faruri monobloc (fig. 3.6) [57], [2].

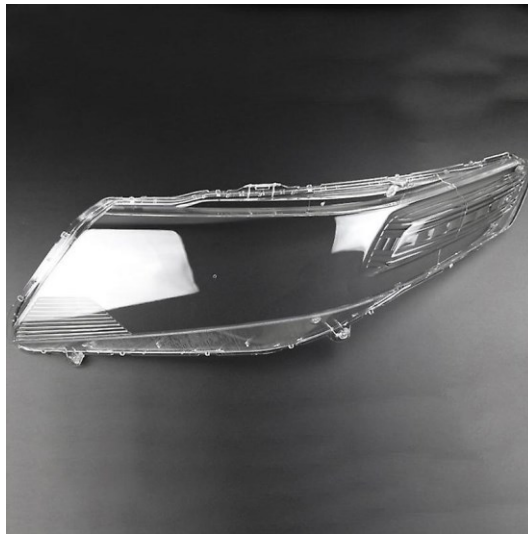


Fig. 3.6 Faruri monobloc din PC [62]

Polimetacrilatul de metil (PMMA) este denumit și plexiglas și se formează prin polimerizarea radicalică a metacrilatului de metil. PMMA se distinge printr-o rezistență mecanică foarte înaltă și o transparență optică neobișnuită (plexiglas). Suplimentar, rezistența sa în condiții de mediu exterior este excelentă. PMMA este rezistent față de majoritatea soluțiilor apoase anorganice, dar un contact prelungit cu alcooli concentrați, hidrocarburi aromatice și derivați clorurați poate înmuia sau dizolva polimerul. Prelucrarea se poate face prin injectare și este folosit ca înlocuitor

al sticlei la confecționarea lunete și geamuri laterale (fig. 3.7) (nu pentru parbrize frontale, din cauza rezistenței reduse la zgâriere) [2].



Fig. 3.7 Geam lateral din PMMA [63]

Policlorura de vinil (PVC) se folosește în variantele PVC dură (PVC-U) și moale (PVC-P). Cea din urmă se fabrică prin adăugare de plastifianți precum esteri ai acidului ftalic. PVC-ul se obține prin polimerizarea radicalică a monomerului de clorură de vinil. PVC este cel mai versatil dintre toate materialele plastice datorită capacității sale de a se amesteca cu plastifianți, stabilizatori și diferiți alți aditivi. Acestea prezintă o rezistență bună față de reactivii chimici, este extrem de rezistentă față de uleiuri și are o permeabilitate foarte scăzută față de majoritatea gazelor. Se poate prelucra prin formare prin injecție, extrudare și calandrare și se utilizează la realizarea de piese de ornamentație interioară și exterioară, îmbrăcăminte cabluri, tuburi de protecție, piese ranforsate, cotiere, la țesături impregnate (piele sintetică) (fig. 3.8) și altele [2], [60].



Fig. 3.8 Piele sintetică din PVC [64]

Polistirenul (PS) standard se obține prin polimerizarea radicalică a stirenului, dar în funcție de reacția de copolimerizare se poate fabrica polistiren expandat (EPS), polistiren antișoc (SB, HIPS), copolimer acrilonitril–butadienă–stiren (ABS) și copolimer stiren-acrilonitril (SAN). Variantele de PS se deosebesc prin proprietățile lor fizice, chimice și se aleg în funcție de domeniul de aplicare. În general, PS-ul este transparent dacă nu se adaugă coloranți și pigmenți ca materiale de umplură, rigid, se înmoaie în jur de 100 °C, este rezistent la acizi și baze, se dizolvă în unele hidrocarburi aromatice și solvenți clorurați. PS are o rezistență scăzută la șoc, care se poate corecta prin amestecare cu cauciuc sintetic polibutadienic sau butadien-stiren (polistiren antișoc). Din polistiren se execută diferite piese auto precum: roți de acționare, volane, armătură bară de protecție (fig.3.9), carcase și bușe de ghidare [56].



Fig. 3.9 Armătură bară de protecție din PS [65]

Poliamidele (PA) sunt substanțe macromoleculare care conțin în catenă grupe amidice ($-\text{CO}-\text{NH}-$) cuprinse între resturi de hidrocarbură, de obicei cu cel puțin 4 grupări ($-\text{CH}_2-$) și se obțin prin policondensare. Clasificarea tipică a poliamidelor este bazată pe numărul de atomi de carbon ai fiecărei amine, urmată de numărul de atomi de carbon al acidului. Din această clasă fac parte:

- PA 6 (perlon, nylon 6) se obține din acidul ϵ aminocapronic sau din caprolactamă;
- PA 66 (nylon 66) se obține prin policondensare din acid adipic și hexametilendiamină;
- PA 11 se obține pe bază de acid ω aminoundecanoic;
- PA 12 se formează analog cu PA 6.

Caracteristicile care le fac utile pentru fabricarea de piese auto sunt: rezistență mare la abraziune, coeficient mic de fricțiune, rezistență bună la șoc repetat și rezistență relativ bună la agenți chimici. În schimb, dezavantajele raportate la proprietățile acestora constau în sensibilitate și absorbție mare la apă (la unele tipuri ajungând până la 10 % absorbție de apă, ceea ce influențează comportarea pieselor). Absorbția poliamidei pentru apă, alcool și unii dizolvanți descrește în ordinea PA tip 6, 66, 11 și 12. Pentru asigurarea unor proprietăți tehnice la polimeri menționați, se adaugă aditivi, agenți de ranforsare, materiale de lubrifiere (grafit, MoS_2 , PTFE). Poliamidele se pot prelucra prin compresie, injecție, extrudare, suflare, turnare,

sinterizare, acoperiri pulberi, termoformare. Se pot lipi cu soluții apoase de fenol (12 % apă). Poliamidele sunt utilizate pentru realizarea de:

- piese din compartimentul motor cu condiții de rezistență la temperaturi relativ ridicate și fluide: bazine de radiatoare, capace de culbutori, întinzătoare de lanț, ansamble tubulaturi de admisie, conductele de combustibil (fig. 3.10) (PA 66 ranforsată cu fibre de sticlă);
- piese de exterior: ornamente roți, mânere;
- piese de interior: manivele, mânere, mecanisme scaune.

Piesele care necesită lubrifiere, cum ar fi componentele mecanismului de comandă al cutiilor de viteză, sunt construite folosind sortimente de PA cu talc sau grafit [57], [2], [60].



Fig. 3.10 Conducte combustibil din PA [66]

Polietilena (PE) se obține prin polimerizarea radicalică a etenei, iar în funcție de procedeul de fabricare, macromolecule filiforme sunt mai mult sau mai puțin ramificate, rezultând densități diferite - cu cât sunt mai ramificate moleculele, cu atât scade densitatea. Principalele sortimente de PE sunt:

- polietilenă de (foarte) joasă densitate (LDPE), $\rho = 0,880-0,910 \text{ g/cm}^3$;
- polietilenă de înaltă densitate (HDPE), $\rho > 0,940 \text{ g/cm}^3$;
- polietilenă de densitate medie (MDPE), $\rho = 0,926-0,939 \text{ g/cm}^3$;
- polietilenă liniară de joasă densitate (LLDPE), $\rho = 0,910-0,925 \text{ g/cm}^3$;

- polietilenă reticulată de înaltă densitate (XLPE), $\rho = 0,941-0,965 \text{ g/cm}^3$ [2].

Creșterea densității conduce la creșterea durității, dar scade capacitatea materialului plastic de a permite difuzia gazelor sau lichidelor. PE nu se dizolvă în solvenții obișnuiți la temperatura camerei, dar unii solvenți precum hidrocarburile, pot produce o înmuiere sau umflare a materialului, de obicei, reversibilă. Alegerea unei variante de polietilenă sau a alteia depinde de scopul în care se va folosi materialul plastic. În aplicațiile auto, se utilizează, aproape exclusiv HDPE, pentru că este ieftină, prezintă o bună rezistență chimică și rezistență la impact respectiv are o rigiditate ridicată. Utilizările cele mai uzuale sunt conductele de admisie a combustibilului și rezervoarele de combustibil (fig. 3.11), care sunt produse prin turnare sau prin suflare din HDPE cu masă moleculară mare. Contrariștile de protecție ale roților sunt o aplicație suplimentară frecventă la autovehicule [2], [67].

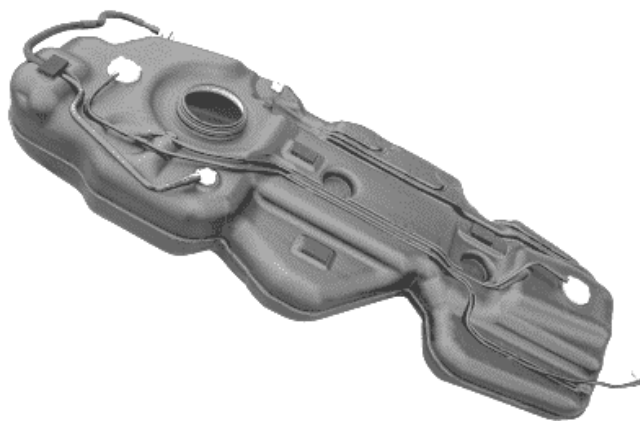


Fig. 3.11 Rezervor combustibil din HDPE [68]

Polipropilena (PP) este produsă prin polimerizarea radicalică a etilenei. Are trei forme structurale diferite: izotactică (atunci când grupările CH_3 sunt plasate de aceeași parte a lanțului principal hidrocarbonat), sindotactică (atunci când grupările CH_3 sunt plasate de o parte și de alta a catenei principale, alternativ și regulat) și atactică (are o configurație complet

neregulată de unde rezultă și unele proprietăți diferențiate). PP este un material plastic ce prezintă proprietăți mecanice bune, rezistență la temperatură, rezistență la abraziune și fisurare și inerție chimică mare. Copolimerizarea cu etilena crește rezistența la șoc. Barele parașoc (fig. 3.12) și panourile laterale sunt realizate din PP. De asemenea, PP se utilizează, sub capotă, pentru conducte de încălzire și climatizare, iar în habitacul, pentru cutii de acte, elemente pentru tabloul de bord, suporturi pentru scaune și inserții pentru îmbrăcăminte portbagaj [57].



Fig. 3.12 Bare parașoc din PP [69]

Polieten tereftalat (PET) și **polibutilen tereftalat (PBT)** sunt poliesterii saturați liniari ce se formează prin reacția dintre acidului tereftalic cu etilenglicol și butandiol. Sunt materiale plastice parțial cristaline ce prezintă proprietăți mecanice bune și tendințe de a absorbi apă, sunt stabile față de grăsimi și uleiuri, dar instabile față de acizi și baze tari. PBT este cel mai frecvent folosit în armarea cu fibre de sticlă. Prin armarea cu fibră de sticlă, modulul de elasticitate și stabilitatea dimensională a PBT, la temperaturi ridicate, sunt îmbunătățite. Cu toate acestea, temperatura de tranziție vitrosă a PBT (70 - 80 °C) este semnificativ mai mică decât cea a PET. Datorită proprietăților sale excepționale ca izolator electric, PBT este cel mai frecvent folosit în fabricarea de conectori electrici, siguranțe auto, cutii de rele (fig. 3.13) și mânerul portierelor [2], [67].



Fig. 3.13 Cutie de rele din PBT [70]

Politetrafluoroetilena (PTFE), denumit și Teflon, este un material plastic înalt cristalizat (cu un grad de cristalizare până la 97 %) ce se obține prin polimerizarea radicalică a tetrafluoroetenei. Temperatura de înmuiere a PTFE este extrem de ridicată pentru un termoplast (peste 320 °C). La rândul său, temperatura de descompunere este mai mare de 400 °C deoarece atomii de fluor protejează legăturile C–C. De aceea, PTFE prezintă rezistență chimică ridicată la temperaturi ridicate și la temperaturi scăzute (-250 °C ÷ +260 °C), coeficient de fricțiune mic ($\mu = 0,05 \div 0,30$), rezistență bună la abraziune și o densitate de 2,16 g/cm³. La automobile se utilizează fie ca acoperiri/vopsea pentru caroserie și la realizarea de piese de etanșare (fig. 3.14), respectiv în calitate de component în produse speciale de lubrifiere [2], [57].



Fig. 3.14 Semeringuri casete de direcție din PTFE [71]

3.2 Elastomeri

Definiție

Elastomerii sunt materiale polimerice ce pot fi deformate elastic atunci când se aplică o forță și pot reveni la forma inițială după ce acțiunea forței a încetat deoarece prezintă legături transversale slabe [1].

Elastomerii sunt materiale plastice care sunt capabile să se extindă la o lungime egală cu de două ori lungimea lor originală, la temperatura camerei. După ce forța încetează, materialele revin la dimensiunile lor inițiale într-o perioadă de timp similară cu cea a extensiei, cu o diferență maximă de 10 %, deci își recapătă forma inițială [56], [57].

Există trei tipuri de elastomerii: cauciucurile (elastomerii vulcanizați), elastomerii termorigizi și elastomerii termoplastici.

Cauciucul este o clasă de compuși macromoleculari cu catene lungi, liniare și flexibile. Când se vulcanizează (proces definit în cele ce urmează), devine practic insolubil și infuzibil, ceea ce înseamnă că nu poate fi prelucrat la cald.

Elastomerii termoplastici sunt o categorie de materiale plastice care combină avantajele elastomerilor vulcanizați, cunoscuți și sub numele de *cauciuc*, cu caracteristicile de prelucrare ale termoplastelor. La temperatura obișnuită, aceștia se comportă precum elastomerii vulcanizați.

Elastomerii termorigizi se obțin prin reacții chimice pe monomer, nu prezintă stabilitatea chimică precum *elastomerii vulcanizați*. Din această categorie fac parte elastomerii siliconici, deși unele produse au caracteristici similare cu cele ale cauciucurilor vulcanizate și poliuretanii.

Vulcanizarea este un procedeu fizico-chimic prin care amestecul de cauciuc brut (natural sau sintetic), în prezența compușilor cu sulf, creează legături covalente transversale între lanțurile macromoleculilor (reacție de reticulare), formând o rețea tridimensională. Prin acest procedeu, cauciucul brut este trecut din stare plastică care se deformează ireversibil, în cea

elastică, deformabilă complet reversibil [2], [72]. Elastomerii vulcanizați sunt clasificați în cauciuc natural și cauciuc (elastomeri) sintetici.

Cauciucul natural rezultă din latexul arborelui de cauciuc (fig. 3.15) *Hevea Brasiliensis*, originar din bazinul Amazonului și implantat în Asia de Sud Est (Malaesia, Indonesia, Thailanda etc.) și, în ultimii ani, în Africa (Liberia, Nigeria, Zair, Camerun, Coasta de Fildes). Latexul este obținut prin crearea în coaja copacului, a unui canal în spirală și colectarea lichidului care se scurge timp de 4-5 ore. Compoziția latexului este: 25 ÷ 40% cauciuc, 52 ÷ 70% apă, 1,5 ÷ 2,8% proteine, 1,0 ÷ 2,7% extract acetonice, 0,5 ÷ 1,5 zahăr, 0,2 ÷ 0,9% săruri minerale. Latexul colectat este apoi concentrat (prin centrifugare) sau coagulat cu acid, fapt ce permite obținerea unor clase superioare de cauciuc natural [72].



Fig. 3.15 Extracția latexului din arborele de cauciuc [73]

Din punct de vedere al proprietăților, latexul este un polimer cu structură liniară, format din poli-(1,4-cis-izopren). Masa moleculară medie a acestuia este cuprinsă între 140000 și 210000 u.a.m, ceea ce corespunde unui grad de polimerizare mediu de 2050 – 3700 și prezintă elasticitate ridicată, care este dependentă de gradul de reticulare (prin vulcanizare se pot atinge alungiri elastice de până la 1000 %). În ceea ce privește, degradarea

cauciucului natural, aceasta se produce prin expunere la aer, lumină și/sau căldură și este accelerată de prezența unor substanțe oxidante (acid azotic, oxizi de mangan, crom, cupru etc.). Prin vulcanizare cauciucul dobândește elasticitate și rezistență mecanică mare și își pierde din plasticitate și solubilitate. Piese auto precum cuplaje elastice, cuzineți elastici și garnituri pentru pompa centrală (fig. 3.16) sunt fabricate din amestecuri de cauciuc natural [29], [57], [72].



Fig. 3.16 Garnituri pentru pompă hidraulică [74]

Elastomerii sintetici (cauciucurile sintetice) se obțin prin polimerizarea izoprenului, butadienei, stirenului, cloroprenului și a altor monomeri. Cauciucurile sintetice, cum ar fi butadien-stirenice, butadienice, izoprenice și etilen-propilenice, se încadrează în această categorie. Aceste materiale sunt diferite de cauciucul natural din punctul de vedere al proprietăților. Printre acestea se pot enumera rezistența la hidrocarburi, rezistența la acizi sau baze foarte puternice și stabilitatea la temperaturi înalte. De exemplu, *elastomerii sintetici de tip butadien-acrilonitrilice* sunt rezistenți la solvenți, prezintă rezistență la abraziune și coeficient de aderență mare și se utilizează, în special, ca inele de etanșare pentru arborele cotit și pentru arborii schimbătorului de viteză, garnituri (baie de ulei, capac chiulasă) sau la benzile de rulare ale anvelopelor (fig. 3.17). *Elastomerii sintetici de tip cloroprenice* sunt rezistenți la hidrocarburi aromatice și prezintă rezistență sporită la îmbătrânire, motiv pentru care sunt folosiți pentru confecționarea de reperi cu pereți subțiri (diafragme, garnituri etc.), pentru instalații de frână, servodirecții, instalații de alimentare cu combustibil,

burdufuri rotule direcție și suspensie, respectiv burdufuri casete direcție. *Elastomerii sintetici de tip izobutenice* prezintă impermeabilitate ridicată față de aer și sunt rezistenți la oxidare, astfel că se utilizează pentru conducte flexibile ale instalației de răcire a motorului, camere de aer pentru pneuri, strat interior de etanșare pentru anvelope fără camere, flotoare pentru suspensia hidropneumatică, chedere de parbriz, dar și altele. *Elastomerii sintetici de tip siliconice* sunt rezistenți la temperaturi înalte și foarte înalte, prezintă flexibilitate ridicată la temperaturi foarte joase și rezistență la hidrocarburi, motiv pentru care se utilizează pentru etanșarea vilbrochenului la motoare, capace de bujii. *Elastomerii sintetici de tip fluorurate* sunt rezistenți la solvenți, temperaturi ridicate și sunt foarte buni în utilizări precum piese de etanșare, în special, pentru reducerea pierderilor prin evaporare a benzinei [57], [72].



Fig. 3.17 Anvelope pe bază de elastomeri butadienici [75]

Elastomerii termoplastici sunt un tip de polimer care au proprietăți elastice similare cu cele ale elastomerilor termorigizi. Un elastomer termoplastic este un cauciuc care este fabricat dintr-un polimer sau un amestec de polimeri care nu sunt vulcanizați sau reticulați, dar prezintă proprietăți similare cu cauciucul vulcanizat, la temperatura normală de utilizare. Elastomerii termoplastici presupun existența a două faze:

- o fază rigidă - la temperatura ambiantă asigură ranforsarea materialului;
- o fază elastică - ce conferă proprietățile elastice ale materialului.

Temperatura de tranziție vitroasă a fiecărei faze - este mai mare decât temperatura ambiantă pentru faza rigidă și mai mică pentru faza elastică. [57]. Din punct de vedere al clasificării, se disting cinci categorii de elastomeri termoplastici uzuali:

- pe bază de poliolefine;
- pe bază de stiren;
- pe bază de poliuretani termoplastici;
- pe bază de copolimeri eteri-esteri;
- pe bază de copolimeri ester-amide.

Acești elastomeri se regăsesc în aplicațiile auto datorită capacității de a se deforma și a reveni la starea inițială (descriș prin modulul de elasticitate), rezistenței și proprietăților mecanice generale bune. Deoarece sunt compatibili cu elastomerii clasici, elastomerii termoplastici preintă o gamă largă de utilizări. Un avantaj al elastomerilor poliolefinici termoplastici este că pot fi vopsiți. Aplicațiile auto depind de stabilitatea dimensională și calitatea suprafețelor elastomerilor termoplastici. Acest tip de elastomer se utilizează:

- *în compartimentul motor*: izolatori frontali, suport spate motor, garnituri pentru circuit antigel, garnituri arbore cotit;
- *în sistemul electric*: izolatori bujii, garnituri carcasă distribuție, cabluri primare, cabluri secundare, izolatori cabluri;
- *în sistemul de alimentare cu combustibil*: supape carburant, diafragme pompă, tuburi carburant, diafragme valve control, garnituri pompă;
- *la caroserie*: suporturi pe caroserie, deflector pietriș, spoilere;
- *la uși*: garnituri mâner, garnituri etanșare (fig. 3.18), ghid geam [57].



Fig. 3.18 Garnituri pe bază de elastomeri termoplastici [76]

Elastomerii termorigizi sunt o clasă de materiale plastice pe bază de poliuretani ce prezintă o rezistență ridicată la abraziune, aproximativ de două ori mai mare decât a cauciucurilor. De asemenea, sunt stabili față de oxigen, ozon și radiațiile ultra-violete. Elastomerii poliuretanici sunt considerați drept o punte de legătură între cauciuc și duromeri, deoarece combină proprietățile din ambele clase de materiale. Poliuretanul elastic, sub forma de plăci sau tuburi, se folosește în industrie oriunde este nevoie de un material elastic cu proprietăți deosebite. Poliuretanul elastic sub formă de bară poate fi folosit pentru realizarea de elemente tampon (fig. 3.19), pentru protecție la impact prin introducerea pe o bară de metal, cu rezistență mare la șoc [77].



Fig. 3.19 Bucșă amortizor auto din elastomer poliuretanic [76]

Proprietățile fizico-mecanice ale elastomerilor pentru piese auto vizează aspecte precum: duritate, rezistență și alungire la rupere, modulul de elasticitate, capacitate de amortizare, variația proprietăților la acțiunea factorilor de mediu și aderența la metale și la textile [56].

Duritatea este capacitatea materialului de a rezista la pătrunderea în staturile superficiale, a unei bile sau trunchiuri de con metalice, cu dimensiuni determinate, în condiții standard de încercare SR EN ISO 868:2003 [78]; pe baza acestei proprietăți mecanice se poate determina modulul de elasticitate. Duritatea elastomerilor se exprimă în:

- grade de duritate Shore 00 pentru cauciucurile foarte moi și geluri;
- grade de duritate Shore A pentru cauciucurile flexibile utilizate pentru matrițare, care variază în funcție de duritate de la moale și flexibil, până la materiale plastice semirigide (elastomeri termoplastici) aproape deloc flexibile;
- grade Shore D pentru măsurarea durității elastomerii termorigizi, precum și a materialelor plastice rigide și dure [78].

Anvelopele auto precum și garniturile utilizate la autovehicule prezintă duritatea Shore A cuprinsă între 40 până la 80 grade Shore, după cum se poate observa în figura 3.20.

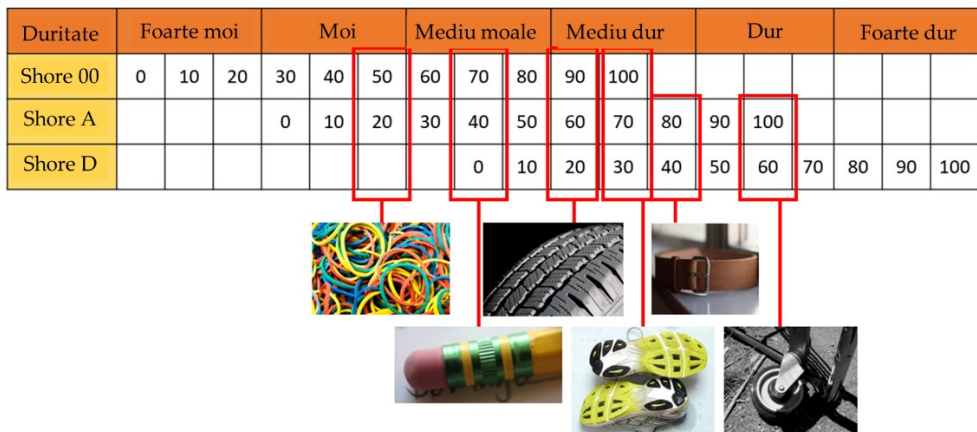


Fig. 3.20 Duritățile unor materiale măsurate prin metoda Shore [79]

Rezistența și alungirea la rupere. Datorită elasticității, cauciucul poate suferi alungiri mari la eforturi mici. Ca urmare a deformațiilor relative (mai mari de 30 %), cauciucul poate fi utilizat în domeniul elastic pentru o perioadă lungă de timp. Cauciucul vulcanizat prezintă o alungire la rupere specifică de 600 până la 700 %, dar în anumite cazuri poate ajunge și până la 1000%. Rezistența de rupere la întindere a cauciucului rezistent variază de la $(80 \div 150) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, în timp ce rezistența la rupere pentru elastomerii termorigizi variază între $(30 \div 40) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ [56].

Modulul de elasticitate longitudinal (Modulul lui Young), în cazul elastomerilor, se determină la deformații mici și depinde de proprietățile acestora. Totodată este principala caracteristică referitoare la deformabilitatea (rigiditatea) unui material. Studiul deformației elastomerilor a scos în evidență comportarea vâscoelastică a acestora. În baza teoriei lineare vâscoelastice, reacțiunea mediului la acțiunea forței poate fi obținută printr-o combinație dintre comportarea elastică liniară și comportarea vâscoasă liniară. În sistemul elastic unidimensional, în baza legii lui Hooke, se poate scrie:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ [Pa]}, \quad (3.1)$$

unde: σ - tensiunea [Pa], E - modulul de elasticitate longitudinal [Pa], ε - deformația relativă [80]. Atunci când un material prezintă un modul de elasticitate ridicat, acesta rezistă forței inițiale și revine la forma inițială. Pentru un material cu modulul de elasticitate mic, deformarea îl soliciță și creează riscul de rupere, fapt ilustrat în curba tensiune-deformație din figura 3.21. Raportul dintre tensiune și deformare definește modulul de elasticitate (modulul lui Young) prin care se definește rezistența unui material. Rigiditatea măsoară rezistența la deformarea elastică, în timp ce rezistența măsoară cât de multă solicițare poate suporta materialul înainte să apară deformarea permanentă sau ruperea [81].

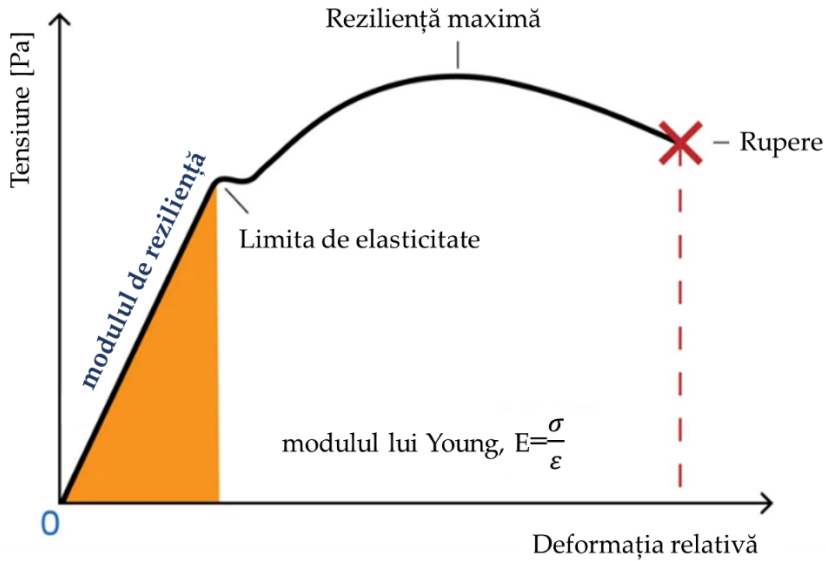


Fig. 3.21. Curba caracteristică a materialului care exprimă legătura între tensiunea σ și deformația specifică ε [81]

Capacitatea de amortizare se referă la amortizarea energiei șocurilor sau a vibrațiilor cu frecvențe înalte și se calculează, de obicei, folosind valorile specifice ale parametrului energiei totale de deformație [daN*m/daN]. Valoarea pentru cauciuc este de 4450, în timp ce pentru oțel de arcuri recopt, oțel laminat și fontă cenușie este de 29,04; 0,93, respectiv 0,11 [56], [57].

Variația caracteristicilor cauciucului la acțiunea factorilor de mediu trebuie cunoscută deoarece, în timpul utilizării, piesele auto din cauciuc trec prin o serie de procese fizice și chimice. Aceste procese modifică substanțial proprietățile elastomerilor. Îmbătrânirea pieselor din cauciuc în atmosfera de lucru este rezultatul acțiunii agresive simultane an unor factori precum oxigenul, ozonul, lumina, căldura și diferite fluide auto și solicitări mecanice care conduc la degradarea materialului. În primul rând, procesul de îmbătrânire se manifestă prin modificări ale suprafeței materialelor. În funcție de compoziția elastomerilor, sub acțiunea factorilor exteriori precum creșterea temperaturii sau sub acțiunea radiației ultraviolete, pot să conducă

la apariția crăpăturilor, iar atunci când elastomerul este în contact cu diferite fluide, apar umflarea sau chiar dizolvarea [56], [2].

Cerințele ce se impun pieselor din elastomeri utilizate la autovehicule, rezultă prin solicitările mecanice și termice la care sunt supuse aceste materiale. Astfel, semnificația principalelor tipuri de exigențe poate fi definită, astfel:

- *confort și silențiozitate*: etanșeitate caroserie (zgomote aerodinamice foarte slabe, dirijare simplă a curenților de aer la uși și geamuri), suspensii motoare și organe mecanice (filtrarea eficace a vibrațiilor în toate regimurile), reducerea volumului compartimentului motor (rezistența la creșterea temperaturii sub capotă);
- *securitate și calitate*: etanșarea organelor ce conduc fluide (concepția garniturilor și racordurilor, permeabilitate și compatibilitate cu fluidele);
- *fiabilitate și durabilitate* (simulare și modelare de comportament, metode predictive a duratei de viață, mijloace de control-nedistructive);
- *respectarea mediului ambiant*: diminuarea poluării, alta decât prin combustie (permeabilitatea circuitului de combustibil, etanșarea organelor ce conțin lubrifianți), diminuarea zgomotului exterior (rezistență la creșterea temperaturii datorită insonorizării compartimentului motor) și reciclarea materialelor [57].

3.3 Duromeri

Definiție

Duromerii (termoreactive) sunt materiale polimerice la care întărirea este ireversibilă, deci nu se pot înmuia/topi deoarece prin încălzire se distruge macromolecula datorită legăturilor transversale tari [1].

În structura lor, macromoleculele sunt legate între ele prin legături covalente, formând o rețea tridimensională cu un grad ridicat de reticulare

în spațiu. Din cauza legăturilor puternice și stabile dintre molecule, duromerii nu prezintă fenomenul de umflare, sunt insolubili, prezintă o mare stabilitate a formei la cald, sunt foarte duri, au o foarte bună rezistență mecanică și o tendință mică de deformare, motiv pentru care trebuie produși direct în forma finală, deoarece ulterior pot fi prelucrați doar prin așchiere [2].

Trecerea între termoplaste, elastomeri și duromeri nu este bruscă, ci continuă. Diferența principală dintre termoplaste, elastomeri și duromeri constă în densitatea reticularii, care la termoplaste este nulă sau extrem de mică, crește la elastomeri crescând și cel mai mult la duromeri (fig. 3.22) [2].

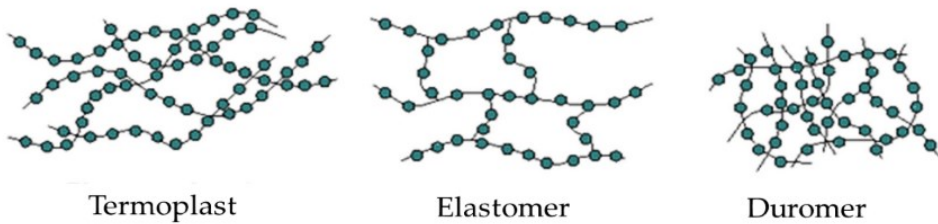


Fig. 3.22 Structura polimerilor descrisă prin gradul de reticulare [82]

Odată cu densitatea reticularii se modifică în mod semnificativ și proprietățile fizice, mecanice și chimice ale materialului plastic.

Fenoplastele (rășini PF) sunt produși de policondensare ai fenolilor și aldehydelor. De regulă, pentru componenta aldehydă se utilizează formaldehida, iar pentru componenta fenolică se folosesc fenoli diferit substituiți. Din punct de vedere al proprietăților, fenoplastele se disting printr-o înaltă stabilitate a formei chiar și la temperatură înaltă, sunt greu inflamabile și stabile față de acizi și baze slabe, dar instabile față de acizi și baze tari. Rezistența la lumină este slabă, așa că pot fi colorate doar în negru. Se folosesc sub formă de prafuri de presare, materiale stratificate, adezivi, lianți, lacuri sau materiale de turnare și se utilizează la realizarea de piese precum izolatori la echipamente electrice, roți dințate și cuzineți (fig. 3.23) sau carcase de bobine [2], [56].



Fig. 3.23 Cuzineți din fenoplaste [83]

Aminoplastele reprezintă o categorie importantă de materiale macromoleculare, care pot conține diferite tipuri de legături în lanțul polimer. Aminoplastele sunt produși de condensare obținuți din combinații de melamină sau uree și formaldehidă. Producții de policondensare cu melamina se numesc rășini melamino-formaldehidice (MF), iar cei cu ureea, rășini ureo-formaldehidice (UF).

Desfășurarea policondensării a rășinilor UF și MF depinde de raportul formaldehidă/uree respectiv melamină, de pH, de temperatură și de timpul de reacție. Rășinile UF și MF prezintă o puternică contracție de volum la întărire; sunt foarte rigide și tind spre formare de fisuri sub tensiune. De aceea se folosesc exclusiv în materiale compozite. Produsele din rășini UF sau MF sunt neinflamabile și prezintă rezistență la acțiunea luminii. Rășinile UF întărite au o stabilitate mai redusă față de apa fierbinte, acizi și baze, dar sunt stabile față de solvenți organici și de grăsimi. Rășinile MF sunt substanțial mai dure și rezistențe la zgâriere și sunt atacate numai de acizi și baze concentrate. În industria auto, aminoplastele se utilizează la confecționarea de: mânere (fig. 3.24), cadrane și carcase ale aparatelor de bord auto dar și altele [56].



Fig. 3.24 Mânere din aminoplast [84]

Rășinile poliesterice nesaturate (UP) rezultă prin reacția alcoolilor di/tri-funcționali cu acizi dicarboxilici nesaturați și au proprietăți de prelucrare avantajoase (de exemplu, pot fi aduse ușor într-o stare fluidă), de aceea se folosesc adesea pentru realizarea unor piese fasonate cu suprafață mare. Proprietățile lor mecanice depind de alegerea componentelor amestecului, în special, de numărul grupelor vinil, care sunt disponibile pentru reticulare. Rășinile UP au proprietăți mecanice bune și o foarte bună stabilitate la agenți chimici. După întărire devin infuzibile și insolubile. Se caracterizează prin transparență, indice de refracție ridicat și un coeficient de dilatare termică mic. Se folosesc mai ales la prepararea unor compozite cu țesături sau fibre de sticlă, necesare pentru realizarea de componente de caroserie (fig. 3.25), bare parașoc sau cabine [2], [57].



Fig. 3.25 Capotă realizată din rășină poliesterică nesaturată [85]

Rășinile epoxidice (EP) sunt mai scumpe decât cele poliesterice și necesită un timp de reticulare mai lung, dar asigură o aderență mai bună la fibre, o contracție redusă la întărire, rezistență termică și la oboseală mai mari. Proprietățile rășinilor epoxidice după reticulare depind în mare măsură de structurile reactanților precum și de agenții de întărire folosiți, motiv pentru care pot varia în limite largi. Odată cu creșterea gradului de reticulare cresc, în general, rezistența față de temperatură și agenți chimici. Unii adezivi epoxidici rezistă până la 200 °C, suplimentar temperatura de descompunere a macromoleculelor epoxidice este de circa 500 °C. Rășinile EP reticulate sunt insolubile dar se umflă în solvenți organici. În industria auto, rășini epoxidice se folosesc la realizarea de modele pentru piese auto prototip (fig. 3.26) [2], [57].

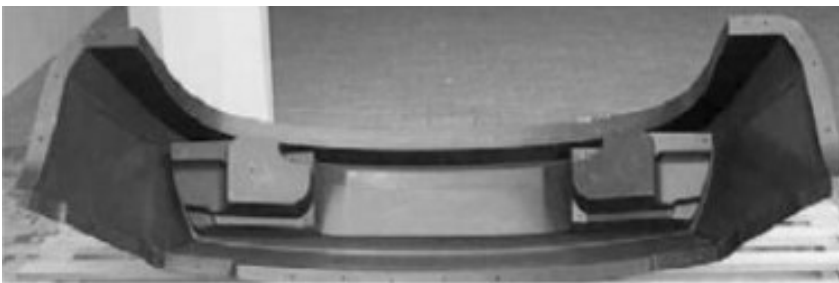


Fig. 3.26 Bară de protecție frontală realizată din grafit și rășină epoxidică [86]

Principalele proprietăți ale duromerilor sunt prezentate în tabelul 3.3 [2].

Tabelul 3.3 Principalele proprietăți ale duromerilor [2]

| Proprietăți/ Duomer | Poliesteri | Epozizi | Fenoplaste | Aminoplaste |
|---|-------------------------------------|------------------|-------------|-------------|
| Densitate [g/cm ³] | 1,17 - 1,25 | 1,17 - 1,26 | 1,25 - 1,40 | 1,50 |
| Rezistență la încovoiere [MPa] | 65 - 120 | 80 - 160 | 50 - 80 | 50 - 100 |
| Modulul de elasticitate, E [MPa] | 3000 - 4000 | 4000 - 5000 | >5000 | >5000 |
| Rezistență la tracțiune [MPa] | 20 - 70 | 50 - 90 | 15 - 20 | 15 - 50 |
| Rezistența la compresiune [MPa] | 150 - 160 | 85 - 120 | - | - |
| Coefficient de dilatare termică 10 ⁻⁶ [K ⁻¹] | 10 - 30 | 75 - 90 | 10 - 50 | 10 - 60 |
| Stabilitate a formei la cald [°C] | 55 - 90 | 60 - 160 | 125 | 115 - 150 |
| Rezistivitate electrică [W×cm] | 10 ¹³ ≥ 10 ¹⁶ | 10 ¹⁴ | - | - |

În industria autovehiculelor, materialele plastice trebuie să corespundă exigențelor privind executarea pieselor, ce depind de proprietățile fizico-mecanice ale MP. **Cerințele legate de alegerea tipului de material plastic** pot varia în funcție de locul piesei pe vehicul, dacă este vizibilă și de cerințele de utilizare. În funcție de rolul și locația lor, piesele pot fi împărțite în patru categorii,:

- *piese vizibile la exterior* - pot fi vopsite sau decorate, nu trebuie să prezinte bavuri, defecte geometrice sau de decorare și trebuie să reziste corespunzător unor solicitări mecanice și climatice complexe;
- *piese sub vehicul* – trebuie să prezinte cerințe de rezistență la căldură la temperaturi mai puțin ridicate, decât cele vizibile la exterior și să reziste la lovire cu pietriș și nisip (aprecierea se realizează măsurând timpul de străpungere al piesei la grosimea ei nominală, sau în funcție de masa de material pierdut prin sablare timp de 5 minute);
- *piese în portbagaj și în habitacul* – trebuie să reziste la radiații solare directe, la frig, dar și la căldură și la șocuri în funcție de amplasarea

piesei în automobil, la gravaj laser pentru a putea obține desene privind variații de culori, intensitate luminoasă și matizare completă;

- *piese din compartimentul motor* - este necesar să se utilizeze materiale plastice cu o rezistență deosebită la temperatură și la acțiunea agenților chimici, precum, glicoli, detergenți și lichide de frână [57].

Utilizarea, caracteristicile și prețul maxim de producție sunt factori importanți în alegerea maselor plastice utilizate în construcția autovehiculelor. Acestea depind de o serie de proprietăți fizice și chimice ale piesei, iar proprietățile mecanice depind în mare măsură de configurația piesei. Pentru caracterizarea și alegerea materialelor plastice se au în vedere următoarele proprietăți [56], [57]:

- *caracteristicile de rezistență la tracțiune* (modulul, rezistență și alungirea la rupere), definite de SR EN ISO 527-2:2012 [87];
- *rezistență la impact* (șoc Izod după ISO 180:2023, șoc Charpy) [61], [88];
- *rezistență termomecanică* (temperatura de înmuiere Vicat - ISO 306, temperatura de deformare sub sarcină - ISO 75-1:2020) [89], [90];
- *rezistența chimică* (comportarea la diverși solvenți, acizi, baze, apă);
- *comportarea la foc* (aditivi ignifugați ajută la prevenirea propagarea combustiei).

4 Materiale de fricțiune

Definiție

Materialele de fricțiune sunt, în general, materiale compozite care trebuie să prezinte proprietăți mecanice, tribologice și fizice excelente pentru aplicații supuse frecării, uzării și lubrifierii [91].

Sistemul de frânare al autovehiculelor (fig. 4.1) este realizat pe bază de materiale de fricțiune. Există, în principal, două tipuri de sisteme de frânare: unul dintre acestea este pe disc, în timp ce cel de-al doilea este pe tambur. Componentele sistemului de frânare sunt: *pedala de frână* (aceasta este folosită pentru a determina încetinirea/decelerarea autovehiculului); *cilindrul principal* (el conduce rețeaua de conducte prin care curge lichidul de frână); *rezervorul de lichid* (depozitează lichidul de frână) și *frânele cu disc/tambur* (alcătuit din disc/tambur, piston și etrier cu plăcuțe de frână/tamburi).

Cel mai vechi material de fricțiune a fost pielea, aceasta fiind înlocuită cu materiale sinterizate/tratate termic. Au fost apoi dezvoltate materiale compozite armate cu fibre de azbest. Acestea au fost utilizate timp de aproape 80 de ani datorită performanțelor lor foarte bune. După ce cercetările au demonstrat faptul că azbestul reprezintă un pericol pentru sănătate, au fost dezvoltate materiale de fricțiune organice fără azbest (NAO) aceste materiale fiind folosite până în zilele noastre.

Compozitele pe bază de azbest și materialele semimetalice nu se mai folosesc sau se folosesc foarte rar datorită limitărilor și problemelor acestora. Materialele compozite cu matrice metalică sunt utilizate în schimb la trenurile de mare viteză în timp ce materialele compozite de tip carbon-carbon sunt folosite în vehiculele pentru curse de Formula 1 și în aeronautică. Alături de acestea, în construcția autovehiculelor, se folosesc frecvent materialele de fricțiune organice fără azbest care prezintă caracteristici superioare materialelor pe bază de azbest sau a celor semimetalice (fig. 4.2) [92].

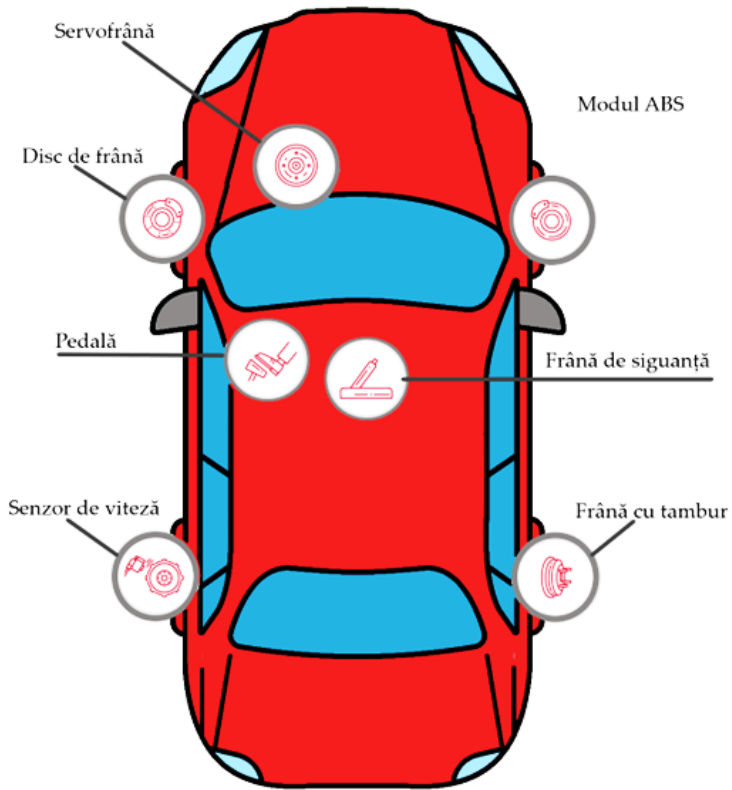


Fig. 4.1 Reperetele sistemului de frânare din autovehicul

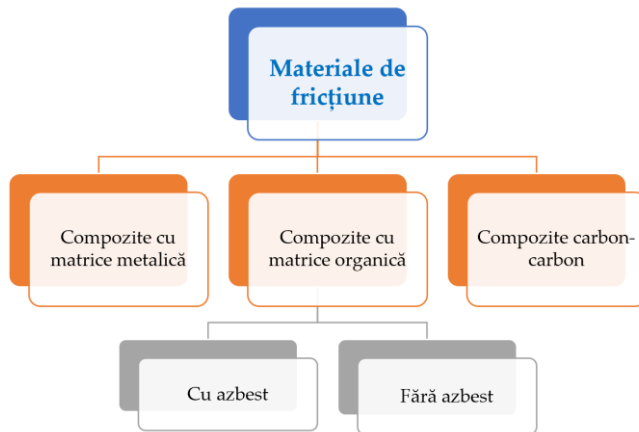


Fig. 4.2 Tipuri de materiale de fricțiune utilizate în industria auto

Una dintre necesitățile omenirii din ultimele decade este aceea de a dezvolta materiale eco-compatibilitate inclusiv în domeniul materialelor de fricțiune. Această necesitate împreună cu cerințele tot mai ridicate privind proprietățile pentru această categorie de materiale au determinat obținerea unor materiale armate cu mai multe tipuri de particule / fibre (minerale, metalice, ceramice și/sau organice). Mai mult cercetările din domeniul au dus la stabilirea unui raport optim între factorii care influențează fenomenele de frecare–uzare specifice acestei categorii de materiale: greutatea autovehiculului, configurația produsului și suprafața de contact [91].

Cerințele materialelor de fricțiune rezultă din proprietățile acestora, durabilitatea și funcționalitatea lor, și totodată, economicitatea lor, precum poate fi vizualizat în figura 4.3. Toate materialele de fricțiune trebuie să prezinte:

- *coeficient de frecare atât static cât și dinamic cât mai mare* - în cazul plăcuțelor de frână acesta poate atinge o valoare de 0,7;
- *rezistență la uzare bună* - coeficientul de uzură să nu depășească 1,2 cm³/kWh în cazul încărcărilor severe;
- *conductibilitate termică bună* - pentru a asigura dispersarea căldurii formate în urma proceselor de frecare;
- *rezistență bună la coroziune în medii agresive*;
- *proprietăți mecanice* - rezistență mecanică, duritate, rezistență la uzare etc. stabile la temperaturi ridicate, să fie stabile în timp, la temperaturi mari și la sarcini de încărcare ridicate;
- *durată de funcționare cât mai mare*;
- *costuri scăzute* atât din punct de vedere al materiei prime cât și din punct de vedere al tehnologiei de elaborare [91].

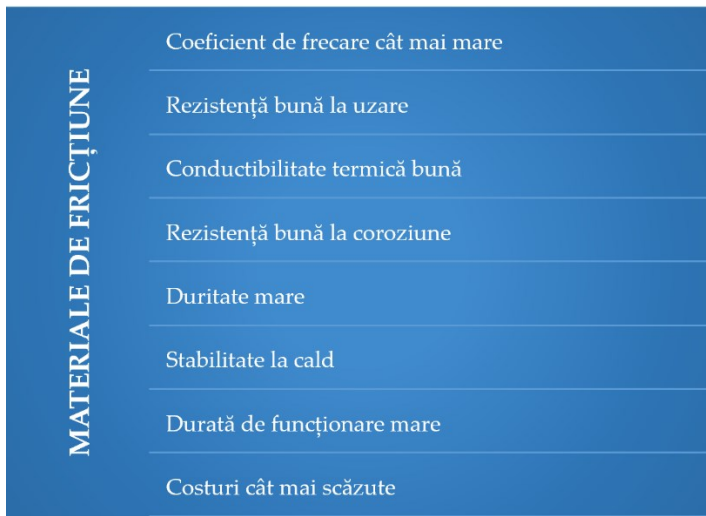


Fig. 4.3 Caracteristici impuse materialelor de fricțiune

Principalele componente ale materialelor de fricțiune sunt, în general, materiale compozite care conțin în compoziție un număr ridicat de materiale metalice, ceramice și/sau polimerice. Aceste materiale care se adaugă la elaborare pot fi încadrate în trei mari categorii, în funcție de rolul pe care îl au în materialul de fricțiune (fig. 4.4).



Fig. 4.4 Componentele materialelor de fricțiune

Componenta care asigură rezistență materialului de fricțiune este *matricea*. Această componentă are de asemenea și rolul de a elimina căldura care rezultă în timpul frecării dintre suprafețele aflate în contact. Pentru matrice se pot utiliza diferite tipuri de materiale, alegerea variantei optime fiind influențată de temperatura la care materialul de fricțiune va funcționa. La modul general, aceasta poate fi de natură metalică, ceramică sau polimerică.

Materialele cu matrice polimerică sunt materiale care pot fi folosite până la temperaturi de circa 300 – 350 °C. În literatura de specialitate sunt raportate cercetări asupra unor materiale de fricțiune cu matrice de rășini epoxidice armate cu nanoparticule ceramice [93], materiale cu matrice pe bază de poliamidă armate cu fibre de bazalt [94], materiale cu matrice pe bază de rășini fenolice armate cu fibre sau particule ceramice [95].

În ceea ce privește *materialele cu matrice metalică* temperaturile de funcționare pot ajunge până la circa 800 °C. Din această categorie fac parte:

- materiale cu matrice pe bază aluminiu armate cu particule de carbură de siliciu [96];
- materialele cu matrice pe bază de cupru armate cu fibre de carbon [97];
- materialele cu matrice pe bază de fier (cele mai utilizate) [91].

Materialele de fricțiune cu matrice ceramică sunt utilizate la temperaturile de până la 1000 – 1100 °C. Unele dintre cele mai utilizate astfel de materiale sunt cele pe bază de carbon cu carbură de siliciu (C/C-SiC) [98]. Ele sunt destinate în principal pentru autovehicule de Formula 1 sau industria aeronautică sau aerospațială.

Cea de-a doua componentă de bază a materialelor de fricțiune o reprezintă *componenta de fricțiune* cea care are rolul de a asigura obținerea unui coeficient de frecare cât mai ridicat. Din acest punct de vedere se pot utiliza elemente de armare sub formă de pulberi și nu numai din carburi de siliciu sau wolfram, oxizi de aluminiu sau titan, nitruri de titan sau bor [91].

Ultima componentă a materialelor de fricțiune este *componenta de lubrifiere*. Aceasta trebuie să asigure realizarea unei frânări cât mai lente, să îmbunătățească rezistența la gripare și totodată să micșoreze parametrii uzării (uzura masică, intensitatea de uzură, coeficientul de uzură). Grafitul și bisulfura de molibden sunt două dintre cele mai utilizate materiale din această categorie [99].

Materiale de fricțiune cu matrice de fier sunt unele dintre cele mai utilizate materiale de fricțiune, atât în industria auto cât și în alte tipuri de industrii. Proprietățile mecanice bune, stabilitatea la temperaturi ridicate precum și prețul de cost relativ scăzut atât cu materia primă cât și cu tehnologiile de elaborare sunt câteva dintre avantajele materialelor cu baza fier, avantaje care le recomandă pentru astfel de aplicații.

Elaborarea materialelor de fricțiune cu baza fier se poate realiza prin mai multe metode, dintre care turnarea și metalurgia pulberilor apar ca fiind foarte des utilizate. Totuși, metalurgia pulberilor prezintă câteva avantaje care constituie un plus pentru această tehnologie:

- obținerea unor produse finite de forme complexe cu pierderi mici de material;
- necesitatea unor temperaturi de consolidare mai mici decât temperatura de topire;
- automatizarea și productivitatea ridicată.

Materialele de fricțiune cu baza fier au compoziții chimice complexe în care elementul de bază este fierul. În acesta se introduc diferite alte elemente pentru a îmbunătăți proprietățile de frecare și/sau de uzare (tabel 4.1). Se constată o scădere a coeficientului de frecare maxim atunci când se introduce orice element de aliere. În schimb, uzura liniară poate suferi îmbunătățiri semnificative. Aluminiul este elementul care nu afectează puternic negativ coeficientul de frecare maxim dar care reduce semnificativ uzura liniară (o micșorează de aproape patru ori).

Tabel 4.1 Variația coeficientului de frecare și a uzurii liniare a fierului în funcție de elemente de aliere [91]

| Elementul de aliere | Coeficient de frecare maxim [-] | Uzura liniară pentru material sinterizat [μm] |
|---------------------|---------------------------------|--|
| Fier | 0,39 | 12,0 |
| Cupru | 0,37 | 12,0 |
| Mangan | 0,37 | 10,0 |
| Aluminiu | 0,36 | 3,5 |
| Molibden | 0,33 | 11,5 |
| Cobalt | 0,31 | 8,5 |

Un aspect deosebit de important la elaborarea acestor materiale îl reprezintă utilizarea unor pulberi de formă diferită. Figura 4.5 prezintă câteva tipuri și forme de pulberi raportate în literatura de specialitate pentru fabricarea materialelor de fricțiune cu baza fier. Sunt recomandate a fi utilizate pulberi caracterizate de formă neregulată, sferică, sub formă de fulgi sau tabulară.

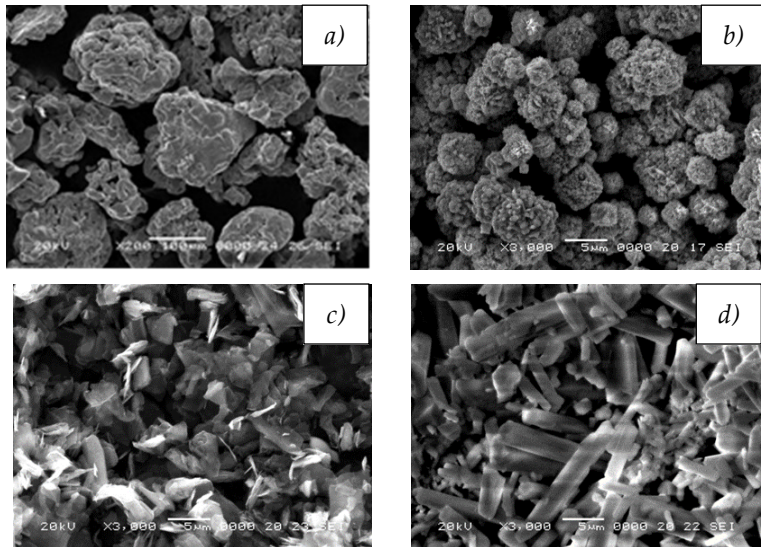


Fig. 4.5 Imagini SEM ale unor pulberi utilizate la elaborarea materialelor de fricțiune: a) fier, b) nichel, c) grafit, d) carbonat de bariu [91]

Tabelul 4.2 prezintă câteva proprietăți fizice, mecanice sau termice ale unor materiale care sunt folosite la elaborarea materialelor de fricțiune pe bază de fier. Trebuie subliniat faptul că densitatea acestora variază într-un interval larg cuprins între 2,25 g/cm³ (grafit) și 8,88 g/cm³ (nichel). O altă caracteristică care variază într-un domeniu larg este conductivitatea termică. Pentru această caracteristică în materialele cu baza fier se introduce cupru, conductivitatea termică a acestuia fiind superioară, respectiv 398 W/(m·K).

Tabel 4.2 Caracteristici ale unor materiale folosite la elaborarea materialelor de fricțiune cu baza fier [91]

| Proprietatea | Fier | Nichel | Grafit | Carbonat de bariu | Dioxid de titan |
|---|------|--------|--------|-------------------|-----------------|
| Densitatea [g/cm ³] | 7,86 | 8,88 | 2,25 | 4,28 | 4,24 |
| Temperatura de topire [°C] | 1538 | 1455 | 3650 | 1555 | 1855 |
| Conductivitatea termică [W/(m·K)] | 76,5 | 60,7 | 24 | - | 10,4 |
| Modulul de elasticitate [GPa] | 200 | 207 | 4,8 | - | 248-282 |
| Rezistența de rupere la tracțiune [MPa] | 540 | 317 | - | - | - |
| Masa atomică relativă [-] | 55,8 | 58,6 | 12,01 | 197,3 | 79,86 |

Un alt aspect important este cel cu privire la efectul benefic al dioxidului de titan asupra caracteristicilor materialelor cu baza fier. S-a constatat faptul că adăugarea acestuia în compoziția materialelor de fricțiune cu baza fier duce la creșterea coeficientului de frecare cu peste 35 % (valoarea maximă determinată fiind de 0,434). Cu toate acestea s-a înregistrat și o scădere continuă a uzurii masice odată cu creșterea conținutului de dioxid de titan, aceasta scăzând tot cu peste 35 %. Microstructura unui astfel de material care conține dioxid de titan este redată în figura 4.6. Aceasta este

alcătuită în principal din trei zone. Prima zonă este cea corespunzătoare materialului de bază alcătuită din constituenți tipici aliajelor fier-carbon (ferită, perlită). Cea de-a doua zonă este cea corespunzătoare unei soluții solide pe bază de cupru și nichel în timp ce cea de-a treia zonă corespunde grafitului liber.

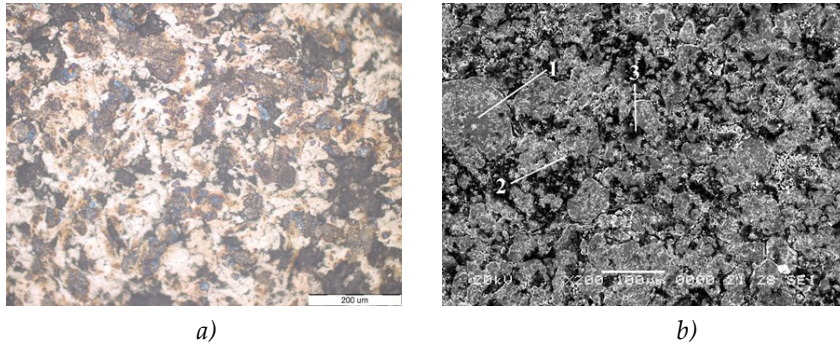


Fig. 4.6 (a) Imagine optică și (b) imagine SEM a unui material de fricțiune cu baza fier care conține dioxid de titan - 1 materialul matricei, 2 soluție solidă (Cu, Ni), 3 grafit liber

Aceste materiale sunt caracterizate și de o anumită porozitate. În plus se observă din figura 4.7 că porii formați sunt intercomunicanți ceea ce este util în disiparea căldurii formate la suprafața componentelor aflate în contact.

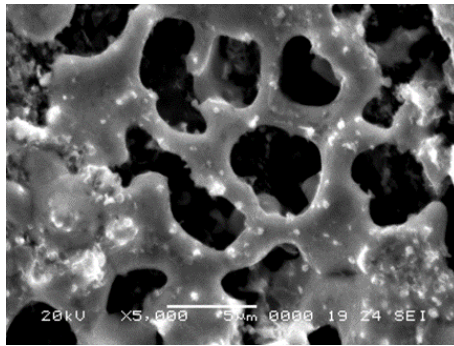


Fig. 4.7 Imagine SEM a unui material de fricțiune cu baza fier care conține dioxid de titan – structură poroasă (x5000) [91]

Acest efect benefic al dioxidului de titan a fost explicat de analizele de difracție cu raze X efectuate asupra acestor materiale (fig. 4.8). S-a

remarcat faptul că în urma tratamentului de consolidare a materialului, dioxidul de titan s-a redus, formând în structură oxidul de titan Ti_2O_3 (util pentru proprietățile de lubrifiere) și totodată s-a format carbura de titan TiC (util pentru proprietățile de frecare).

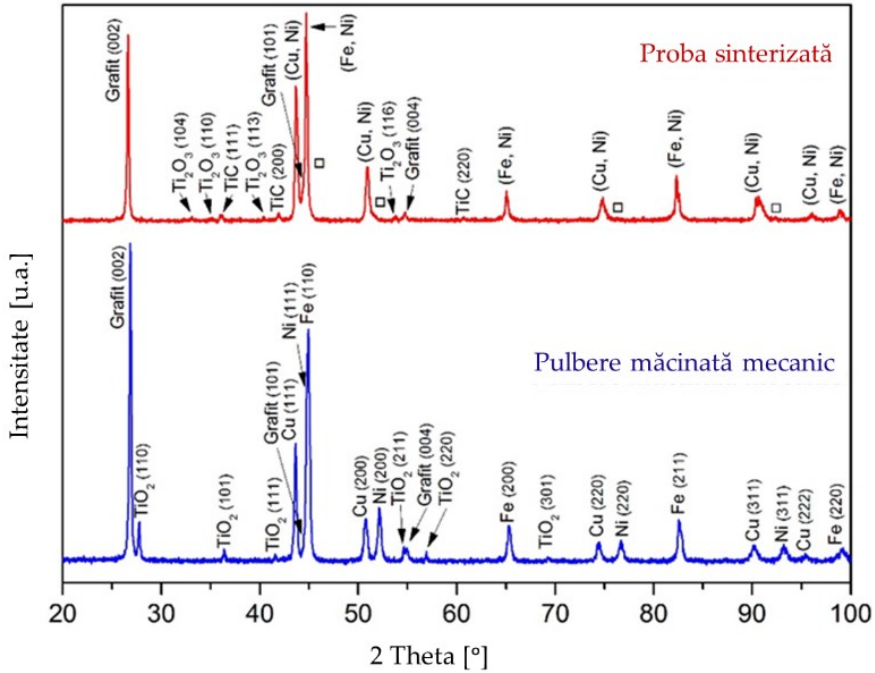


Fig. 4.8 Diffractograma unui material de fricțiune cu baza fier care conține dioxid de titan

Materiale de fricțiune cu matrice ceramică - în cazul aplicațiilor unde apar procese intense de frecare însoțite de creșterea puternică a temperaturii este necesar a fi utilizate materiale cu matrice ceramică deoarece proprietățile mecanice ale acestora sunt stabile până la 1000 – 1100 °C. O atenție aparte s-a acordat materialelor compozite armate cu fibră de carbon, în special a materialelor compozite cu matrice duală de carbon și carbură de siliciu armate cu fibră de carbon (C/C–SiC). Această atenție se datorează combinației excelente a proprietăților mecanice ale fibrei de carbon și proprietăților tribologice și de rezistență la uzare a carburii de siliciu [100].

Obținerea unui bun comportament la frecare și uzare, pentru un astfel de material, este influențată de mai mulți factori după cum se observă

în figura 4.9. Unul dintre factori îl constituie matricea de carbură de siliciu care determină creșterea coeficientului de frecare prin durificare în timpul frecării. Din punct de vedere al matricei de carbon, se pot utiliza două tipuri de astfel de matrici:

- una pe bază de carbon de piroliză (cu structură lamelară asemănătoare grafitului);
- una de carbon rășină (carbon amorf).

Pre-forma din fibră de carbon determină în materialele compozite de tipul C/C–SiC comportamentul mecanic și cel la frecare. La ora actuală, fibrele scurte și pre-formele tridimensionale (3D) sunt două dintre cele mai folosite pre-forme din fibră de carbon pentru elaborarea materialelor de fricțiune de tip C/C–SiC. Modificatorii matricei au și ei un rol aparte, aceștia fiind introduși pentru a elimina siliciul rezidual (exemplu: Cu-Ti-Si, Cu-Si, Ti₃SiC₂, carbura de bor, B₄C și nitrura de bor BN). Ultimul factor de influență asupra comportamentului materialelor de tip C/C–SiC îl constituie condițiile de testare (presiunea, frecarea uscată sau umedă, viteza etc.) [100].

Tabelul 4.3 prezintă comparativ valorile raportate pentru coeficientul de frecare cinetic pentru două materiale de fricțiune ceramice unul de tip C/C–SiC iar cel de-al doilea de tip C/C. Exceptând condițiile de frânare uscată, materialele compozite de tipul C/C–SiC prezintă un coeficient de frecare de circa patru ori mai ridicat decât materialele de tipul C/C.

Tabel 4.3 Coeficientul de frecare cinetic pentru diferite condiții de testare [100]

| Condiții de frânare | Materiale de tip C/C–SiC | Materiale de tip C/C |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| Uscată | 0,49 | 0,55 |
| Apă curentă | 0,58 | 0,16 |
| Apă de mare | 0,56 | 0,13 |

Materialele de tipul C/C–SiC sunt utilizate ca materiale de fricțiune în automobile (Porsche, Ferrari, Daimler Crylser) și la sistemele de frânare ale avioanelor comerciale sau militare.

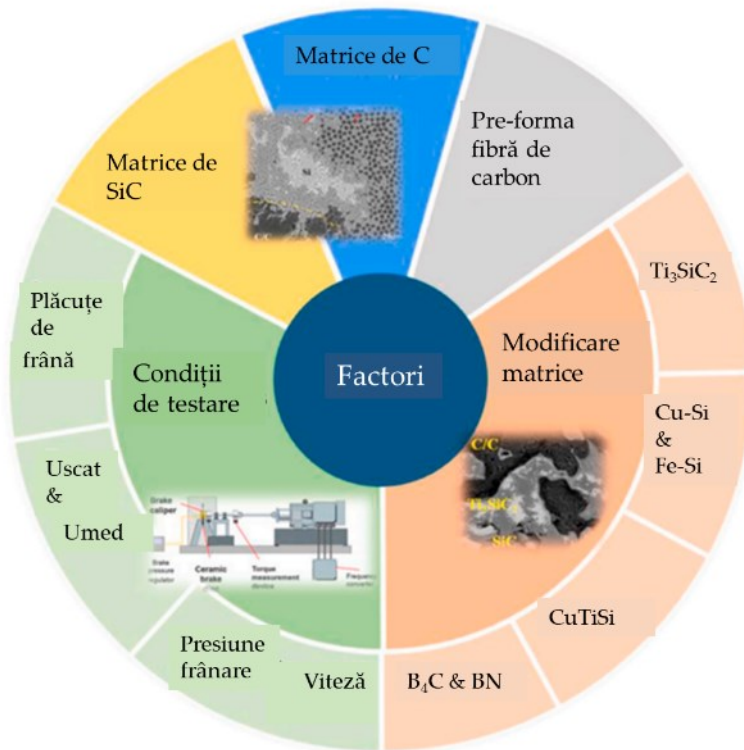


Fig. 4.9 Factorii care influențează proprietățile tribologice ale materialelor compozite de tip C/C-SiC [100]

Pentru a determina performanțele sistemului de frânare inclusiv a garniturilor de fricțiune la autovehicule, se testează:

- *eficacitatea la rece* denumite încercări pe drum ale sistemului de frânare de tip 0 (variația decelerației în funcție de presiunea din sistem la viteze constante - de obicei 40 și 80 km/h);
- *eficacitatea la cald* denumite încercări pe drum ale sistemului de frânare de tip I (variația decelerației în funcție de presiunea din sistem la 200°C și viteza de 80 km/h);
- *eficacitatea după prima și a doua recuperare și eficacitatea după încălzire la viteză mare*, denumite încercări pe drum ale sistemului de frânare de tip II [57].

Conform Regulamentului ECE-ONU 13 [101], la un autovehicul se realizează încercări privind spațiul de frânare și decelerație în următoarele situații: gol, încărcat, debreiat, ambreiat și cu avarii de circuit față și spate. Uzura garniturilor de fricțiune pentru disc și tambur diferă în funcție de condițiile de operare și dimensiunile acestora. Garnitura trebuie să-și păstreze eficacitatea la temperaturi ridicate și să-și recupereze rapid coeficientul de frecare după încălzire, iar temperatura de utilizare (la suprafața de contact) poate ajunge la 700 °C.

Încercările de tip 0 evaluează performanța frânării cu frânele reci; temperatura discurilor sau tamburilor de frânare nu trebuie să depășească 100 de °C. În schimb, la încercările de tip I, discurile sau tamburii trebuie încălziți prin repetarea a mai multor cicluri de frânare. Metodologia încercărilor de tip 0 este folosită pentru a efectua încercările de tip II, dar fără ca frânele să fie reci. Performanțele de frânare sunt comparate după efectuarea acestor încercări. Eficacitatea remanentă nu poate depăși 80 % din eficacitatea menționată pentru categoria de autovehicul sau 60 % din eficacitatea determinată experimentată în cazul încercărilor de tip 0 [57], [101].

5 Reciclarea materialelor și a vehiculelor scoase din uz

Reciclarea este o altă problemă deosebită în industria auto. Acest lucru se datorează, în special, reglementărilor europene [102] care impun refolosirea, reciclarea și alte forme de recuperare a vehiculelor scoase din uz (VSU) și a componentelor acestora pentru a reduce cantitatea de deșeuri, precum și pentru a îmbunătăți caracterul ecologic al activității operatorilor economici implicați în ciclul de viață al vehiculelor, în special a operatorilor direct implicați în tratarea vehiculelor scoase din uz. Cerințele specifice ale Directivei Uniunii Europene privind VSU prevăd că 95 % din masa dintr-un vehicul produs după anul 1980 să fie recuperat și reutilizat. În plus, 85 % din greutatea acestor vehicule trebuie să fie materiale reciclate sau reutilizate. Acest lucru limitează cantitatea de material care poate fi trimisă la depozitul de deșeuri. Totodată, pentru a crește cantitate de materiale recuperate, trebuie să existe implementate tehnologii eficiente.

Din punct de vedere al terminologiei, **reciclarea** este definită ca fiind prelucrarea într-un proces de producție a materialelor uzate în scopul original sau în alte scopuri, cu excepția recuperării energiei. **Recuperarea energiei** reprezintă utilizarea combustibililor uzați ca mijloc de generare a energiei prin incinerare directă cu sau fără alte deșeuri, dar cu recuperarea căldurii. **Refolosire** înseamnă orice operație prin care componentele vehiculelor scoase din uz sunt utilizate în același scop pentru care au fost concepute [102].

Vehiculele ajung în categoria vehicule scoase din uz, VSU, din două motive:

- pe deoparte datorită faptului că ating o anumită „vârsta”, devin practic „bătrâne”, acestea numindu-se „*vehicule scoase din uz naturale*”;
- sau au suferit accidente în urma cărora nu au mai putut fi recuperate, acestea purtând numele de „*vehicule scoase din uz prematur*” [103].

Dezvoltat de industria auto, Sistemul internațional de informații pentru dezmembrare (IDIS) își propune să asigure tratarea vehiculelor scoase din uz conform cerințelor Directivei Uniunii Europene 2000/53/CE privind vehiculele scoase din uz. Informațiile din baza de date IDIS sunt furnizate de constructorii de vehicule pentru a ajuta operatorii economici care se ocupă de VSU pentru tratarea, dezmembrarea și manipularea materialelor. În acest fel, componentele pot fi îndepărtate din vehicule înainte de mărunțire/tocare. Materialele din aceste componente pot fi reciclate mai ușor decât dacă materialele sunt sortate și separate de reziduurile tocătorului după ce vehiculul este mărunțit. De asemenea, această abordare permite manipularea în siguranță a materialelor periculoase [104].

Procesul de reciclare a VSU începe cu depoluarea, dezmembrarea, îndepărtarea componentelor care pot fi reciclate, reutilizate sau valorificate și în final tocarea. Ulterior, vehiculele sunt trimise la o instalație de mărunțire/tocare. În figura 5.1 se prezintă etapele tratării unui VSU.

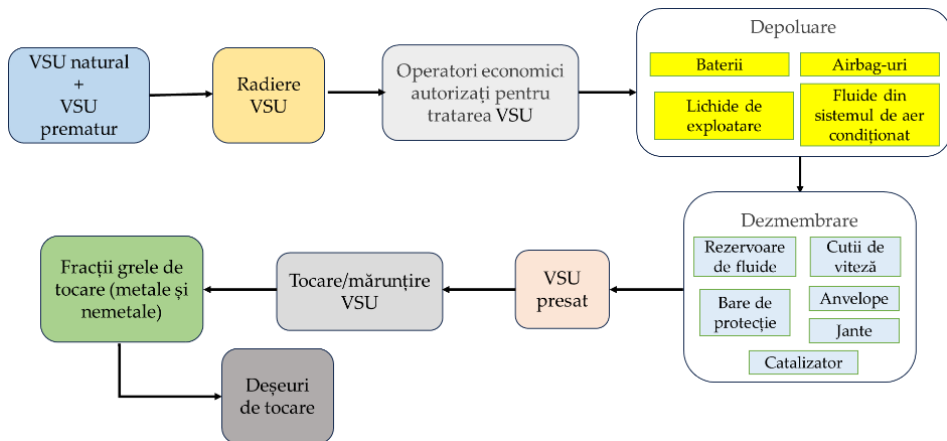


Fig. 5.1 Etapele tratării unui VSU, adaptat după [105]

Un VSU trebuie mai întâi să treacă printr-un proces de *depoluare* ce include:

- eliminarea bateriilor și a rezervorului de combustibil;

- eliminarea sau neutralizarea componentelor care pot fi explozive, cum ar fi airbag-urile;
- colectarea, separarea și depozitarea uleiului de motor, uleiului de transmisie, uleiului hidraulic, lichidului de răcire, antigelului, lichidului de frână, refrigerentului din sistemul de aer condiționat și a oricărui alt fluid de exploatare;
- îndepărtarea cât mai complet posibilă a componentelor identificate că ar conține mercur [102], [105].

Aceste substanțe/materiale constituie 3 % din masa medie a unui VSU. Bateriile pot fi recondiționate sau reutilizate (dacă sunt într-o stare bună) iar fluidele sunt, de obicei, procesate sau valorificate ca și combustibil [103].

După depoluare vehiculul este *dezmembrat* (fig. 5.2). În acest moment, piesele cu potențial de reciclare sau reutilizare sunt îndepărtate [102].

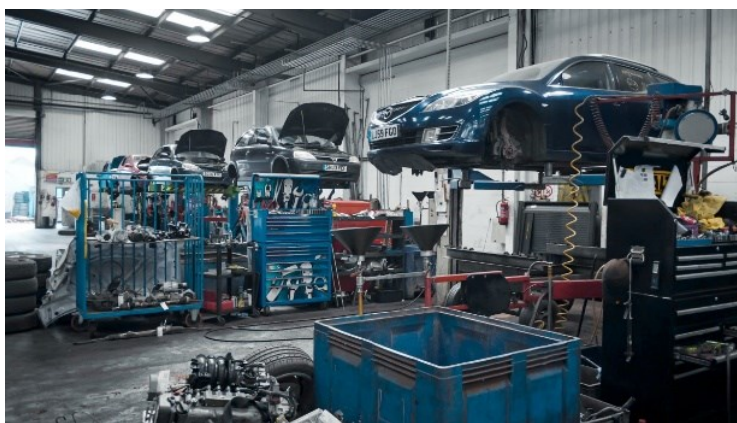


Fig. 5.2 Dezmembrarea unui VSU [106]

Jantele din oțel sau aliaj, anvelopele, motoarele, cutiile de viteze, alternatoarele, distribuitorii, farurile, discurile de frână și radiatoarele sunt printre componentele cel mai frecvent recuperate pentru reutilizare. De obicei, acestea sunt trimise specialiștilor în reprocesare pentru a fi recuperat metalul [103], [107].

În comparație cu VSU-urile naturale, majoritatea componentelor provenite de la VSU premature sunt *reutilizate*. Statisticile arată că aproximativ 47 % din masa unui VSU prematur este dezmembrată în acest scop, în timp ce doar 9 % din masa unui VSU natural este dezmembrată în acest scop. Aproximativ 68 % din piesele dezmembrate sunt vândute pentru reutilizare, iar restul de 32 % sunt adesea tocate (fig. 5.3). Piesele îndepărtate pentru a fi valorificate prin reciclare sunt: catalizatorul, componentele metalice și nemetalice (care conțin cupru, aluminiu, magneziu), anvelopele, sticla și părțile mari din plastic (cum sunt amortizoarele, tabloul de bord și recipientele/rezervoarele de fluide) [103], [107].



Fig. 5.3 Reciclarea unor părți din VSU [106]

După ce au fost îndepărtate cele mai multe componente ușor separabile și valoroase prin procesul de dezmembrare, VSU este de obicei presat, iar apoi *mărunțit/tocat* folosind o moară/tocător cu ciocane (fig. 5.4) (*shredder*). Acest lucru reduce volumul pentru transport și permite separarea materialelor valoroase (de obicei metale) de fracțiunea mai puțin valoroasă (de obicei nemetale). Totuși, carcusele de vehicule rezultate în urma dezmembrării nu sunt mărunțite independent și sunt adesea amestecate cu aparate uzate și cu deșeurile de construcții, de renovare și demolare. În urma tocării, fragmentele rezultate sunt sortate în metale feroase, neferoase și reziduuri de tocare (material plastic, spumă, sticlă, cauciuc și textile) [104]. Un tocător este capabil să recupereze majoritatea conținutului de metal al

unui VSU datorită mediilor de separare care fac selecția fragmentelor rezultate în urma tocării [107].



Fig. 5.4 Procesul de tocare al unui VSU [108]

Tocarea vehiculelor este un proces care implică o moară cu ciocane, ce se află în centrul tocătorului și care acționează ca un arbore tocător, măcinând materialul cu care este alimentat, adică VSU obținut prin presare. Tocarea produce un amestec de metale feroase (cum ar fi deșeurile cu conținut de oțel și fontă), metale neferoase (cum ar fi aliajele de cupru și aluminiu) și reziduuri de tocare. Există o serie de metode utilizate pentru a separa aceste materiale componente. Frațiile grele de tocare (fig. 5.5), care includ metale feroase și neferoase, pot fi trimise la topitorii secundare de metal cu scopul de a fi reciclate și astfel, de a obține produse noi. De obicei, recuperarea fracțiilor grele se realizează prin procedee mecanice sau magnetice.



Fig. 5.5 Frația grea (metalică) rezultă din tocare a unui VSU [109]

După cum se poate observa în figura 5.6, deșeurile de tocare includ fibre, sticlă, cauciuc, aluminiu, materiale plastice și mizerie, adică praf și pământ. Acest ultim reziduu este ocazional diferențiat în fracții ușoare de tocare și este trimis la o groapă de gunoi sau spre depozitare. Aceste deșeuri reprezintă aproximativ 25 % din masa VSU [103], [104].



Fig. 5.6 Deșeurile rezultate din tocare al unui VSU [110]

În urma mărunțirii VSU rezultă componente metalice pentru reciclare, reziduuri de la moara de tocare care pot fi reutilizate și/sau reciclate, plus o parte de reziduuri ce vor fi eliminate prin *depozitare*. După mărunțire, materialele sunt separate folosind diverse tehnici precum:

- separare cu aer;
- separare magnetică;
- separare cu curenți turbionari
- separare cu aer pe pat fluidizat de nisip [104].

Aceste tehnici separă metalele de nemetale și de materialele nemagnetice. Metalele separate sunt apoi reciclate pentru a se obține produse noi. Reziduurile de la tocător sunt destinate depozitării finale și reprezintă între 15 % și 25 % din masa unui VSU, în funcție de proporția materialelor recuperate. Aceste substanțe includ atât substanțe organice cât și substanțe anorganice. Substanțele organice sunt în cea mai mare parte sub

formă de materiale polimerice (41 % din totalul de deșeu organic rezultat) și produse derivate din fibre celulozice. Materialele de natura anorganică sunt sticla, rugina, praful, dar și alte. Regulile privind depozitarea finală au fost modificate, ceea ce a dus la necesitatea pre-tratării (prin procese termice sau chimice) acestor reziduuri înainte de depozitare [102], [103].

Atunci când vine vorba de rezolvarea problemelor cu reziduurile rezultate de la tocătoare, *incinerarea cu recuperarea energetică* pare a fi o opțiune atractivă. Însă, capacitatea de stocare este limitată pe platformele gropilor de gunoi sau operatorilor economici care se ocupă de incinerare. Este posibil ca aceste reziduuri să fie incinerate împreună cu deșeurile menajere ale orașului, dar datorită conținutului de metale ușoare (aluminiu și magneziu) și de materialele compozite din plastic și polimeri, în urma incinerării se pot degaja cantități însemnate de compuși organici volatili [103]. În ceea ce privește reziduurile rezultate în urma tocării, aluminiul are ponderea cea mai mare din clasa de metale neferoase. Aluminiul este produs prin două căi:

- *aluminiul primar* - bauxita este transformată în alumină prin procedeul Bayer;
- *aluminiul secundar* - cunoscut și sub denumirea de aluminiu de reciclare.

Aluminiul produs din materiale reciclate provine din diverse forme de deșuri de aluminiu, inclusiv deșuri de prelucrare, zgură sau produse din aluminiu "învechite" [111]. Printre avantajele fabricării aluminiului prin reciclare, comparativ cu producția primară din bauxită, se numără:

- consum de energie mai redus;
- eliminarea deșeurilor;
- scăderea emisiilor poluante;
- costuri de capital reduse [112].

Industria autovehiculelor este cea mai mare piață pentru aplicații ale materialelor pe bază de aluminiu și cea mai mare sursă deșuri pe bază de aluminiu. Calitatea aluminiului secundar și aliajelor din aluminiu secundar este determinată, în special, de cantitatea de elemente impurificatoare, care

trebuie să fie de maxim 5 %. În figura 5.7 se prezintă diferite forme de deșuri din aluminiu rezultate inclusiv de la vehiculele scoase din uz.

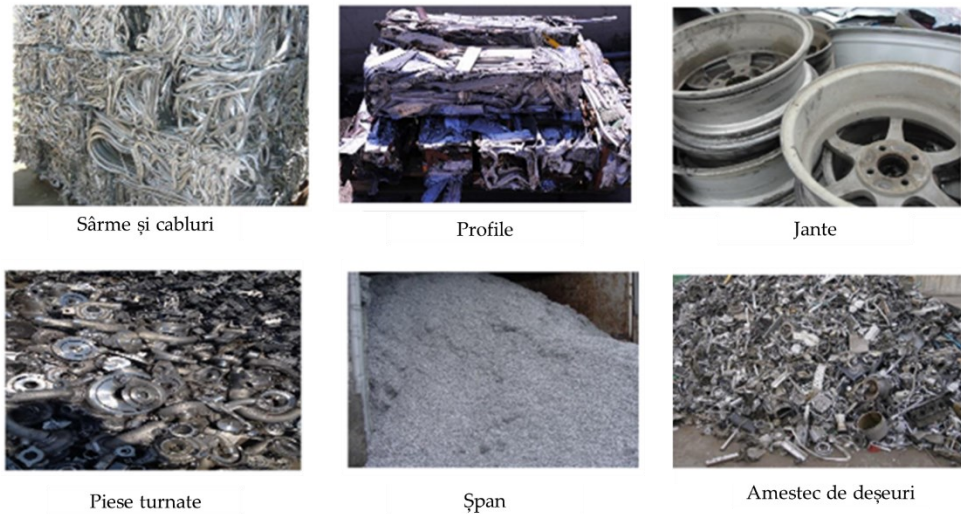


Fig. 5.7 Diverse tipuri de deșuri din aluminiu [113]

Dificultățile care apar la reciclarea aliajelor pe bază de aluminiu sunt toleranța scăzută, gradul ridicat de absorbție a impurităților și compoziția chimică. De exemplu, în cazul impurificării deșeurilor de aluminiu cu zinc sau siliciu, acestea pot fi reciclate doar prin procese de turnare. A doua posibilitate de a produce aliaje noi pe bază de aluminiu constă în diluarea impurităților prin adăugare de aluminiu primar în procesul de fabricație. Procesele de recuperare a aluminiului și a aliajelor pe bază de aluminiu din VSU, constau în separarea mecanică sau separarea prin procese fizice.

Pentru a recupera aluminiul și aliajele acestuia din VSU, sunt utilizate pe scară largă separatoarele magnetice cu tambur (separarea materialelor metalice de materialele nemetalice). În ultimul deceniu, au existat progrese în proiectarea și funcționarea separatoarelor magnetice, în principal, datorită introducerii magneților permanenți din aliaje de pământuri rare, capabili să ofere un randament de separare mai ridicat. De asemenea, se pot utiliza separatoare cu curenți turbionari, procedeu ce se bazează tot pe utilizarea magneților permanenți din pământuri rare. Alte procedee de separare a

amestecurilor de deșeuri rezultate în urma tocării VSU, pentru recuperarea aluminiului și aliajelor pe bază de aluminiu, sunt separarea pe baza densității sau separarea electrostatică [112].

Una dintre cele mai proeminente tendințe din industria autovehiculelor implică realizarea de vehicule cu masă redusă, pentru a reduce consumul de combustibil, și implicit emisiile poluante. În acest scop, piesele grele din oțel sau fontă sunt înlocuite cu compozite ușoare, fibră de carbon, fibră de sticlă și alte materiale plastice. Deși sursa nu este regenerabilă, procesul de producție în sine este mai eficient din punct de vedere energetic, în comparație cu oțelul [114]. De exemplu, scăderea masei totale a unui autovehicul cu 10 kg poate reduce 1 g/km de emisii de CO₂, adică 480 kg de CO₂ pe durata de viață a acestuia (luând în considerare că un autovehicul prezintă o durată de exploatare, în medie, de 480.000 km). În plus, piesele din plastic prezintă proprietăți bune din punct de vedere al rezistenței la impact, izolării termice, reducerii zgomotului și rezistenței la coroziune, care le recomandă pentru a fi utilizate în construcția autovehiculelor [115]. Pentru a satisface noile cerințe impuse constructorilor de autovehicule sunt utilizate componente din materiale de tip compozite din plastic și polimeri (atât la interior cât și la exterior). Pe măsură ce cererea de vehicule ușoare crește, se prevede că până în anul 2025 materialele compozite din plastic și polimeri vor juca un rol semnificativ în industria autovehiculelor [116].

Așa cum s-a prezentat în Capitolul 3, în prezent există aproximativ 39 de tipuri diferite de materiale plastice utilizate pentru construcția autovehiculelor. Cele mai comune (aproximativ 74 % din material plastic folosit în vehicule) sunt:

- polipropilena (PP) (35%) (de exemplu: barele de protecție, fibre de covoare pentru izolarea cablurilor etc.);
- poliuretanul (PU) (19%) (de exemplu: scaune din spumă, panouri izolatoare, bucșe de suspensie, perne, compuși electrice etc.);
- poliamida (PA) (11%) (de exemplu: carcase baterie, furtunuri de frână, bai de ulei etc.);

- policlorura de vinil (PVC) (9%) (de exemplu: tablouri de bord, cabluri electrice, țevi, uși etc.).

Există însă numeroase alte materiale plastice și polimeri utilizate în compozite pentru piese auto (de exemplu: acrilonitril butadienă stiren (ABS), polistiren (PS), polietilenă (PE), polioximetilenă (POM), policarbonat (PC)) [115]. În 2012, mai mult de jumătate din toate materialele plastice din industria autovehiculelor din Europa au fost folosite pentru interiorul vehiculelor (52,5 %), iar restul pentru exterior (21 %), piese sub capotă (14,5 %) și pentru iluminat și electricitate (12 %), după cum se prezintă în figura 5.8 [114].

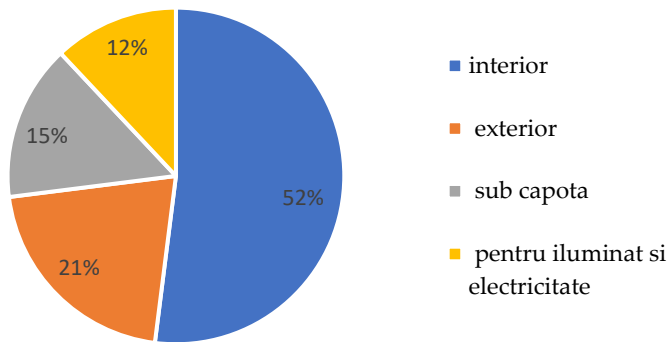


Fig. 5.8 Procentul de materiale plastice utilizate în diferite repere ale autovehiculului [114]

În ceea ce privește deșeurile rezultate în urma tocării VSU, 41 % dintre acestea sunt compuse din materiale plastice. Având în vedere că materialele plastice sunt un amestec eterogen, provocarea majoră constă în separarea eficientă a acestora pe clase. Deoarece varietatea de materiale plastice utilizate la construcția autovehiculelor este din ce în ce mai mare, pentru a se eficientiza procesul de reciclare/recuperare, se recomandă ca, înainte de tocare, să se dezmembreze toate părțile componente ale VSU realizate din mase plastice. După cum s-a menționat anterior, Directiva Uniunii Europene 2000/53/CE impune constructorilor de autovehicule să examineze modul în care materialele din care sunt realizate componentele

autovehiculului sunt gestionate atunci când acestea din urmă ajung VSU, astfel încât, mai ales fracțiile ușoare (deșeurile ce ajung la gropile de gunoi) rezultate în urma tocării să fie recuperate în scopul reciclării [102], [104].

Comisia Europeană propune sectorului industriei autovehiculelor măsuri de îmbunătățire a economiei circulare, măsuri ce acoperă proiectarea, producția și tratarea vehiculelor scoase din uz. Această inițiativă va îmbunătăți accesul la resurse pentru economia din Uniunea Europeană și va contribui la obiectivele UE legate de mediu și climat, respectiv la abordarea provocărilor asociate cu transformarea în curs a industriei autovehiculelor. Regulamentul propus înlocuiește directivele actuale privind vehiculele scoase din uz și privind reutilizarea, reciclarea și recuperabilitatea materialelor. Se preconizează că acest lucru va aduce beneficii substanțiale pentru mediu, inclusiv reducerea anuală cu 12,3 milioane de tone e emisiilor de CO₂ până în anul 2035, o mai bună valorificare a 5,4 milioane de tone de materiale și o recuperare sporită a materiilor prime utilizate în construcția autovehiculelor. Implementarea regulamentului va duce la economii de energie pe termen lung (mai ales în etapa de fabricație) la reducerea dependenței de materiile prime și la promovarea unor modele de afaceri sustenabile și circulare [117].

Bibliografie

- [1] V. Candea and C. Popa, *Inițiere în Știința Metalelor*. Bucuresti: Editura Vega , 1995.
- [2] V. Popescu, O. Horovitz, and L. Damian, *Compozite cu matrice organică*. Cluj-Napoca: UTPRES Publishing House, 2001.
- [3] V. N. Burnete, *Tendinte tehnologice in domeniul autovehiculelor*. 2023. [Online]. Available: <http://biblioteca.utcluj.ro/editura>
- [4] A. W. Orłowicz, M. Mróz, M. Tupaj, and A. Trytek, "Materials Used in the Automotive Industry," *Archives of Foundry Engineering* , vol. 15, no. 2, pp. 75–78, 2015.
- [5] "Technology Roadmaps: Intelligent Mobility Technology, Materials and Manufacturing Processes, and Light Duty Vehicle Propulsion," 2017. [Online]. Available: www.cargroup.org
- [6] The Chassisworks Tech Vault: Choosing A Race Car Chassis, "***<https://www.dragzine.com/tech-stories/chassis-safety/the-chassisworks-tech-vault-choosing-a-race-car-chassis/>, data ultimei accesari 29.11.2023."
- [7] Machining Aluminum Engine Blocks, "***<https://www.enginebuildermag.com/2017/07/machining-aluminum-engine-blocks/>, data ultimei accesari 29.11.2023."
- [8] M. Chiaberge, *New trends and developments in automotive industry*. INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [9] Types of Plastics Used in the Automotive Industry, "***<https://www.rapidirect.com/blog/types-of-automotive-plastics/>, data ultimei accesari 29.11.2023."
- [10] A. Mishra, "Automotive Materials: An Overview," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2020, [Online]. Available: www.irjet.net

-
- [11] N. Fardad, "The Science Behind Tread Compounds on Passenger Tires," 2021. [Online]. Available: <https://www.tirereview.com/science-tread-compounds-passenger-tires/>
- [12] V. Suciú and M. V. Suciú, *Studiul Materialelor*. Bucuresti: Fair Partners, 2007.
- [13] G. Strand, *Tehnologia materialelor I*. Universitatea „Petru Maior” din Tîrgu-Mureş, 2014.
- [14] Z.-K. Liu, L. Höglund, B. Jönsson, and J. ågren, "An experimental and theoretical study of cementite dissolution in an Fe-Cr-C alloy," *Metallurgical Transactions A*, vol. 22, no. 8, pp. 1745–1752, Aug. 1991, doi: 10.1007/BF02646498.
- [15] Z. Heng, M. Maeda, and Y. Takahashi, "Identification of predominant interfacial contact mechanisms in solid-state bonding of superplastic high carbon steel," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 61, p. 012003, Aug. 2014, doi: 10.1088/1757-899X/61/1/012003.
- [16] J. Suchánek, V. Kuklík, and E. Zdravecká, "Influence of microstructure on erosion resistance of steels," *Wear*, vol. 267, no. 11, pp. 2092–2099, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.wear.2009.08.004.
- [17] H. Nishijima, Y. Tomota, Y. Su, W. Gong, and J. I. Suzuki, "Monitoring of bainite transformation using in situ neutron scattering," *Metals (Basel)*, vol. 6, no. 1, Jan. 2016, doi: 10.3390/met6010016.
- [18] S. F. Medina, M. Netto Gomez, and A. Quispe, "The role of vanadium in microalloyed steels: Austenite grain refinement, intragranular nucleation of ferrite and mechanical properties," 2012. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/286286336>
- [19] F. G. Cabarello, C. Capdevila, and C. García De Andrés, "Modelling of kinetics of austenite formation in steels with different initial

- microstructures,” *ISIJ International*, vol. 41, no. 10, pp. 1093–1102, 2001.
- [20] V. Candea, C. Popa, N. Sechel, and V. Buharu, *Clasificarea si simbolizarea aliajelor feroase si neferoase*. Cluj-Napoca: UT Press, 2010.
- [21] A. F. Mekonnen and A. S. Mahmut, “Materials used in automotive manufacture and material selection using ashby charts,” *International Journal of Materials Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 40–54, 2018, doi: 10.5923/j.ijme.20180803.02.
- [22] A. Alexandru, *Metalurgie fizică*. Iasi: Tehnopress, 2005.
- [23] N. Popescu, *Studiul materialelor - Manual pentru licee industriale, agroindustriale si silvice, de matematica-fizica si de filologie-istorie, clasa a IX-a*. Bucuresti: Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
- [24] M. C. Pantilimon, “Concepte moderne privind otelurile pentru structura de rezistenta a autovehiculelor rutiere,” *Universitatea Politehnica din Bucuresti*, Bucuresti, 2020.
- [25] T. Heller and A. Nuss, “Effect of alloying elements on microstructure and mechanical properties of hot rolled multiphase steels,” *Ironmaking and Steelmaking*, vol. 32, no. 4, pp. 303–308, 2005.
- [26] C. Dulucheanu, T. L. Severin, D. A. Cerlinca, and L. Irimescu, “Structures and Mechanical Properties of Some Dual-Phase Steels with Low Manganese Content,” *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.3390/met12020189.
- [27] Stronger AHSS Knowledge Required for Metal Stampers, “***<https://ahssinsights.org/news/stronger-ahss-knowledge-required-for-metal-stampers/>, data ultimei accesari 21.11.2023.”
- [28] M. Tisza, “Development of Lightweight Steels for Automotive Applications,” in *Engineering Steels and High Entropy-Alloys*, IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.91024.
- [29] Dual-phase steels – tailored portfolio for modern lightweight construction,

- “***<https://www.kloecknermetals.com/products/ahss-uhss/dual-phase-steel/>, data ultimei accesari 27.11.2023.”
- [30] S. K. Dwivedi and M. Vishwakarma, “Effect of hydrogen in advanced high strength steel materials,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 51, pp. 28007–28030, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.08.149.
- [31] G. N. Haidemenopoulos, M. Grujicic, G. B. Olson, and M. Cohen, “Transformation microyielding of retained austenite,” *Acta Metallurgica*, vol. 37, no. 6, pp. 1677–1682, Jun. 1989, doi: 10.1016/0001-6160(89)90134-X.
- [32] D. Krizan and J. A. Arcelormittal, “Retained austenite stability in the cold rolled CMnAlSiP micro-alloyed TRIP steels,” 2004. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/279577702>
- [33] Hanzaki A Z, Hodgson Peter, and Yue S, “Hot deformation characteristics of Si-Mn TRIP steels with and without Nb microalloy additions,” *ISIJ International*, vol. 35, no. 3, pp. 324–331, 1995.
- [34] H. D. Van, C. N. Van, T. T. Ngoc, and T. S. Manh, “Influence of heat treatment on microstructure and mechanical properties of a CMnSi TRIP steel using design of experiment,” *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 11, pp. 24664–24674, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.264.
- [35] D. Chatterjee, “Behind the Development of Advanced High Strength Steel (AHSS) Including Stainless Steel for Automotive and Structural Applications-An Overview,” *Materials Science and Metallurgy Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2017, doi: 10.12691/msme-4-1-1.
- [36] B. R. Swain, D. Cho, J. Park, J.-S. Roh, and J. Ko, “Complex-Phase Steel Microstructure Segmentation Using UNet: Analysis across Different Magnifications and Steel Types,” *Materials*, vol. 16, no. 23, p. 7254, Nov. 2023, doi: 10.3390/ma16237254.

- [37] M. Shome and M. Tumuluru, Eds., *Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS)*. Elsevier, 2015. doi: 10.1016/C2013-0-16259-9.
- [38] Mobility applications for complex phase steels, “***<https://www.ssab.com/en/brands-and-products/docol/automotive-steel-grades/complex-phase-steel>, data ultimei accesari 27.11.2023.”
- [39] E. Nagy, “Dexvoltarea otelului de inalta rezistenta slab aliat (HSLA) Developing of the high-strength low-alloy steel (HSLA),” in *A XIII-a Conferinta internationala multidisciplinara „Profesorul Dorin Pavel fondatorul hidroenergeticii romanesti” - Sebes*, 2013, pp. 115–120.
- [40] I. L. Bolundut, *Știința și ingineria materialelor*. Chisinau: Tehnica – Info, 2010.
- [41] F. Chichernea, “Alegerea aliajului din fonta pentru motoarele auto,” *Buletinul AGIR*, no. 2, pp. 47–54, 2015, [Online]. Available: <https://www.google.ro/search?q>
- [42] S. Genculu, “Cast Irons-Properties and Applications.”
- [43] Chiuloase din fonta, “***<https://alloy.ro/sudura-chiuloase-din-fonta>, data ultimei accesari 28.11.2023.”
- [44] Disc de frana, “***<https://www.autopieseonline24.ro/abe/178289>, data ultimei accesari 29.1.1.2023.”
- [45] Roti dintate, “***<https://roti-dintate.ro/piese/roti-dintate/>, data ultimei accesari 28.1..2023.”
- [46] N. Bataga, N. Burnete, A. Cazila, I. Rus, S. Sopa, and I. Teborean, *Motoare cu ardere internă*. Cluj-Napoca: Editura didactică și Pedagogică, 1995.
- [47] A. Balitskii, M. Mrozik, and K. F. Abramek, “Material changes in the construction of passenger and cargo vehicles,” *Problemy Eksploatacji*, vol. 3, pp. 77–89, 2016.

- [48] W. Zhang and J. Xu, "Advanced lightweight materials for Automobiles: A review," *Mater Des*, vol. 221, p. 110994, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.matdes.2022.110994.
- [49] 6016 Aluminium Alloy for Car Body, "^^^<https://www.autoaluminumsheet.com/product/6016-aluminium-alloy-for-car-body.html>, data ultimei accesari 28.11.2023."
- [50] F. Czerwinski, "Current trends in automotive lightweighting strategies and materials," *Materials*, vol. 14, no. 21, Nov. 2021, doi: 10.3390/ma14216631.
- [51] J. Tan and S. Ramakrishna, "Applications of Magnesium and Its Alloys: A Review," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 15, p. 6861, Jul. 2021, doi: 10.3390/app11156861.
- [52] K. Sivanur, K. V. Umananda, and D. Pai, "Advanced materials used in automotive industry-a review," 2021, p. 020032. doi: 10.1063/5.0036149.
- [53] O. Schauerte, "Titanium in Automotive Production," *Adv Eng Mater*, vol. 5, no. 6, pp. 411–418, Jun. 2003, doi: 10.1002/adem.200310094.
- [54] T. Furuta, "Automobile applications of titanium," in *Titanium for Consumer Applications*, Elsevier, 2019, pp. 77–90. doi: 10.1016/B978-0-12-815820-3.00006-X.
- [55] M.-P. Todor and I. Kiss, "Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient," *Applied Engineering Letters*, vol. 1, no. 4, pp. 2466–4847, 2016.
- [56] D. Marincas and E. Negrus, *Combustibili, lubrifianti si materiasle speciale pentru automobile*. Bucuresti: Editura Didactica si Pedagogica, 1977.

- [57] I. Ilie, *Materiale utilizate in constructia de autovehicule*. Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/33654697/Materiale_utilizate_in_constructia_de_autovehicule
- [58] K. H. Dietsche, K. Reif, and et al., *Book_Bosch2018_Bosch Automotive Handbook_1-460*.
- [59] BÜFA Thermoplastic Composites GmbH & Co. KG, "***<https://thermoplasticcomposites.de/en/2019/12/03/differences-in-structure-the-properties-of-plastic-types/>," ultima accesare 19.10.2023.
- [60] S. Nada, G. Alen, and B. Cedomir, "Polymeric materials in automobiles ," *Promet-Traffic- Traffico*, vol. 17, no. 3, pp. 149–160, 2005.
- [61] 15 inch Hubcap for 2020 2021 Toyota Corolla Sedan Wheel Cover 15 in Hub Cap Silver - Set of 4 Pcs, "<https://www.amazon.com/Hubcap-Toyota-Corolla-Sedan-Silver/dp/B09NH6CVMX>, data ultimei accesari 15.11.2023."
- [62] Motor Vehicle Lighting, "https://www.fruugo.ro/for-200-2014-left-car-headlight-cover-head-light-lamp-transparent-lampshade-shell-lens-glass/p-157668340-334140006?language=en&ac=KelkooCSS&asc=pmax&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA9dGqBhAqEiwAmRpTCwfXKHut9lLqkA8SAIWgl36sJtQlhOUU9Glbzmj8_F-nWdA05T5GBhoCLpkQAvD_BwE, data ultimei accesari 15.11.2023."
- [63] P. O. a R. of A. S. Chemistry & Life Sciences, "<https://www.chemanager-online.com/en/news/plexiglas-offers-raft-automotive-solutions>, data ultimei accesari 15.11.2023."
- [64] MAYUR UNIQUOTERS CORP., "https://www.mayuruniquoters.com/products/AUTO9/product-9_xl.jpg, data ultimei accesari 15.11.2023."

-
- [65] “***<https://www.autopieseonline24.ro/furtun-combustibil/opel-zafira>, data ultimei accesari 15.11.2023.”
- [66] Automotive fuel hose, “***<https://www.autoworks.com.au/blog/36-automotive-fuel-hose-how-much-do-you-know>, Data ultimei accesari 24.11.2023.”
- [67] D. Floricel, “Cercetari privind imbunatatirea calitatii si performantelor unor reperi din materiale plastice avansate cu aplicatii in constructia de autovehicule,” Universitatea Transilvania din Barsova, Brasov, 2010.
- [68] Fuel Tank Systems, “***<https://polymers.totalenergies.com/markets/automotive/fuel-tank-systems>, data ultimei accesari 15.11.2023.”
- [69] All Street Plastic Aero Front Bumper Bar, “***<https://www.autosportimports.com.au/product/all-street-aero-front-bumper-bar-nissan-silvia-s15/>, data ultimei accesari 15.11.2023.”
- [70] Durable 6 Way 30A Automotive Fuse Box With Relay PBT Base Plastic Cover, “***<https://www.fuse-china.com/sale-13897361-durable-6-way-30a-automotive-fuse-box-with-relay-pbt-base-plastic-cover.html>, data ultimei accesari 15.11.2023.”
- [71] Simering, “***<https://www.depozituldesimeringuri.ro/cumpara/simering-cfw-32-42-7-m-164-32x42x7-0500866-f00866-6452806>, data ultimei accesari 15,11,2023.”
- [72] A. Chiru, S. Țârulescu, and D. Dumitrascu, *Materiale in industria autovehiculelor*. Reprografia Universitatii Transilvania din Brasov, 2009.
- [73] P. Semedi and A. Prasetya, “Oil Palm versus Rubber: GIS Empirical Check for Land Grabbing in West Kalimantan,” 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281104127>

- [74] pompa hidraulica auto Set de garnituri, [***https://www.autodoc24.ro/piese-de-schimb/set-de-garnituri-pompa-hidraulica-15154](https://www.autodoc24.ro/piese-de-schimb/set-de-garnituri-pompa-hidraulica-15154), data ultimei accesari 17.11.2023.”
- [75] What If Your Tires Could Talk? Rubber Compounds and Resistance, [***https://www.elastoproxy.com/tires-talk-rubber-compounds-resistance/](https://www.elastoproxy.com/tires-talk-rubber-compounds-resistance/), data ultimei accesari 22.11.2023.”
- [76] Thermoplastic Rubber Seal And Gasket, [***https://www.santopseal.com/services/santoprene-tpv-extruded-seals-and-gaskets/](https://www.santopseal.com/services/santoprene-tpv-extruded-seals-and-gaskets/), data ultimei accesari 22.11.2023.”
- [77] Poliuretan (PUR), [***https://www.ceproinv.ro/produse/poliuretan-pur](https://www.ceproinv.ro/produse/poliuretan-pur), data ultimei accesari 22.11.2023.”
- [78] ****SR EN ISO 868:2003 Materiale plastice și ebonită. Determinarea durității prin penetrare cu un durometru (duritate Shore)*, data ultimei accesari 22.11.2023.”
- [79] Everything You Need To Know About Durometers, [***https://www.lfc.com.sg/blog/detail/Basics-of-Durometers](https://www.lfc.com.sg/blog/detail/Basics-of-Durometers), data ultimei accesari 24.11.2023.”
- [80] M. A. Potirniche, “Analiza dinamica a comportarii izolatorilor din elastomeri la actiuni seismice,” Universitatea Dunărea de Jos din Galați, Galati, 2013.
- [81] What is Young’s Modulus?, [***https://www.servicethread.com/blog/what-is-youngs-modulus](https://www.servicethread.com/blog/what-is-youngs-modulus), data ultimei accesari 24.11.2023.”
- [82] Differences in Polymer Structures, [***http://designkmg.weebly.com/plastics.html](http://designkmg.weebly.com/plastics.html), data ultimei accesari 24.11.2023.”
- [83] Cuzineti-biela, [***https://www.epiesa.ro/cuzineti-biela-asam-30668-epsprdt-3037072.htm](https://www.epiesa.ro/cuzineti-biela-asam-30668-epsprdt-3037072.htm), data ultimei accesari 22.11.2023.”

- [84] Inside Door Handle, “***<https://www.walmart.com/ip/Inside-Door-Handle-2PCS-ABS-55176477AB-Left-Right-Anticorrosion-For-Car-Replacement-For-1987-2004/1356414644>, data ultimei accesari 22.11.2023.”
- [85] How Composite Body Parts are Created - The Lightweight Division, “***<https://www.motortrend.com/how-to/1402-how-composite-body-parts-are-created/?galleryimageid=cda150d4-bc21-4e74-83f5-3075771bd9bc>, data ultimei accesari 22.11.2023.”
- [86] P. Feraboli and A. Masini, “Development of carbon/epoxy structural components for a high performance vehicle,” *Compos B Eng*, vol. 35, no. 4, pp. 323–330, 2004, doi: 10.1016/j.compositesb.2003.11.010.
- [87] “*** SR EN ISO 527-2:2012 Materiale plastice. Determinarea proprietăților de tracțiune. Partea 2: Condiții de încercare a materialelor plastice pentru injecție și extrudare.”
- [88] “***SR EN ISO 179-1:2023 Materiale plastice. Determinarea caracteristicilor la șoc Charpy. Partea 1: Încercarea neinstrumentală la șoc.”
- [89] “***SR EN ISO 306:2023 Materiale plastice. Materiale termoplastice. Determinarea temperaturii de înmuiere Vicat (VST).”
- [90] “***SR EN ISO 75-1:2020 Materiale plastice. Determinarea temperaturii de încovoiere sub sarcină. Partea 1: Metodă generală de încercare.”
- [91] V. Merie, V. Candea, and C. Popa, *Materiale de fricțiune sinterizate cu baza fier*. Cluj-Napoca: UT Press, 2012.
- [92] J. Bijwe, “Multifunctionality of nonasbestos organic brake materials,” in *Multifunctionality of Polymer Composites*, Elsevier, 2015, pp. 551–572. doi: 10.1016/B978-0-323-26434-1.00017-9.
- [93] T. Larsen, T. L. Andersen, B. Thorning, A. Horsewell, and M. E. Vigild, “Changes in the tribological behavior of an epoxy resin by

- incorporating CuO nanoparticles and PTFE microparticles," *Wear*, vol. 265, no. 1–2, pp. 203–213, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.wear.2007.10.003.
- [94] X. Zhang, X. Pei, and Q. Wang, "Friction and wear properties of polyimide matrix composites reinforced with short basalt fibers," *J Appl Polym Sci*, vol. 111, no. 6, pp. 2980–2985, 2009, doi: 10.1002/app.29353.
- [95] J. Sudhan Raj, T. V. Christy, S. Darius Gnanaraj, and B. Sugoza, "Influence of calcium sulfate whiskers on the tribological characteristics of automotive brake friction materials," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 23, no. 2, pp. 445–451, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.jestch.2019.06.007.
- [96] S. Zhang and F. Wang, "Comparison of friction and wear performances of brake materials containing different amounts of ZrSiO₄ dry sliding against SiCp reinforced Al matrix composites," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 443, no. 1–2, pp. 242–247, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.msea.2006.09.054.
- [97] L. Xia, B. Jia, J. Zeng, and J. Xu, "Wear and mechanical properties of carbon fiber reinforced copper alloy composites," *Mater Charact*, vol. 60, no. 5, pp. 363–369, May 2009, doi: 10.1016/j.matchar.2008.10.008.
- [98] J. Wang *et al.*, "Microstructure and mechanical properties of C/C-SiC composites fabricated by a rapid processing method," *J Eur Ceram Soc*, vol. 29, no. 14, pp. 3091–3097, Nov. 2009, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2009.04.036.
- [99] P. J. Blau and H. M. Meyer, "Characteristics of wear particles produced during friction tests of conventional and unconventional disc brake materials," *Wear*, vol. 255, no. 7–12, pp. 1261–1269, 2003, doi: 10.1016/S0043-1648(03)00111-X.
- [100] J. Duan *et al.*, "Tribological behavior and applications of carbon fiber reinforced ceramic composites as high-performance frictional

- materials," *Ceram Int*, vol. 47, no. 14, pp. 19271–19281, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.ceramint.2021.02.187.
- [101] "Regulamentul nr. 13 al Comisiei Economice pentru Europa a Organizației Națiunilor Unite (CEE-ONU) – Cerințe uniforme privind omologarea vehiculelor din categoriile M, N și O în ceea ce privește frânarea [2016/194]."
- [102] "DIRECTIVA 2000/53/CE A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 18 septembrie 2000 privind vehiculele scoase din uz."
- [103] R. Costea, "Reciclarea vehiculelor scoase din uz," *Academia.edu*.
- [104] J. A. Stagner, S. Tseng, and E. K. L. Tam, "Bio-Based Polymers and End-of-Life Vehicles," *J Polym Environ*, vol. 20, no. 4, pp. 1046–1051, Dec. 2012, doi: 10.1007/s10924-012-0509-3.
- [105] A. H. Molla, S. H. Moghtaderi, Z. Harun, A. Jedi, and N. Manoj Kumar, "Insights into end-of-life vehicle recycling and its quality assessment systems in Malaysia reveals the need for a new stakeholder-centric approach for vehicle waste management," *Prod Manuf Res*, vol. 11, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1080/21693277.2023.2236676.
- [106] Vehicle Dismantling, "https://www.asm-autos.co.uk/vehicle-dismantling/", data ultimei accesari 28.11.2023."
- [107] Vehicule scoase din uz (VSU), "https://hartareciclarii.ro/material/vehicule-scoase-din-uz-vs/, data ultimei accesari 23.11.2023."
- [108] L. & B. S. (TLB) for A. S. Twiflex Turning, "https://www.altramotion.com/en/newsroom/2017/12/ap-tlb-for-auto-shredder, data ultimei accesari 27.11.2023."
- [109] Shredding of automotive shredder residue, "Shredding of automotive shredder residue, data ultimei accesari 27.11.2023."

- [110] Demonstration plant for the recovery of plastics from the shredding residues of end-of-life vehicles (ELVs) most of which are landfilled or incinerated, [****http://lifepstsort.eu/en/b/news-events/p/demonstration-plant-for-the-recovery-of-plastics-from-the-shredding-residues-of-end-of-life-vehicles-elvs-most-of-which-are-landfilled-or-incinerated-22](http://lifepstsort.eu/en/b/news-events/p/demonstration-plant-for-the-recovery-of-plastics-from-the-shredding-residues-of-end-of-life-vehicles-elvs-most-of-which-are-landfilled-or-incinerated-22), data ultimei accesari 27.11.2023.”
- [111] R. Lumley, Ed., *Fundamentals of Aluminium Metallurgy Production, Processing and Applications*. Cambridge, UK : Woodhead Publishing Ltd., 2011.
- [112] J. Cui and H. J. Roven, “Recycling of automotive aluminum,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 20, no. 11, pp. 2057–2063, Nov. 2010, doi: 10.1016/S1003-6326(09)60417-9.
- [113] Materiale secundare din aluminiu, [****http://www.asmetal.ro/wp-content/uploads/2014/10/MANUAL-FURNIZOR_RO.pdf](http://www.asmetal.ro/wp-content/uploads/2014/10/MANUAL-FURNIZOR_RO.pdf), data ultimei accesări 29.11.2023.”
- [114] [**** CBI Ministry of Foreign Affairs, Plastics for vehicles in the European Union](#), data ultimei accesari 24.11.2023.”
- [115] [****EuRIC call for recycled plastic content in cars - position papaer -](#), data ultimei accesari 21.11.20232.”
- [116] D. K. Sainy, A. K. Saraf, and N. S. Rathee, “Potential of metals recovery from end-of-life vehicles parts after dismantling vehicles,” *Mater Today Proc*, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.03.001.
- [117] Circular economy. Improving design and end-of-life management of cars for more resource-efficient automotive sector, [****https://errin.eu/news/circular-economy-improving-design-and-end-life-management-cars-more-resource-efficient](https://errin.eu/news/circular-economy-improving-design-and-end-life-management-cars-more-resource-efficient), data ultimei accesari 29.11.2023”.