

TEZA DE DOCTORAT

MODALITĂȚI DE CREȘTERE A
FIABILITĂȚII REPERELOR DE
AUTOTURISME

Doctorand:

Ing. IGREȚ SORIN VLAD

Coordonator stiintific:

Prof.dr.ing. IOAN GHEORGHE CARȚIȘ

MODALITATI DE CRESTERE A FIABILITATII REPERELOR DE AUTOTURISME

CUPRINS

INTRODUCERE

Cap. 1. Studiu critic privind anduranta motoarelor cu ardere interna pentru autoturisme.-8

1.1. Istoric privind fabricatia de autoturisme in Romania -8

1.2. Tendinte in productia de motoare performante pentru autoturisme -10

Cap. 2. Defectiuni specifice autovehicolelor -31

2.1. Tipuri de defectiuni si cauzele care le produc -31

2.2. Defectiuni specifice motoarelor cu ardere interna -35

2.3. Corelatia dintre tipurile de defectiuni si indicatorii de fiabilitate -46

Cap. 3. Notiuni generale despre fiabilitate -62

3.1.Generalitati -62

3.2 Modalitati de crestere a fiabilitatii motoarelor pentru autoturisme -72

Cap 4. Rolul tratamentelor termice si termochimice in cresterea fiabilitatii unor repere ale autoturismelor -114

4.1. Generalitati -114

4.2. Tratamente termice primare -127

4.3. Tratamente termice secundare -135

4.4. Tratamente tremochimice -143

Cap 5. Executarea si testarea unui arbore cu came tubular -158

- 5.1. Proiectarea prin metoda elementului finit a unui arbore cu came -158
- 5.2. Analiza prin metoda elementului finit a arborelui de distributie tubular cu came amovibile -169
- 5.3. Alegerea materialului si elaborarea semifabricatului -178
- 5.4. Incercari de anduranta a arborelui cu came tubular -210
- 5.5. Eficienta economica -211

Cap. 6. Concluzii finale si contributii originale -215

- 6.1. Concluzii generale -215
- 6.2. Contributii originale -217

BIBLIOGRAFIE -221



INTRODUCERE

Puternica dezvoltare economică de la sfârșitul secolului XX și începutul secolului XXI a impus necesitatea dezvoltării transporturilor de mărfuri și persoane, ceea ce a condus la creșterea ponderii transporturilor în ansamblul activităților economice. Astfel, în prezent transporturile reprezintă 10...15% din produsul intern brut al țărilor puternic dezvoltate, ceea ce face ca acest sector să devină un veritabil factor de producție.

Industria de transport reprezintă peste 10% din produsul intern brut (PIB) al Uniunii Europene (UE), angajează peste 6% din forța de muncă și circa 40% din investițiile Statelor Membre și 30% din consumul de energie din UE. De asemenea, acest segment economic oferă peste 10 milioane de locuri de muncă.

În aceste condiții asistăm la o permanentă creștere a numărului de autovehicule rutiere.

Un loc important în industria transporturilor îi revine industriei de automobile, care a evoluat exploziv în ultimele decenii, atât în plan tehnologic (echiparea cu motoare performante de consum mic, dieselizarea, limitarea poluării etc.), cât și în plan teritorial, prin internaționalizarea producției. Marile firme din lumea automobilului au pătruns astăzi pe toate continentele, cu deosebire în țările în curs de dezvoltare, unde au instalat linii de montaj folosind mână de lucru ieftină.

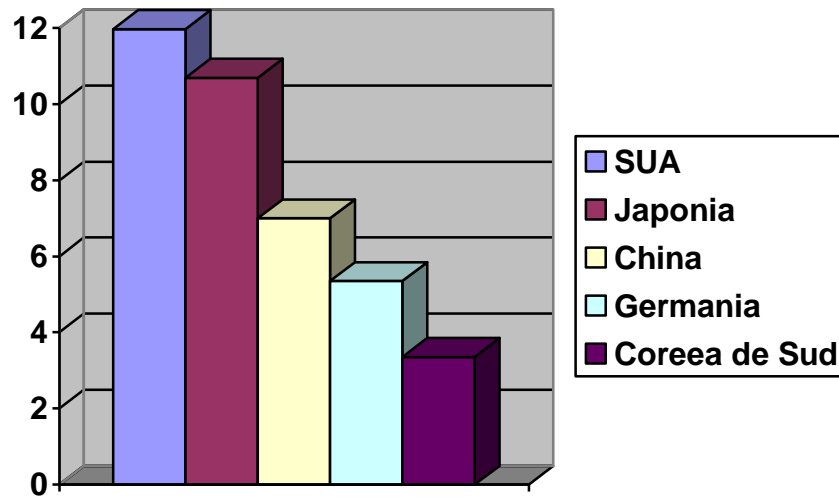
Ca urmare, producția de automobile a ajuns în anul 2006 la 66.465.000 bucăți, iar în primul trimestru al anului 2007 s-au fabricat 34.500.000 unități, ceea ce face ca cifra prognozată de 70 milioane automobile fabricate în anul 2007 să fie realistă.

La ora actuală, marii producători de automobile vizează pătrunderea în țări ce pot deveni piețe de desfacere și asistăm la o luptă acerbă pentru acapararea piețelor internaționale. Concurența extraordinară dintre constructori aduce mari câștiguri în plan tehnologic prin perfecționarea caracteristicilor tehnice, îndeosebi în planul consumului de carburanți și al impactului ecologic (aparitia automobilelor electrice și solare, folosirea unor compuși aromatici nepoluanti, introducerea catalizatorilor).

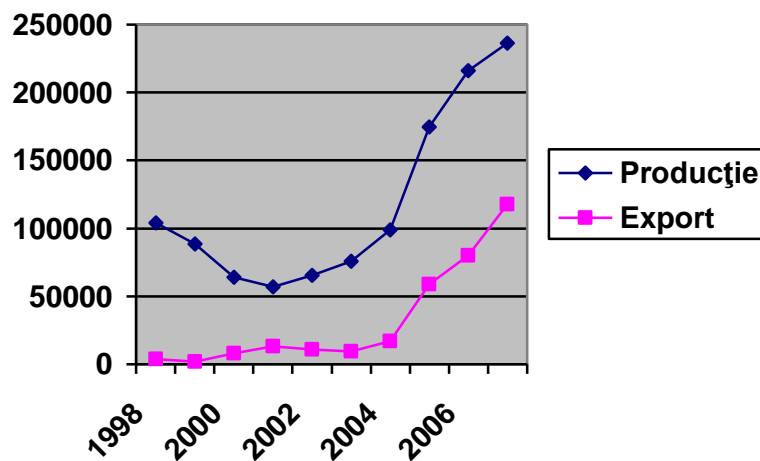
Cei mai mari producători de automobile pe plan mondial sunt: SUA (11,98 milioane unități), Japonia (10,7 mil.), China (peste 7 mil.), Germania (5,35 mil.) și Coreea de Sud (3,357 mil.)-planșa 1.

În Europa s-au fabricat în anul 2006 un număr de 18,289 mil. automobile din care 17,042 mil. în cele 25 de state membre U.E., , producții peste 1 mil. unități realizând Germania, Franța, Marea Britanie, Italia și Spania.

În declin la sfârșitul secolului trecut, producția de automobile din România a luat un nou avânt la jumătatea acestui deceniu. Astfel, în anul 2005, România a ocupat locul II pe plan mondial privind rata de creștere a producției auto cu o majorare de 76%, față de anul precedent, ceea ce a propulsat-o pe poziția 32 din lume cu 174.538 autoturisme fabricate în acel an. Ritmul ascendent se menține și chiar s-a accelerat după aderarea României la Uniunea Europeană. Dovadă stă faptul că în anul 2006 s-au produs 201.663 autoturisme, cu o creștere de 15,5% față de anul precedent, iar în primele 6 luni ale anului 2007 producția a fost de 118.091 autoturisme, în creștere cu 9,4% față de perioada similară a anului 2006 – planșa nr. 2.



Planșa 1. Principalele țări producătoare de automobile în anul 2006 (milioane de unități)



Planșa 2 - Dinamica producției și exportului de autoturisme fabricate în România în perioada 1999-2007

Conform statisticilor Organizației Internaționale a Constructorilor de Automobile (OICA), în 2006 au fost produse în Cehia 854.907 autovehicule, în Polonia - 714.600

unități, în Slovacia - 295.391 unități, Ucraina - 295.260 unități, România - 213.597 unități, Ungaria - 190.823 unități, Slovenia - 150.320 unități.

Intensificarea producției de mijloace de transport rutiere este însoțită de o continuă preocupare privind modernizarea lor, sporirea siguranței în circulație și diminuarea efectelor negative asupra mediului înconjurător.

Faptul că aproximativ 70% din totalul automobilelor fabricate îl constituie autoturismele, face ca acestui tip de autovehicul să i se acorde o atenție deosebită de către producătorii de automobile.

Pe langa preocupările privind modernizarea, reducerea consumului de carburanți și a gradului de poluare, a elaborării de noi tehnologii de fabricație, utilizarea de noi materiale, o atenție sporită se acordă siguranței în exploatare și implicit a duranței autoturismelor.

Lucrarea are drept scop studierea unui reper deosebit al motorului, arborele de distribuție (arborele cu came), realizat printr-un nou procedeu tehnologic, prin care se urmărește atât reducerea masei acestuia cât și reducerea costurilor de mentenanță. S-a ales arborele cu came deoarece acesta, ca parte componentă a mecanismului de distribuție a gazelor are un rol esențial în buna funcționare a motorului. Prin forma sa constructivă și datorită condițiilor severe de funcționare, fabricarea arborelui cu came presupune utilizarea unor materiale și tehnologii deosebite, ceea ce face ca acest reper să fie destul de scump și în același timp operațiunile de recondiționare sunt costisitoare. O parte din aceste inconveniente pot fi eliminate prin utilizarea tehnologiei de fabricație prezentată în această lucrare.

O atenție deosebită se acordă tratamentelor termice, acestea având ca scop creșterea rezistenței la uzare și la oboseală, în ultima instanță a duranței acestor arbori.

La acest tip de arbore de distribuție, camele nu fac corp comun cu axul propriu-zis ca în cazul axelor uzuale, deoarece în fapt arborele este o țevă, iar camele se montează ulterior prin presare (se încălzesc camele la o anumită temperatură, iar axul, prin procedee speciale, se răcește, după care se fixează camele pe ax în faza dorită, iar când piesa finită revine la temperatura normală, axul practic se dilată iar camele suportă o contracție astfel realizându-se o asamblare nedemontabilă).

Acest procedeu pare simplu la prima vedere, dar luând în considerare caracteristicile funcționale, realizarea acestui tip de ax cu came este destul de laborioasă, deoarece însăși fixarea în fazele de distribuție a camelor (gradele de admisie respectiv evacuare) necesită dispozitive complexe, fiind exclusă varianta manuală, mai ales dacă este vorba de producție de serie mare.

Avantajele acestei soluții constructive constau în excluderea unui eventual tratament termic la piesa finală ce ar putea duce la deteriorarea ei în cazul nerespectării procedurii sau a parametrilor și bineînțeles masa redusă a piesei (axul este o țevă nu o bară ca în cazul clasic). Astfel, un arbore clasic, de obicei realizat din fonta nodulară cu crustă de fontă albă și turnată într-o cochilă metalică ajunge să depășească de două ori greutatea unui arbore realizat din țeava și came aplicate.

De asemenea, realizarea camelor, fiecare în parte separat de ax, reprezintă, din punct de vedere tehnologic o simplificare atât din punctul de vedere al prelucrării cât și al tratamentului termic care se poate realiza pentru un număr mare de came deodată (de ordinul zecilor sau chiar sutelor de bucăți, în funcție de posibilități).

Unul dintre obiectivele acestei lucrări îl constituie verificarea posibilității reparării unui ax de acest gen prin înlocuirea camei uzate sau chiar a axului propriu zis în cazul în care prezintă uzuri la nivelul lagărelor. De asemenea, se studiază posibilitatea ca, în cazul unui incident cauzat de ruperea curelei de distribuție la turații ridicate, când ar fi posibilă răsucirea camei pe ax, incidentul să se soldeze doar cu îndoirea supapelor și nu și cu spargerea pistoanelor sau chiar a blocului motor.

Se urmărește de asemenea posibilitatea realizării arborelui propriu-zis dintr-un material care să respecte un anumit comportament funcțional (ductil, elastic, care să absoarbă vibrațiile), iar camele să se realizeze dintr-un alt material rezistent la uzură.

Spre deosebire de arborii cu came actuali, care fiind realizați din același material, chiar în cazul unui tratament termic de îmbunătățire a suprafeței, acesta se realizează pe toată suprafața piesei, atât pe came cât și pe arborele propriu-zis, la arborii cu came detașabile, tratamentele termice se pot efectua diferențiat pentru arbore și pentru came.

De menționat ar mai fi reducerea substanțială a pierderilor de material față de varianta clasică în care axul se prelucrează din bară plină, cu tot cu camele pe el, diferențele de diametru dintre came și ax realizându-se prin îndepărtarea prin așchiere a unor mari cantități de material.

Astfel se economisesc importante costuri de fabricație prin materiale, manoperă și altele (energie, sdv-uri, materiale consumabile, etc.).

Spre exemplu, la realizarea unui arbore cu came, dacă s-ar economisi din costul de fabricație o valoare de 2 euro în cazul unui motor de autovehicol prevăzut cu 2 arbori cu came, la realizarea a 500.000 de motoare s-ar economisi 2.000.000 de euro. Așadar considerentul prioritar în alegerea unor soluții de acest gen se dovedește a fi una de natura economică. Pe lângă acest aspect, este foarte importantă menținerea unei fiabilități mai ridicate sau cel puțin egală cu cea a piesei înlocuite, pentru că altfel aspectul economic s-ar implementa în detrimentul celui funcțional.

Considerentele mai sus menționate m-au determinat să aleg arborele cu came tubular cu came aplicate ca temă de dezbătut în cadrul acestei teze.

Lucrarea este structurată pe 6 capitole:

În capitolul 1 se face un scurt istoric al producției de autoturisme din România și se evidențiază tendințele existente pe plan mondial în producția de motoare pentru autoturisme;

Capitolul 2 reprezintă o analiză a defecțiunilor specifice autovehiculelor, cu studierea cauzelor de producere și modului de depistare și înlăturarea lor. De asemenea se face o evidențiere a corelației dintre tipurile de defecțiuni și indicatorii de fiabilitate;

Capitolul 3 prezintă modalitățile de creștere a fiabilității reperelor motoarelor pentru autoturisme, insistându-se pe rolul pe care îl au materialele și tehnologiile folosite în producția reperelor motoarelor cu ardere internă;

În capitolul 4 se analizează rolul tratamentelor termice și termochimice în creșterea fiabilității reperelor motoarelor pentru autoturisme;

Capitolul 5 prezintă etapele efectuate pentru fabricarea unui arbore cu came tubular: proiectarea, inclusiv prin folosirea metodei elementului finit, alegerea materialului și elaborarea semifabricatului, tratamentele termice și încercările de duranță ale produsului finit.

În capitolul 6 sunt prezentate concluziile generale și se evidențiază contribuția originală a autorului, precum și direcțiile ulterioare de cercetare.

Pe parcursul întregii perioade de pregătire a doctoratului m-am bucurat de sprijinul și sugestiile colectivului de cadre didactice din Catedra de Studiul Metalelor și Tratamente Termice din cadrul Facultății de Mecanica a Universității “Politehnica” din Timisoara și în special doresc să mulțumesc conducătorului științific în persoană distinsului domn Profesor Doctor Inginer Ioan Gheorghe Cartis, Membru al “Academia Romana”. Tot pe această cale as dori să mulțumesc colectivului de cadre didactice din cadrul Facultății de Inginerie a Universității “Aurel Vlaicu” din Arad pentru suportul acordat.

Cap. 1 STUDIU CRITIC PRIVIND ANDURANȚA MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ PENTRU AUTOTURISME

1.1 SCURT ISTORIC PRIVIND FABRICAREA DE AUTOTURISME ÎN ROMÂNIA

Industria producătoare de automobile din țara noastră are o tradiție de aproape un secol. Astfel, în anul 1908, la solicitarea primăriei din Arad, firma franceză Westinghouse din Le Havre, înființează în acest oraș o sucursală Marta (Magyar Automobil Reszveny Tarsag Arad), care începând din anul 1909 produce motoare pentru tracțiune feroviară, autobuze și camioane. Din anul 1910, aceasta începe să fabrice și autoturisme având motoare cu patru cilindri și puteri de 20, 30 și 40 CP. Autoturismele cu motoare de 20 sau 30 de CP aveau transmisie cardanică, iar cele cu motoare de 40 CP aveau transmisie prin lanț. Bineînțeles, toate automobilele erau fabricate sub licența firmei Westinghouse. Până în 1912 când firma franceză Westinghouse a dat faliment, au fost fabricate circa 150 de autoturisme Marta.

Firma Marta este preluată de către Daimler, care după reorganizarea producției a introdus în fabricație un autoturism mai ușor, cu motor de 4 cilindri, de 2,5 litri, cu puterea de 18/22 CP. Acesta a fost folosit mai ales ca taxi în țările Europei Centrale. De asemenea, tot sub sigla Daimler, aici au fost fabricate în perioada premergătoare primului război mondial circa 650 de autoturisme și autobuze.

În anul 1914, o dată cu declanșarea Primului Război Mondial, producția civilă încetează și pe timpul ostilităților în fabrica Marta s-au fabricat numai motoare de avion.

După război și Marea Unire, fabrica Marta se unifică cu fabrica Weitzer și ia ființă societatea Astra - prima fabrică română de vagoane și motoare. Aici se construiau autocamioane, autobuze, autostropitoare, autoturisme, motoare cu benzină sau gaz metan, mașini unelte de precizie precum și avioane.

În cea ce privește automobilele Astra, ponderea au avut-o autocamioanele și autobuzele, dar la comandă au fost executate câteva luxoase automobile cu motoare de 4 cilindri, de 8000 cm³ ce dezvoltau o putere de 60 CP.

În anul 1926 capitolul automobilelor fabricate la Arad s-a închis definitiv. Toate utilajele au fost expediate la Brașov unde s-a înființat Întreprinderea Aeronautică Română (IAR).

Construită pe scheletul unei fabrici de celuloză și hârtie, fabrica din Câmpulung Muscel a produs în timpul celui de-al doilea război mondial elice de avion și echipamente de tragere pentru Întreprinderea de avioane Brașov, iar între 1954-1957, părți componente pentru industria auto.

În anul 1957, aici s-a construit primul autoturism de teren din țara noastră (IMS 57). Începând cu anul 1964, se introduce în fabricație familia de autoturisme de teren M 461, din care s-au exportat 53.000 bucăți în 55 de țări.

În anul 1974 s-a trecut la fabricarea autoturismelor de teren ARO în diferite tipuri și modele, adaptate la cerințele de siguranță, confort și protecția mediului actual.

În septembrie 2003, statul român a vândut, pentru prețul de 180.000 USD, 68,7% din ARO companiei americane "Cross Lander", deținută de John Perez. În contractul de

privatizare erau prevăzute investiții de 2 milioane de dolari în ARO, dar nici o investiție nu a avut loc iar echipamentul ARO a fost vândut.

De-a lungul celor peste 45 de ani de activitate industrială în domeniul auto, ARO a produs aproximativ 380 000 automobile de teren 4x4, care au fost exportate în proporție de două treimi în peste 110 țări de pe toate cele 5 continente.

Industria autoturismelor de oraș din România a fost relansată în anul 1966 prin construirea la Colibași, în județul Argeș a întreprinderii Dacia, care a început prin fabricarea sub licență Renault a modelelor Dacia 1100 și Dacia 1300 atât pentru transport de persoane cât și autoutilitare. În anul 1995 este lansat în fabricație modelul Dacia Nova de concepție 100% românească. Din anul 1999, Dacia face parte din grupul Renault.

În noiembrie 2000 are loc introducerea în fabricație a modelului Dacia SuperNova, prima concretizare a colaborării franco-române. În noiembrie 2002 este lansată gama de vehicule utilitare echipată cu motor Diesel Renault. În aprilie 2003 are loc lansarea modelului Dacia Solenza, mai întâi în versiunea de motorizare 1.4 MPI, pe benzină, iar din septembrie 2003 și în versiunea diesel, 1.9D. În 2004 are loc lansarea modelului Dacia Logan în două versiuni de motorizare: 1.4MPI și 1.6MPI. În 2005 este inaugurat Centrul de Export CKD (ILN) și este lansată cea de-a treia versiune de motorizare din gama Logan - 1.5DCI. Datorită modelului Logan, Dacia își depășește în 2005 toate recordurile sale anterioare de producție (172.000 de unitati) și vânzări (164.000 de unități). De asemenea în 2008 se produc Dacia Logan cu facelift, Logan MCV (variantea break), Logan Pick-up și Dacia Sandero ce beneficiază de aceleași motorizări.

Un alt producător de autoturisme din România, Oltecit Craiova a apărut în urma unui parteneriat între autoritățile române și producătorul francez de automobile Citroën. Astfel, în anul 1977 la Craiova începe construcția unei fabrici moderne pentru producerea unui automobil de dimensiuni mici. Întrucât producția proiectată de 130.000 buc/an nu a fost nici pe departe realizată (producția de vârf a fost în 1984 – 37.000 buc.), uzina a lucrat în pierdere și în anul 1988 Citroen s-a retras.

În noiembrie 1994, Daewoo a înființat o linie de producție în România, devenind cel mai important investitor străin al țării, prin înființarea unei societăți mixte, creată de Automobile Craiova și grupul sud-coreean Daewoo. Această fabrică, cu un nivel egal cu cele vestice, a fost construită pentru producerea a mai mult de 130.000 de vehicule/an. S-au fabricat patru modele (Cielo, Nubira, Matiz, Tacuma), dar nici în această formulă producția nu a dat rezultatele scontate, astfel încât în anul 2006, Daewoo Automobile a răscumpărat acțiunile deținute de compania sud-coreeană Daewoo Motor la uzina de automobile.

În 2007, AVAS a scos la licitație de privatizare societatea Automobile Craiova și licitația a fost câștigată de firma Ford.

Compania Ford intenționează să producă la Craiova un model complet nou, care va fi fabricat exclusiv în România, aflat acum în curs de proiectare în Germania și Marea Britanie. Uzina de la Craiova ar putea ajunge, astfel, în topul fabricilor de autoturisme Ford din Europa, alături de facilitățile de producție din Germania (Köln și Saarlouis), Spania și Belgia.

Producția estimată a noii fabrici de la Craiova este de 300.000 de automobile anual, din care 90% vor fi exportate, ceea ce ar conduce la o creștere a producției

autohtone de autovehicule la peste 500.000 unități anual, luând în calcul și modelele Dacia produse de Renault la Pitești.

În aceste condiții, România ar putea ajunge pe locul trei în Europa Centrală și de Est la producția de autovehicule. România s-ar situa astfel, în regiune, după Cehia și Polonia, însă ar depăși Slovacia și Ucraina, țări cu o industrie auto bine dezvoltată, și s-ar menține în continuare mult peste volumele de producție din Ungaria și Slovenia.

Situația devine și mai interesantă dacă interesul colosului american General Motors de a construi în apropierea municipiului Cluj-Napoca o întreprindere care să asambeze autoturisme Opel destinate pieței est-europene se va concretiza.

În ceea ce privește producția de motoare pentru automobile, producția acestora a fost reluată de întreprinderea "Tractorul" din Brașov în anul 1954. Pe măsura introducerii în fabricație a diferitelor tipuri de automobile, producția de motoare s-a extins la "Întreprinderea de Autocamioane" din Brașov, "Întreprinderea Mecanică Muscel" din Câmpulung-Muscel, Întreprinderea "DACIA" din Pitești, Întreprinderea "OLTCIT" din Craiova și "Institutul Național de Motoare Termice" București. În plus, pentru fabricarea unor piese pentru mecanismul motor și instalațiile auxiliare ale motorului, au fost stabilite relații de colaborare cu o largă gamă de întreprinderi specializate din întreaga țară.

Prin perfecționarea continuă a procesului de proiectare, prin utilizarea unor materiale cu calități superioare și prin îmbunătățirea continuă a procedurilor și proceselor tehnologice s-a ajuns la fabricarea unor motoare românești cu caracteristici superioare, competitive pe piața internațională.

Trebuie menționat efortul constant depus de întreprinderile producătoare pentru modernizarea dotării tehnice și perfecționarea pregătirii personalului de concepție și execuție.

În complexul activităților depuse pentru obținerea acestor realizări, un rol determinant l-a avut corelarea activităților din producție cu cele din cercetarea științifică și din învățământ. Astfel, proiectarea din acest domeniu a avut ca obiectiv realizarea unei sinteze ținând seama de realizările pe plan mondial, concomitent cu promovarea unor soluții proprii. La rândul lor, cercetarea științifică și învățământul au urmărit verificarea noilor concepții de proiectare și asigurarea pentru proiectare a unui fond propriu de cunoștințe și soluții tehnice care au permis realizarea unor construcții originale, economice, în privința consumului de combustibil și de materiale, precum și o creștere considerabilă a fiabilității.

1.2 TENDINȚA ÎN PRODUCȚIA DE AUTOTURISME ȘI MOTOARE PERFORMANTE PENTRU AUTOTURISME

1.2.1 Tendințe în producția de autoturisme

Pentru a se menține pe o poziție de frunte între producătorii de autoturisme din Europa Centrală și de Est, producția de profil din România trebuie să țină seama de cerințele impuse și tendințele existente în construcția acestui tip de autovehicule.

Marile companii constructoare de autoturisme au urmărit îmbunătățirea performanțelor dinamice sau de frânare ale acestora, a performanțelor de economicitate,

de stabilitate în rulaj și de confort, de securitate activă și pasivă. Domeniile asupra cărora s-au extins și unde se aplică cele mai noi și mai eficiente soluții sunt toate părțile componente ale autoturismului.

Pentru transmisie se urmărește o cât mai bună corelare între momentul motor activ și cel rezistent, concomitent cu sporirea confortului în conducere. Se extinde utilizarea transmisiilor automate, a celor cu variație continuă a raportului de transmitere și a celor electrice.

La transmisiile mecanice s-a generalizat treapta economică de viteză, iar cutiile de viteze cu șase trepte de mers înainte asigură autoturismelor performanțe de dinamicitate și economicitate tot mai ridicate.

Pentru îmbunătățirea dinamicii în regim de tracțiune, autoturismele au fost dotate cu sisteme de control a tracțiunii (ASR), care au în principal următoarele funcții: corijează acțiunile de comandă ale conducătorului auto în raport cu regimul de deplasare al autoturismului și aderența roților cu calea de rulare, asigură stabilitatea și manevrabilitatea, îmbunătățește tracțiunea la demaraje și în condiții grele de drum și informează conducătorul auto la apariția situațiilor deosebite ce duc la patinarea uneia sau mai multor roți.

Prin echiparea autoturismelor cu suspensii independente pe toate roțile, folosirea amortizoarelor hidraulice și hidropneumatice și a corectoarelor de ruliu a sporit confortul, siguranța în deplasare și stabilitatea autovehiculului.

O componentă asupra căreia s-a pus un accent ridicat pentru dezvoltare și îmbunătățire o reprezintă sistemul de frânare. Acesta reprezintă un punct forte în siguranță, pentru prevenirea accidentelor și siguranța pasagerilor.

Sistemul de frânare cunoaște preocupări intense de îmbunătățire, astfel autoturismele sunt echipate fie numai cu frâne disc, fie cu frâne mixte, adică cu frâne cu tambur la roțile din spate și cu frâne disc la roțile din față. Frânele autoreglabile cunosc o generalizare deoarece acestea compensează automat uzura normală a garniturilor de fricțiune și a limitatoarelor de frânare, care distribuie forța de frânare la punțile automobilului în funcție de încărcarea dinamică a acestora.

Așa numitele ABS-uri (Anty Blocking System), sunt sistemele de frânare cu control electronic, care împiedică blocarea roților în cazul frânelor intensive și care permit păstrarea controlului automobilului în orice situație. Acestea cunosc o largă utilizare la aproape toate categoriile de automobile. De asemenea, se generalizează indicatoarele de uzură a garniturilor de frână, frânele autoreglabile, servomecanismele de acționare a frânelor comandate de instalații specifice.

Sistemul de direcție se remarcă prin extinderea folosirii servodirecțiilor și la clase mai mici de autoturisme, reducerea efectului reacțiilor inverse și prin folosirea unor volane și axe volan rabatabile sau telescopice.

Caroseriile au coeficienți aerodinamici tot mai coborâți. Prin folosirea oțelurilor de înaltă rezistență, cu o limită de elasticitate ridicată, rigiditatea caroseriei a fost mult îmbunătățită. Totodată s-au luat măsuri pentru reducerea greutății proprii prin înlocuirea pieselor din metal cu piese din materiale plastice sau din materiale compozite. În ultima perioadă, unii producători de autoturisme au introdus în producția de serie caroserii din aluminiu, mai ușoare decât cele din oțel cu aproximativ 100 kg și perioadă de garanție mai mare. Printr-o antifonare atentă a caroseriei se înlătură și principalul dezavantaj, zgomotul.

O atenție deosebită se acordă sporirii siguranței autovehiculelor și pasagerilor pe timpul circulației. În acest scop se utilizează airbag pentru persoanele din față și centuri de siguranță sau airbag lateral. Tot pentru sporirea siguranței în circulație se utilizează radare anticoliziune și pneuri fără aer în interior (Denevo-Dunlop) sau pneuri fără cameră de aer cu soluție poligel (Puncture Guard) care asigură autovulcanizarea pneurilor în caz de înțepare. Pentru ușurința conducerii se utilizează tablouri de bord ușor vizibile, iar la unele tipuri, sisteme cu afișarea datelor pe parbriz și transmisii automate cu comandă electronică.

În concluzie, tendințele de dezvoltare în industria de automobile constau în realizarea unor autoturisme cât mai economice, cu un coeficient aerodinamic coborât, securitate ridicată a pasagerilor precum și echiparea autoturismelor cu diferite accesorii astfel încât pilotajul să se facă în condiții cât mai confortabile.

Din considerente ecologice și datorită limitării resurselor de combustibili pe bază de hidrocarburi, în prezent constructorii de autoturisme caută soluții alternative pentru înlocuirea motoarelor cu ardere internă cu piston, dintre care sunt prezentate în continuare câteva variante:

a) Vehiculul electric utilizează pentru propulsare unul sau două motoare electrice. Energia electrică necesară poate fi stocată în baterii aflate la bordul vehiculului (BEV-Battery Electric Vehicle) sau printr-un sistem de stocare reîncărcabil, asociat cu un propulsor alimentat cu hidrocarburi care să revitalizeze, atunci când este cazul, bateriile.

Motorul electric poate fi controlat extrem de ușor și cu o finețe superioară. Din punctul de vedere al construcției, aceste propulsoare sunt extrem de simple, iar gradul lor mediu de eficiență este de 90%. În cazul lor, putem vorbi despre un cuplu motor net superior livrat linear; el nu implică o cutie de viteze care să se muleze pe o curba de putere/cuplu.

La Salonul Internațional de la Paris din anul 2004, francezii au prezentat modelul de automobil electric Venturi Fetish (figura 1.1).

Având arhitectura unei mașini de curse (motor amplasat central, șasiu monococă din carbon), Fetish beneficiază constant de 220 N.m și de un motor electric de 180 kW (245 CP). Puțin mai grea decât Exige 265E (980 kg), această mașină accelerează în 5 secunde până la 100 km/h, iar autonomia este de 250 km. Prețul constituie singura problemă: mașina costă 297.000 euro fără taxe, ceea ce este mult, chiar și la nivelul acesta de performanțe.

Replica americană la acest automobil se numește Tesla Roadster. Tot electric, propulsorul, cu o durată de viață de 160.000 km, dezvoltă 250 CP. Mașina americană este mai rapidă, accelerația 0-100 km/h făcându-se în doar 4 secunde, iar viteza maximă este de 210 km/h. Mașina este dotată cu o unitate electronică foarte utilă, ce gestionează motorul în funcție de treapta de viteză (transmisia are două trepte), încărcarea bateriei și frânarea regeneratoare. Deci, se poate accelera aproape la fel de bine ca în cazul unui Lamborghini Murcielago, în condițiile în care se consumă la 100 km o cantitate de energie nepoluantă de 15 ori mai mică decât îi trebuie supercar-ului italian. Această mașină are și prețul mult mai redus (100.000 USD).

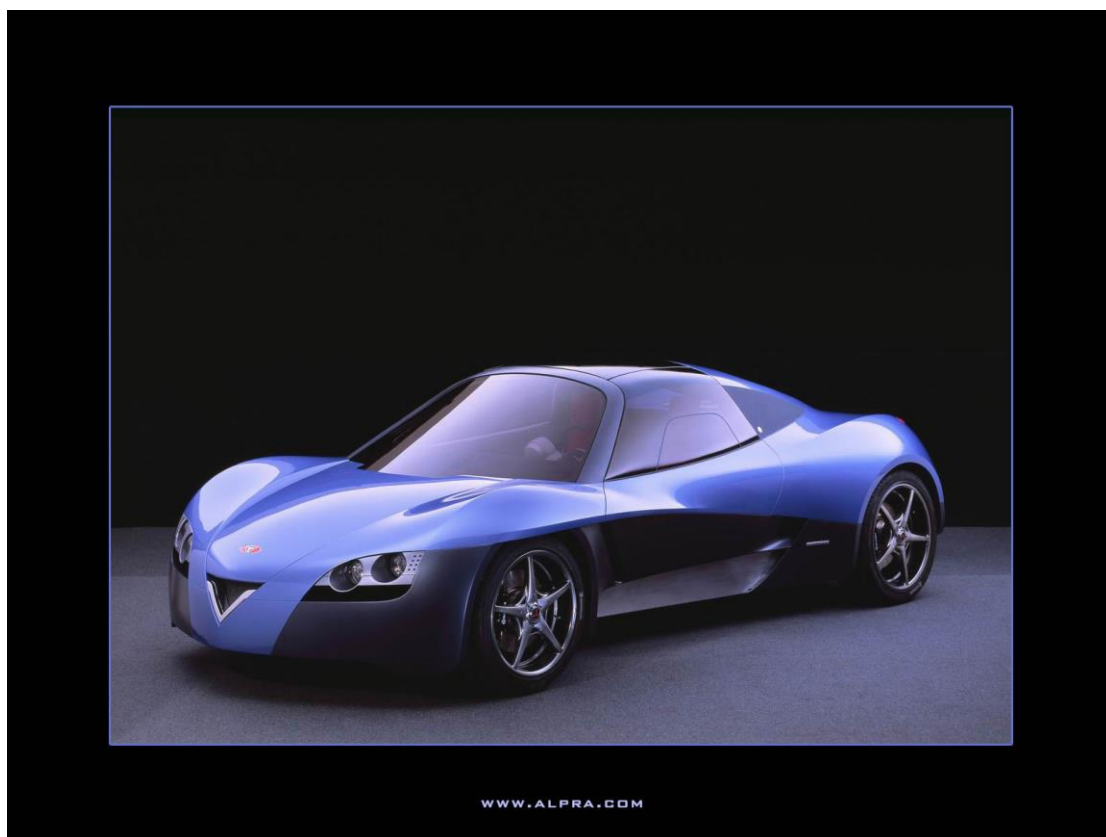


Fig. 1.1 Autoturism electric Venturi Fetish

b) Vehiculul cu panouri solare. Așa cum îi arată numele, acest tip de vehicul utilizează o sursă de energie practic nelimitată, energia solară. Un exemplu îl constituie modelul Venturi Astrolab care este un hibrid solar-electric. Pe o suprafață de 3,6 metri pătrați, mașina este acoperită cu celule fotovoltaice (dublate de o peliculă formată din nanoprisme, care concentrează mai bine razele solare) cu o eficiență de 21%, foarte apropiată de cea a motoarelor consumatoare de benzină. Sistemul solar alimentează un motor electric de 16 kW care, în condiții atmosferice nefavorabile, folosește resursele unor baterii NiMH. Acestea din urmă sunt reîncărcate continuu, fapt ce asigură o autonomie de 110 km. Viteza maximă este de 120 km/h. Șasiul monococă este confecționat din fibră de carbon, fiind foarte ușor (280 kg) și, în același timp, foarte rezistent. Prețul unui asemenea automobil este de 92.000 euro.

c) Vehiculul hibrid. Aceste automobile utilizează două unități distincte pentru a-și asigura propulsia.

Există două mari tipuri de automobile hibride: cu sistem hibrid în serie sau în paralel.

Sistemul hibrid în serie utilizează un motor cu ardere internă care antrenează un generator. Pe de o parte, acesta contribuie la încărcarea bateriei, iar pe de alta produce energia electrică necesară motorului electric ce asigură propulsia.

Sistemul hibrid paralel utilizează atât un propulsor cu ardere internă, cât și unul electric, dar ambele contribuie la propulsia automobilului fără a interacționa între ele.

Totuși realitatea a demonstrat că soluția cea mai bună o reprezintă, un “hibrid” între cele două sisteme.

Mai există și sisteme hibride care nu se bazează doar pe un motor electric și pe unul cu ardere internă. Putem vorbi de combinația dintre un sistem hidraulic și unul pneumatic, caz în care aerul comprimat și lichidele sub presiune sunt utilizate drept rezervă de energie asociate cu sisteme de frâne regenerative.

Printre lansările din anul 2006, de la Paris, compania Venturi a prezentat un vehicul electric neobișnuit, capabil să funcționeze cu o combinație de electricitate, energie solară și energie eoliană. Purtând numele de "Eclectic", acest vehicul este prima mașină cu sursa autonomă de energie, cel mai economic și cel mai non-poluant vehicul produs vreodată (figura 1.2).

Vehiculul cu patru roți folosește acumulatori Nichel Metal, capabili să se reîncarce la frânare și prin intermediul panourilor solare situate pe plafon. Viteza maximă a lui Eclectic este de 50 km/oră, iar autonomia sa este de 50 km, autonomie ce poate fi crescută cu 7 km prin folosirea energiei solare și cu 15 km prin adăugarea unei turbine eoliene.



Fig. 1.2 Automobil hibrid Eclectic

d) Vehiculul cu abur. Deși nu este o soluție nouă, utilizarea aburului pentru propulsarea autovehiculelor reintră în actualitate din două considerente: aburul rezultat din arderea la presiune atmosferică a unui combustibil fosil nu produce monoxid de carbon și oxid de azot, adică exact gazele cele mai nocive emise de motoarele clasice, și deoarece cu ajutorul unor îmbunătățiri, cum ar fi un condensator, eficiența crește ușor la 50%, adică aproape dublu față de un motor pe benzină. Aceste vehicule sunt propulsate

cu ajutorul unor turbine cu abur care pot dezvolta puteri de peste 300 CP, ajungând la viteze de 240 km/h.

e) Vehiculul cu aer. Tentantă deoarece utilizează o resursă practic inepuizabilă (aerul), tehnologia CAT (Compressed Air Technology) este apropiată de principiul motoarelor cu abur, pistoanele fiind puse în mișcare de aerul comprimat.

Propulsorul cu aer lucrează în tandem cu unul electric. Acesta din urmă are roluri multiple: este cel care comprimă aerul recirculat, pornește motorul pe aer, funcționează ca un alternator pentru a reîncărca bateria, acționează sistemul de frânare și este o sursă temporară de energie (pentru efectuarea manevrelor de parcare, de exemplu).

Există și variante hibride, în care motorul cu aer este cuplat cu unul pe benzină sau diesel, capabile să atingă viteze mai mari de 60 km/h. Până la acest prag se folosește doar tehnologia CAT, ale cărei emisii sunt zero.

1.2.2 Tendințe în producția de motoare pentru autoturisme

Printre primele componente ale automobilelor care beneficiază de o atenție deosebită sunt motoarele, unde se urmărește sporirea performanțelor acestora pe mai multe direcții: creșterea performanțelor funcționale și constructive prin gestionarea electronică a regimurilor de funcționare, reducerea consumului de combustibil, mărirea puterii litrice, reducerea costurilor de fabricație, reducerea emisiilor nocive din gazele de evacuare, realizarea de motoare cât mai fiabile, cât mai ușoare și cât mai compacte.

Se remarcă tendințele de dezvoltare și utilizare, în ultima vreme, a motoarelor cu aprindere prin comprimare (M.A.C.), datorită consumului specific mai redus de combustibil, în comparație cu motoarele cu aprindere prin scânteie (M.A.S.). Folosirea motoarelor Diesel pe autoturisme a devenit utilă și realistă când turațiile maxime ale acestora au depășit 4200-4400 rot/min, realizându-se și exemplare ce dezvoltă peste 5000 rot/min. Perfecționarea acestor motoare privind reducerea zgomotului, a poluării, a pornirii ușoare pe timp friguros, a făcut progrese remarcabile și le-a asigurat creșterea ponderii proprii în detrimentul motoarelor cu aprindere prin scânteie.

De asemenea, există tendința de aplicare tot mai frecventă a injecției de benzină cu comandă electronică mono sau multipunct, în detrimentul motoarelor cu carburator. Injecția de benzină este mult cercetată, perfecționată și aplicată la producția de serie deoarece, completată cu comandă și control electronic, este în măsură să asigure performanțe superioare în ceea ce privește reducerea consumului de combustibil, reducerea emisiilor poluante și ridicarea gradului de securitate a conducerii automobilului.

Aprinderea cu comandă electronică este o variantă des întâlnită cu influență benefică asupra consumului de combustibil, prin declanșarea avansului la aprindere după legea optimă, în funcție de regimul de funcționare al motorului..

Pentru exemplificare, în cele ce urmează, se va prezenta succint evoluția și principiile constructive și de funcționare ale sistemelor de alimentare cu injecție de benzină.

a) Primele realizări în acest domeniu le-a obținut grupul italian Fiat care în anul 1986 a realizat în producție de serie modelul FIAT CROMA TDI, vehicul echipat cu un sistem de injecție directă de motorină în camera de ardere.

Ulterior, grupul Fiat a adoptat un nou sistem numit Unijet care funcționează folosind un dispozitiv de înaltă presiune (1350 bar) asamblat într-o rampă comună de injecție. De aici injecția de motorină în camera de ardere este controlată electronic în funcție de turația motorului și de sarcina la care este supus pe timpul funcționării. În această situație injectoarele clasice, care se deschid datorită presiunii carburantului, au fost înlocuite cu injectoare cu deschidere electronică comandate de calculator. Timpii de injecție și cantitatea de carburant injectată în camera de ardere sunt controlate electronic de o unitate U.C.E. (unitate de control electronic)

Rezultatele au fost remarcabile obținându-se o silențiozitate ridicată față de motoarele Diesel obișnuite, creșterea puterii specifice concomitent cu reducerea consumului de carburant și a emisiei poluante.

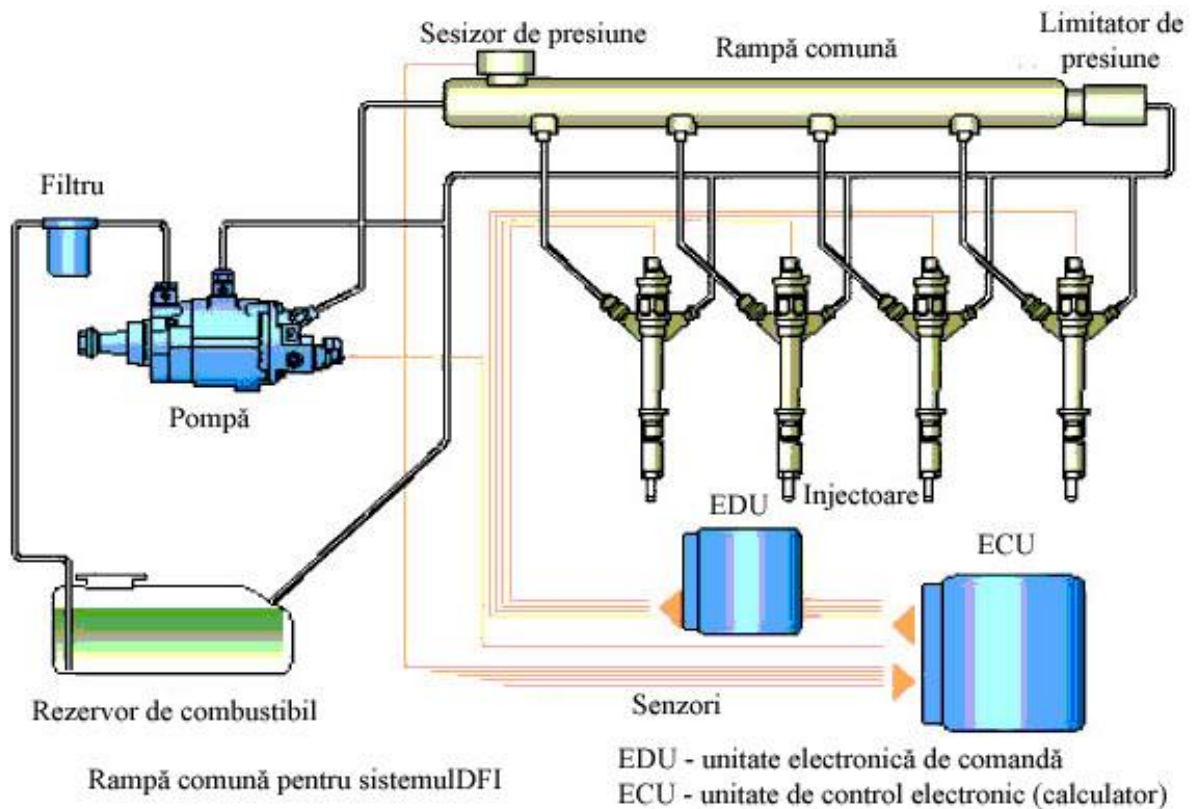


Fig. 1.3 Sistemul de injecție COMMON RAIL

Grupul Fiat a vândut licența și dreptul de autor companiei germane Bosch care a perfecționat și comercializat acest produs. Avantajul principal al acestui sistem constă în faptul că poate fi adaptat pe orice tip de motor Diesel indiferent de numărul de cilindri, clasica pompă de injecție fiind înlocuită cu o pompă centrală de înaltă presiune.

b) Deoarece la motoarele Otto se aspira în cilindri amestec de aer și benzină, ceea ce făcea dificil controlul cantității de carburant distribuită în camerele de ardere, și în cazul acestor motoare s-a trecut la injecția de benzină .

Inițial s-a folosit injecția de benzină cu dozare mecanică. Sistemul constă într-o pompă electrică de combustibil, aflată de obicei în rezervorul de carburant, care trimite combustibilul într-un distribuitor. De aici combustibilul este trimis spre injectoarele cu deschidere sub presiune aflate în galeria de admisie. Dozarea debitului de benzină se efectuează cu ajutorul unei clapete aflată pe traseul de admisie a aerului care, prin intermediul unei pârgii, acționează o membrană aflată în capul distribuitorului.

Deși asigură o mai bună omogenizare a amestecului carburant datorită pulverizării jetului de combustibil în cilindri și permite reducerea consumului specific de carburant fără a scădea performanțele motorului, sistemul prezintă dezavantajul unei dozări a cantității de combustibil injectată în cilindri realizată doar de tirajul distribuitorului și a injectoarelor.

Ulterior, acest sistem a fost înlocuit cu un sistem de injecție electronic. Acest sistem este alcătuit dintr-o pompă electrică de joasă presiune (3 bari) aflată la nivelul rezervorului de combustibil, o rampă de injecție și din injectoare cu deschidere electronică comandate de un calculator. Calculatorul (UCE) asigură și dozarea cantității de carburant, comandând timpul cât sunt ținute deschise injectoarele.

Rolul UCE este foarte complex. În afara funcțiilor prezentate mai sus, calculatorul mai preia informații de la diferiți senzori de pe motor privind temperatura lichidului de răcire, turația motorului, presiunea și temperatura în colectorul de admisie, conținutul de oxigen din colectorul de evacuare, etc. și în funcție de acestea controlează alimentarea și aprinderea amestecului carburant.

Rezultatul utilizării acestor sisteme constă într-o evidentă reducere a consumului de carburant, concomitent cu reducerea poluării, fără a fi afectate performanțele motorului.

La sistemele care folosesc injecția de benzină multipunct (MPI) informațiile primite de UCE referitoare la nivelul concentrației oxigenului din colectorul de evacuare permit acestuia să îmbogățească sau să sărăcească amestecul prin dozarea carburantului, modificând timpul în care sunt menținute injectoarele în poziția deschis.

De asemenea UCE, în funcție de informațiile primite de la senzorul de turație asigură creșterea progresivă a cantității de carburant injectată în cilindri corespunzător creșterii turației în momentul acționării pedalei de accelerație. Pentru situațiile de mers constant, în momentul eliberării pedalei de accelerație se oprește complet alimentarea cu carburant, aceasta reluându-se automat la o turație de aproximativ 1200 rot/min.

Pentru reducerea poluării, pe traseul de evacuare a gazelor este amplasat un convertizor catalitic care are rolul de a scinda gazele rezultate în urma arderii.

Convertizorul catalitic este un filtru ceramic de tip fagure care conține oxizi de metale rare, care la temperaturi ridicate au capacitatea de a transforma chimic componentele din gazele evacuate pe timpul funcționării motorului.

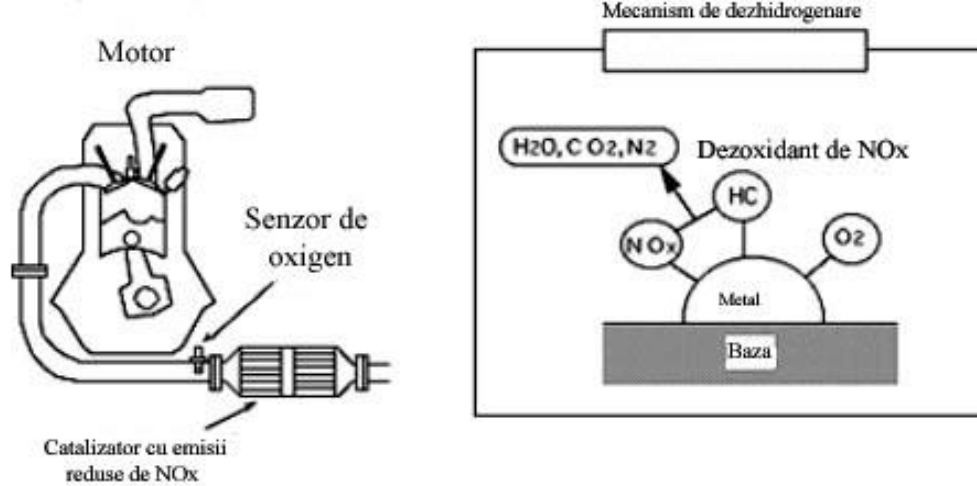


Fig. 1.4 Convertizor catalitic pentru gazele de ardere evacuate

În consecință, ca urmare a echipării motoarelor cu aprindere prin scânteie cu sistem de injecție de benzină multipunct (MPI) s-au redus semnificativ consumul specific de carburant și emisiile poluante din timpul funcționării motorului.

c) Tot în ideea de a reduce cât mai mult consumul de combustibil și poluarea, specialiștii de la firma Mitsubishi au pus la punct un sistem denumit GDI (gasoline direct injection) care constă în injectarea benzinei direct în camera de ardere, similar cu procedeul folosit la motoarele Diesel.

Carburantul este injectat în cilindrii motorului pe timpul cursei de compresie în apropierea punctului mort superior și datorită unei degajări din capul pistonului, este direcționat spre electrozii bujiei care asigură aprinderea prin scânteie a amestecului care se formează în cilindru .

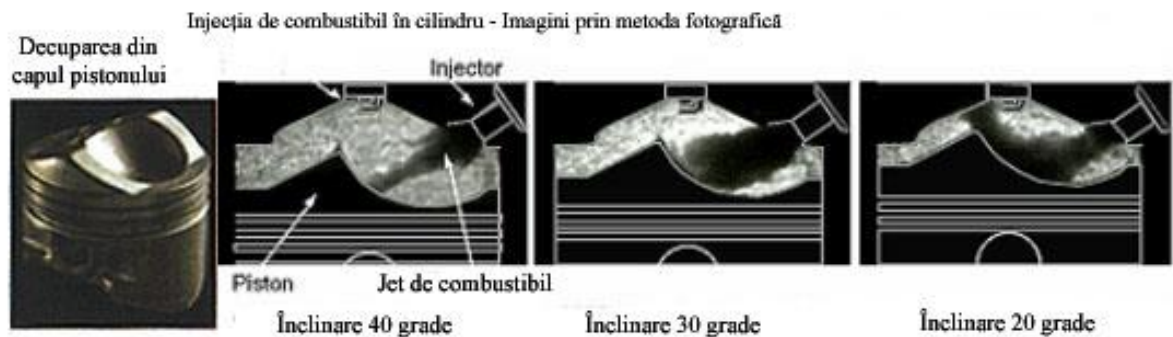


Fig. 1.5 Comportamentul jetului de carburant la sistemele cu injecție directă de benzină.

Sistemul GDI permite funcționarea motorului cu un raport al amestecului aer-carburant de până la 55:1. Ținând seama că raportul optim de ardere a benzinei pentru sistemele de alimentare clasice este de 14,5:1, rezultă că motoarele echipate cu GDI funcționează cu o cantitate mult mai mică de carburant, lucru realizat datorită injecției directe a benzinei în camera de ardere și a concentrării combustibilului în jurul bujiei.

Prin faptul că se injectează carburantul aproape de punctul mort superior al cursei pistonului, nu se creează o dispersie a vaporilor de benzină, datorită condițiilor de presiune mai ridicate decât la motoarele Otto clasice (raport de compresie 12:1 față de 10,5:1), arderea este violentă asigurând condiția pentru dezvoltarea unui lucru mecanic chiar mai ridicat decât la motoarele echipate cu M.P.I.

Prin adoptarea acestui sistem s-au îmbunătățit considerabil performanțele în ceea ce privește consumul și poluarea față de motoarele Otto.

Consumul specific s-a redus cu până la 35% față de varianta M.P.I. în condițiile în care performanțele dinamice au crescut. Astfel, un motor echipat cu G.D.I. dezvoltă o putere cu 10% mai mare decât un motor echipat cu M.P.I. la aceeași cilindree și putere a motorului.

Arderea cu amestec foarte sărac este aproape completă și deci degajarea de căldură în urma arderii este mai mare. Din punct de vedere constructiv, sistemul G.D.I. se deosebește de sistemul M.P.I. prin faptul că injectoarele nu se mai află în colectorul de admisie ci în camerele de ardere iar pompa furnizează presiune de 50 bari față de cca. 3 bari la MPI .



Fig. 1.6 Fotoînregistrarea arderii cu amestec foarte sărac

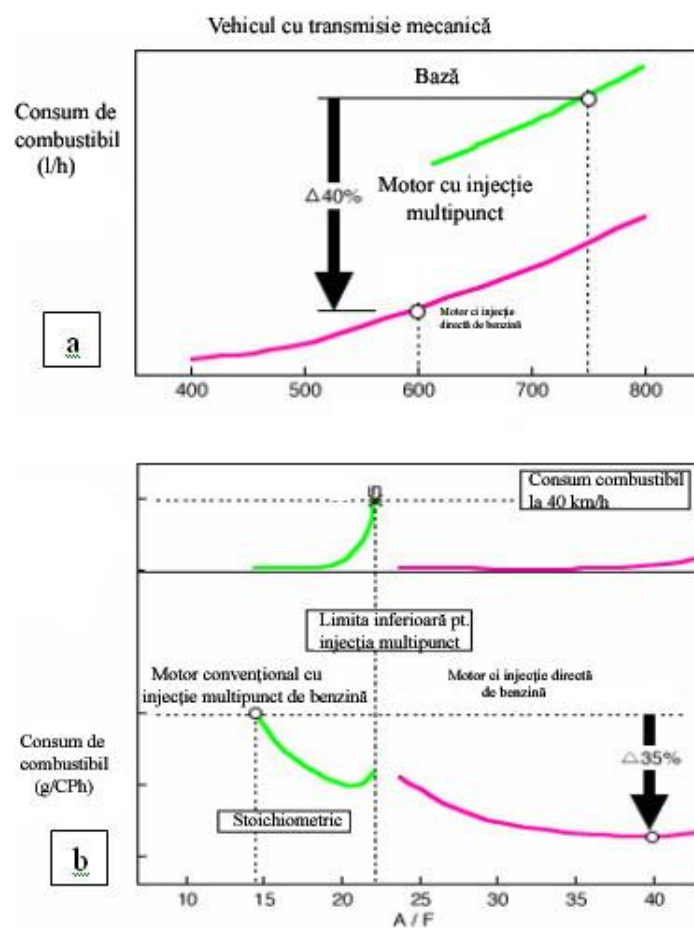


Fig. 1.7 Diagramele consumului de carburant pentru sistemele MPI și GDI

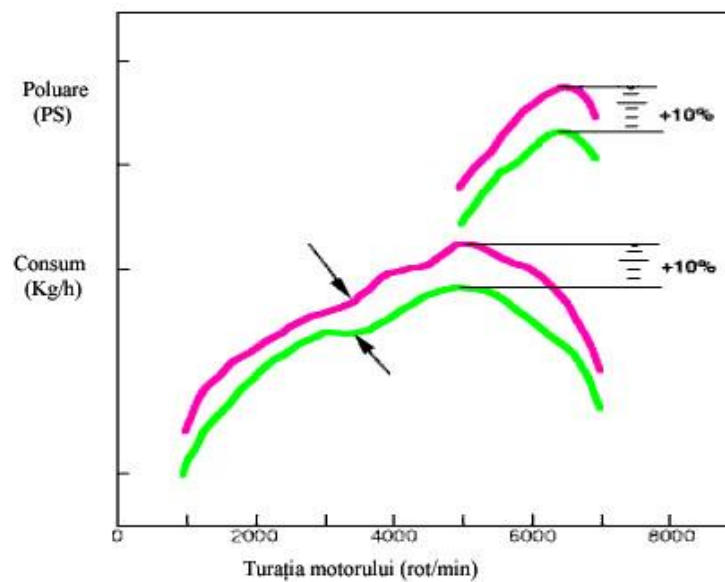


Fig. 1.8 Diagrama comparativă a puterii și a momentului util al motorului pentru sistemele MPI și GDI

d) Considerentele de poluare au condus la crearea de către specialiștii în motoare a unui alt dispozitiv periferic suplimentar numit E.G.R. (exhaust gas recirculation - reciclarea gazelor de evacuare). Acesta are rolul de a reintroduce gazele de evacuare în camera de ardere în condiții precise de turație, sarcină și temperatură a motorului, reducându-se considerabil gradul de poluare corespunzător reducerii cantității de gaze evacuate în atmosferă .

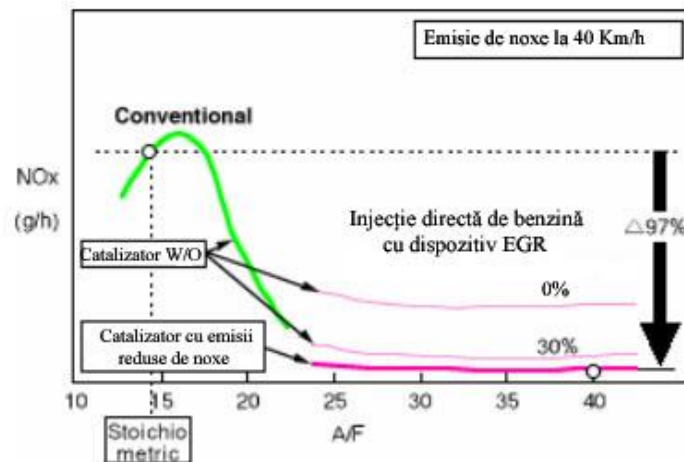


Fig . 1.9 Diagramele comparative ale emanațiilor poluante pentru sistemele clasice și GDI

Din figura anterioară se constată că prin utilizarea sistemului GDI combinată cu utilizarea dispozitivului auxiliar de depoluare EGR emanațiile poluante ale motoarelor scad cu aproximativ 30 % față de utilizarea sistemelor clasice de alimentare.

În tabelul 1.1 sunt prezentate caracteristicile constructive ale motoarelor GDI și MPI

Tab. 1.1

Caracteristicile constructive ale motoarelor GDI și MPI

Caracteristici	Tip motor GDI cod 4G93	Tip motor MPI cod 4G93
Alezaj/cursă [mm]	81 x 89	81 x 89
Cilindree [cm ³]	1834	1834
Număr cilindri	IL - 4	IL - 4
Distribuție	DOHC	DOHC
Număr supape	2 Adm + 2 Ev	2 Adm + 2 Ev
Raport de compresie	12	10.5
Camera de ardere	Piston concav	Piston plat
Sistem de alimentare	Injecție directă	Injecție indirectă
Pres. alimentare [MPa]	50	3,3

O altă preocupare constantă a producătorilor de motoare pentru automobile constă în crearea unor familii de motoare, pornindu-se de la un monocilindru sau de la un motor de bază, de la care, în funcție de necesități, se realizează o serie de motoare cu puteri și cilindree diferite, având unele părți componente identice, procedee favorizând folosirea tipizării în tehnologia de fabricație și exploatare a autoturismelor.

Folosirea supraalimentării prin diferite procedee este tot mai des întâlnită la motoarele autoturismelor, aceasta asigurând creșterea puterii și momentului motor maxim, cu scăderea turațiilor corespunzătoare și a consumului.

Sistemele de injecție Diesel, evoluează permanent în paralel cu sistemele de injecție cu benzină, acestea din urmă fiind tot mai răspândite, datorită controlului electronic al principalilor parametri (presiune, debit, cantitatea de combustibil, etc.) care conduce la creșterea performanțelor funcționale și economice ale motoarelor.

Reducerea dimensiunilor de gabarit și a consumului de metal constituie o sursă de cercetare importantă și permanentă, ea urmărind dezvoltarea unor puteri tot mai mari și mai ridicate pe unitatea de cilindree și în același timp realizarea cilindreei unitare cu o masă cât mai mică.

De remarcat preocupările privind ameliorarea formei camerelor de ardere, a tubulaturii de admisie și evacuare, a geometriei de dispunere și acționare a supapelor, a numărului, mărimii și locului lor de amplasare, a funcționării cu dispozitive de alimntrare stratificată cu combustibil, a înlocuirii materialelor metalice cu materiale ceramice, a realizării motoarelor adiabatice sau cu raport de comprimare variabil., etc.

Există tendința răspândirii camerelor de ardere unitare cu distribuția combustibilului în peliculă, care este utilizat și la motoarele care echipează autoturismele și autoutilitarele ARO. Această soluție elimină posibilitatea contactului între combustibil și peretele rece al cilindrului, deoarece combustibilul este injectat pe peretele lateral al camerei cupă de formă sferică practică în capul pistonului.

Camerele de ardere împărțite sunt constituite din două compartimente: compartimentul de volum constant plasat în chiulasă și compartimentul de volum variabil, care comunică cu primul prin unu sau mai multe canale. În figurile 1.10...1.13 sunt prezentate diferite camere de ardere de formă specială.

În paralel se dezvoltă cercetările privind utilizarea noilor tipuri de motoare (turbina cu gaze, motorul Stirling, motorul rotativ, motoare cu acționare hidraulică sau alte tipuri de motoare prezentate anterior).

Turbina cu gaze are cea mai mare șansă de a intra ca agregat energetic de propulsie pentru autovehicule, fără însă a înlocui în totalitate motoarele cu ardere internă cu piston. Aceste motoare vor fi utilizate în special la propulsia autovehiculelor utilitare grele, de cursă lungă. Utilizarea lor la autoturisme este limitată de cost, gabarit, zgomot și de performanțele reduse de demaraj. Cam aceleași probleme le ridică și utilizarea motoarelor Stirling, respectiv a motoarelor Wankel.

Încă, motorul rotativ nu poate concura cu motoarele cu piston nici în ceea ce privește economia de combustibil și nici în ceea ce privește emisiile poluante.

Pe linia protecției mediului se propun măsuri ca: extinderea utilizării combustibililor nepoluanți, care nu sunt pe bază de produse petroliere: biocombustibili, biogaz, metanolul de sinteză, hidrogenul, etc., reducerea conținutului de sulf și eliminarea plumbului din produsele petroliere, implementarea unei legislații adiționale privind

utilizarea sistemelor de diagnosticare la bord care semnalizează depășirea nivelului de emisii, etc.

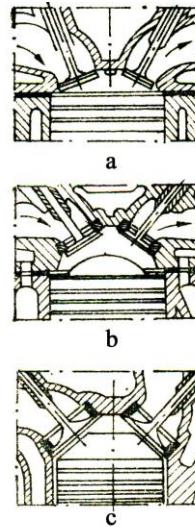


Fig. 1.10 Camere de ardere speciale pentru motoarele în patru timpi
a,b-camere semisferice; c-cameră cu acoperiș

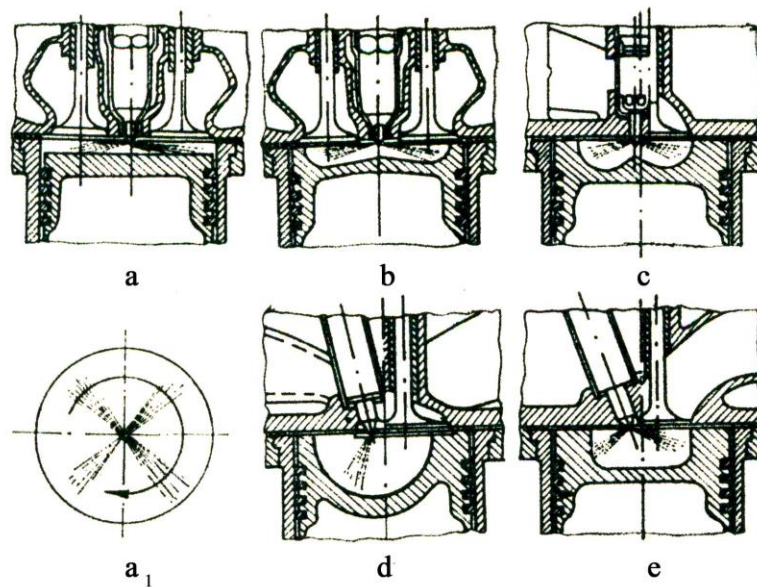


Fig. 1.11 Camere de ardere speciale pentru m.a.c.
a, a₁, b-camere de ardere modelate după forma jetului; c, d, e-camere de ardere cu compartiment în capul pistonului

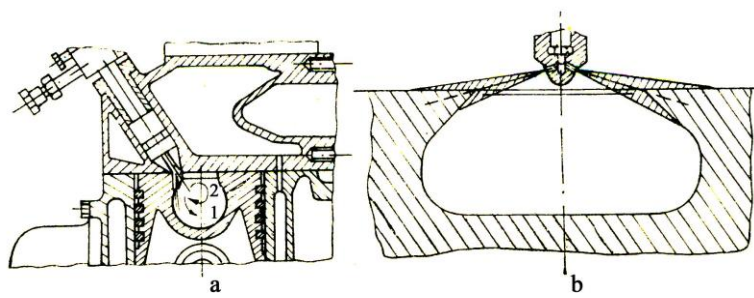


Fig. 1.12 Camere de ardere cu distribuția combustibilului în peliculă
a-cameră Meurer; b-cameră TNIDI

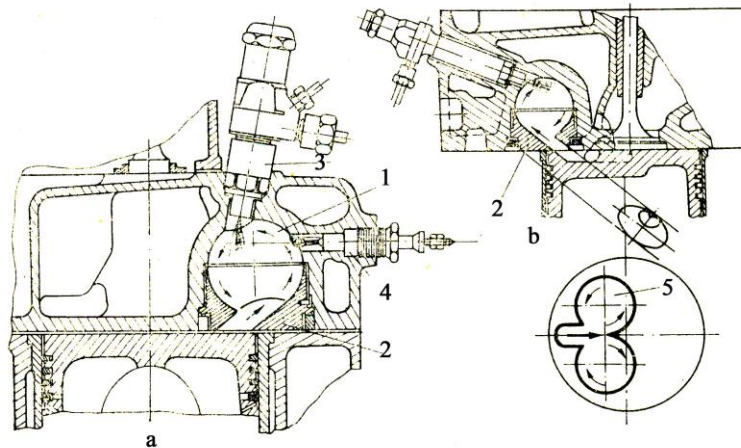


Fig. 1.13 Camere separate de vârtej
1-compartiment separat; 2-piesă detașabilă; 3-injector;4-bujie incandescenta; 5-
evazare

Autovehiculele reprezintă principalul factor poluant al aerului. Studiile au arătat că din totalul poluării, transporturile determină poluări semnificative ale aerului cum ar fi: 77% din CO care poluează atmosfera este rezultat din emisiile datorate utilizării motoarelor cu ardere internă, în timp ce CO₂ reprezintă aproximativ 49%. Figura 1.14 prezintă procentele de noxe datorate transporturilor.

Constrângerile legate de perspectiva tot mai apropiată a epuizării combustibililor fosili la nivel global precum și considerentele ecologice au impus căutarea unor surse noi de combustibili, îndeosebi în sectorul transporturilor, sector care consumă cea mai mare parte a combustibililor petrolieri și generează cea mai mare cantitate de poluanți.

Deoarece prognozele actuale prevăd că rezervele cunoscute de țiței și gaze pot asigura necesarul mondial, la nivelul consumului din anul 2005 de circa 2 miliarde de tone, pe o durată de 36 și, respectiv 80 de ani, se acordă o atenție sporită înlocuirii combustibililor petrolieri cu combustibili neconvenționali: hidrogenul, metanolul, etanolul, gazoholul, izopropanolul, izobutanolul, etc.

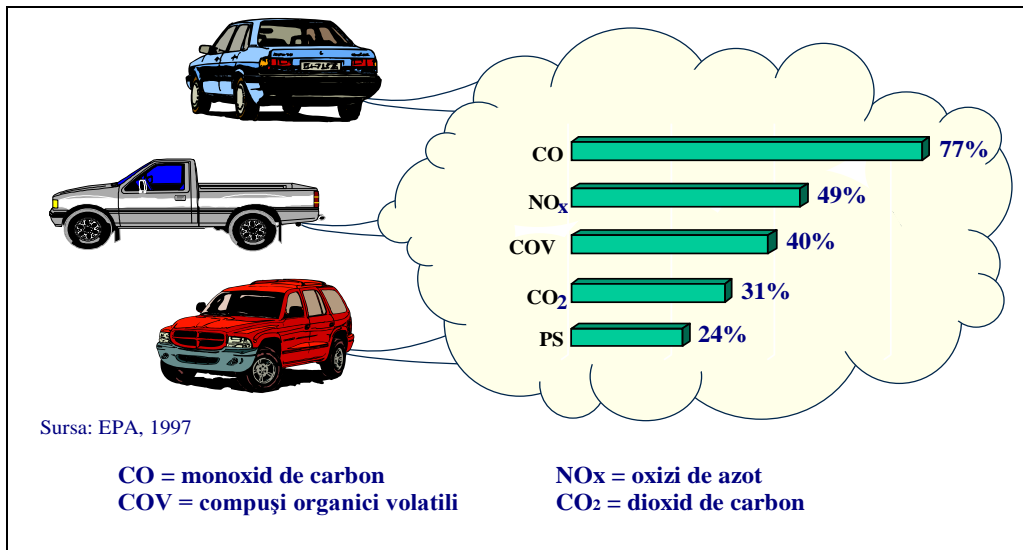


Fig. 1.14 Procesul de noxe datorate transportului rutier

În figura 1.15 se prezintă prognoza producției mondiale de petrol până în anul 2040. Se observă astfel o scădere semnificativă a producției de petrol, fapt determinat de reducerea rezervelor mondiale de petrol.

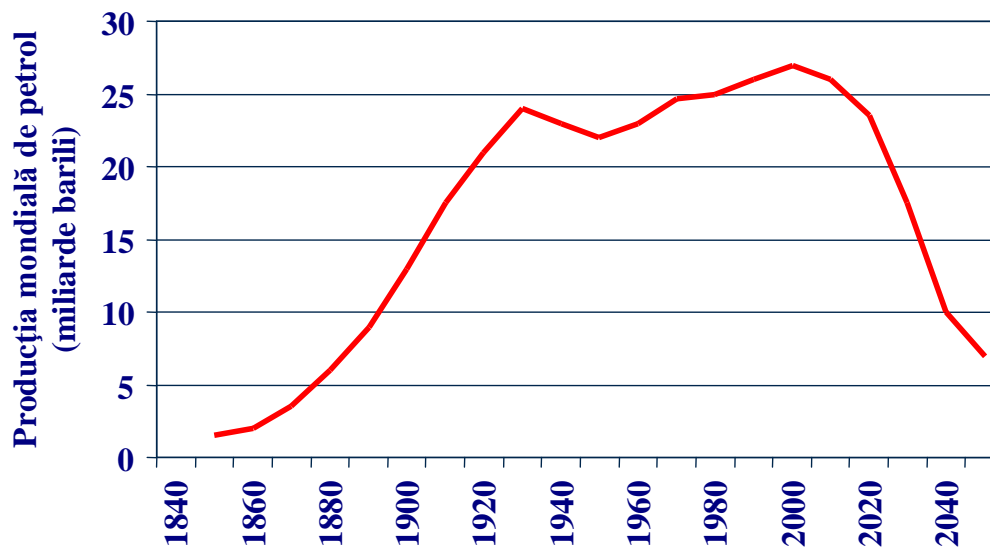


Fig. 1.15 Estimări privind producția mondială de petrol

O comparație între necesarul de produse petroliere și producția acestora pentru următorii ani este prezentată în figura 1.16. Dacă producția de carburanți petrolieri prezintă o pantă descendentă de-a lungul timpului, nu același lucru se observă la

necesarul de petrol, care crește odată cu dezvoltarea permanentă a societății. Diferența dintre cererea de petrol dictată de dezvoltarea, în principal, a transporturilor auto, și disponibilul împuținat datorită declinului producției trebuie acoperită din alte surse.

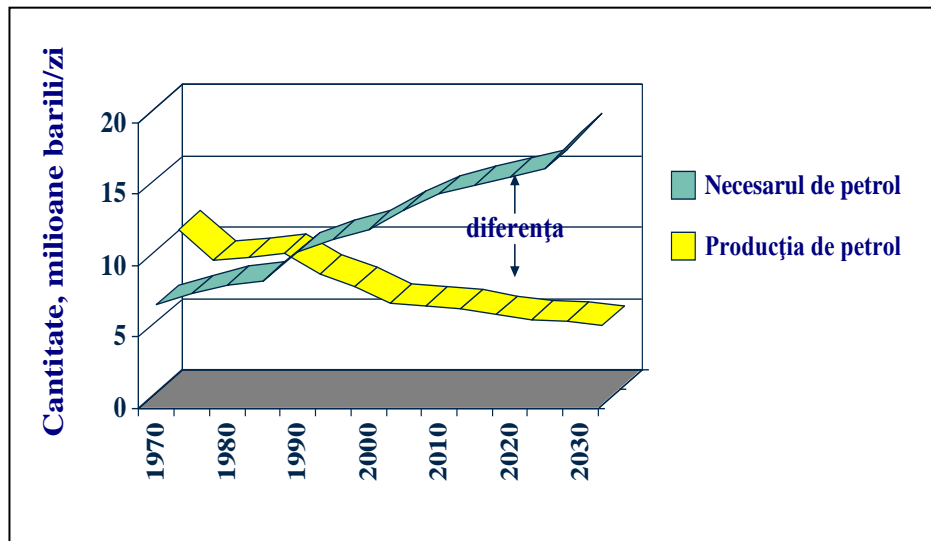


Fig. 1.16 Estimarea necesarului și producției de produse petroliere

În continuare sunt prezentate câteva tipuri de combustibili neconvenționali capabili să înlocuiască combustibilii clasici, pe bază de hidrocarburi:

a) Hidrogenul. Hidrogenul (H_2) este considerat combustibilul de viitor pentru motoarele cu ardere internă destinate mijloacelor de transport auto, deoarece rezervele de hidrogen din natură sunt practic inepuizabile. În oceanul planetar, hidrogenul reprezintă $1,2 \cdot 10^{17}$ t. Foarte importantă este și puritatea ecologică absolută a hidrogenului, deoarece prin ardere în oxigen sau în aer, el se transformă integral în apă (la arderea în aer rezultă un procent foarte scăzut de oxizi nocivi).

De asemenea este de remarcat faptul că motoarele actuale pe benzină sau motorină pot fi adaptate foarte ușor pentru a funcționa cu acest nou combustibil, stocat pe automobil sub formă de gaz, lichid sau hidrură.

Utilizarea hidrogenului pentru propulsarea automobilelor prezintă o serie de avantaje: puterea calorică masică de 28630 kcal/kg este de 2,8 ori mai mare decât a benzinei; energia de ardere este de 15 ori mai redusă, iar viteza maximă de propagare a flăcării este de 8 ori mai mare decât la combustibilii hidrocarbonici; vaporii de hidrogen nu sunt toxici.

Factorii care frânează extinderea utilizării hidrogenului la motoarele automobilelor de serie sunt: costul ridicat al unității masice de hidrogen lichid, care este de 3...5 ori mai mare decât al benzinei; densitatea și puterea calorică volumică sunt de 10, respectiv de 3...4 ori mai mici decât ale benzinei; viteză mare de ardere, propagare rapidă a flăcării, explozii inverse în galeriile de admisie; limite largi ale domeniului de explozie și temperatură mai înaltă de aprindere în raport cu hidrocarburile; necesitatea existenței unei infrastructuri speciale pentru alimentarea lor. Totuși principalele dezavantaje rămân stocarea (care necesită presiuni ridicate) și caracterul volatil ale acestui combustibil.

Marile firme producătoare de automobile au început să producă mașini care funcționează cu hidrogen, folosit ca și combustibil în motoare cu ardere internă.

Astfel, BMW a pregătit pentru producția de serie modelul Seria 7 Hydrogen, prima linuzina de lux ce va funcționa cu hidrogen lichid. Mașina este bazată pe varianta de serie 760i și poate funcționa atât cu benzină, cât și cu hidrogen, caz în care emite doar vapori de apă. Animat de combustibilul alternativ, V12-le de 6 litri dezvoltă 260 CP, suficienți pentru o accelerație de 9,5 secunde până la 100 km/h, în timp ce viteza maximă este limitată electronic la 229 km/h. Vehiculul folosește drept combustibil hidrogen lichid și, atunci când este nevoie, modulul dual de propulsie permite trecerea la combustie convențională, pe bază de benzină premium.

Autonomia totală este de 680 km (200 km cu hidrogen), rezervorul de benzină măsurând 74 de litri, iar cel de hidrogen având loc pentru 8 kg de hidrogen.

Modele bazate pe propulsia cu motoare cu ardere internă alimentate cu hidrogen lichid au mai realizat și firmele Mazda (modelul RX-8 Hydrogen RE), Mercedes (Mercedes F-Cell), Ford (Focus C-MAX H₂-ICE).

b) Pile de combustie cu hidrogen. Pila de combustie este o celulă galvanică în care energia liberă a unei reacții chimice este transformată în energie electrică. În cazul unei pile de combustie clasice, care funcționează cu hidrogen și oxigen, reacția ce are loc produce apa.

Întrucât celula de combustie convertește combustibilul direct în electricitate, ea este, prin definiție, o tehnologie pentru vehiculele hibrid-electrice. Se aștepta ca randamentul conversiei combustibil – energie să fie de circa 50% în domeniul motoarelor pentru autovehicule. În mod curent, însă, celulele de combustie sunt foarte scumpe (antrenarea unui autovehicul cu celule de combustie este de 10 ori mai scumpă decât antrenarea cu motor cu ardere internă) deoarece ele nu se realizează în producție de masă, iar infrastructura pentru realimentarea autovehiculelor cu hidrogen nu este încă larg răspândită. Un autovehicul antrenat cu celule de combustie poate să-și care propria rezervă de hidrogen într-un tanc sub presiune, fie să-și genereze hidrogenul pe măsura necesității într-un reactor chimic numit reformator.

Primul sistem energetic cu pile de combustie din lume, de 50 kW, a fost construit în 1999 de către International Fuel Cells, în cadrul colaborării DOE cu firma Ford. Acest sistem furniza suficientă energie pentru a antrena un autovehicul de dimensiuni medii, cântărea circa 140 kg și avea un volum de 250 cm³ care permitea situarea lui sub capota vehiculului. Motorul cu hidrogen este echipat cu baterii cu nichel-cadmiu care oferă cele mai bune performanțe în ceea ce privește protecția mediului și capacitatea de stocare a energiei pe unitatea de volum.

Bateria cu nichel-cadmiu este formată din trei celule separate, bine protejate, iar vehiculul va putea să continue să funcționeze dacă una din cele trei celule se defectează. În schema electrică, bateria este situată între pila de combustie, care convertește hidrogenul în energie electrică, și motoarele electrice de antrenare amplasate în cele patru roți. O caracteristică constructivă a autovehiculului antrenat cu motor cu hidrogen este integrarea celulei de combustie cu tehnologia de electronizare sistemică a funcționării autovehiculului și motorului, care va înlocui sistemele anterioare, predominant mecanice de control al direcției, frânare, accelerare, securizare a deplasării etc. Aceasta înlocuire va elibera spațiul în compartimentul motor și al transmisiilor deoarece sistemele electronice sunt mult mai compacte decât cele mecanice.

Tehnologia celulelor de combustie a avansat în mod semnificativ în câțiva ani, constructori de automobile ca Daimler-Benz, Mercedes, GMC, Mitsubishi, Toyota etc. au expus prototipuri de vehicule antrenate cu celule de combustie. Multe din aceste prototipuri au fost greoaie, au necesitat unități energetice cu pile de combustie puternice, care au facut pe unii observatori să prevadă că ar mai putea trece înca 10-15 ani pentru ca pila de combustie să devină economică.

c) Alcoolii și amestecurile care conțin alcool.

În țările care dispun de zăcămintele bogate de cărbune, gaze naturale, sau cu fond forestier dezvoltat (de exemplu Germania), având și o industrie și tehnologii de producție avansate, metanolul constituie o alternativă certă a combustibililor clasici.

Deoarece etanolul se obține din biomasă, este rațional ca țările bogate în vegetație sau în terenuri agricole (Brazilia, SUA, Australia, Noua Zeelandă, Africa de Sud, etc.) să dezvolte programe de înlocuire parțială a benzinei cu alcool (gazohol) sau de utilizare exclusivă a alcoolului în M.A.S.

Căldura de vaporizare a etanolului este de două ori, iar a metanolului de trei ori mai mare decât a benzinei. Gradul de umplere și puterea motoarelor cu ardere internă cu alcool cresc prin răcirea amestecului, însă presiunea joasă de vapori a alcoolilor și lipsa fracțiunilor foarte ușoare îngreunează pornirea la rece și influențează nefavorabil funcționarea motorului neîncălzit.

Formarea amestecului prin carburare este mai dificilă la alcoolii decât la benzine. Rezultate pozitive au fost obținute prin utilizarea alcoolilor la motoarele cu ardere externă (Stirling sau la motoarele cu turbină). La motoarele diesel, alcoolii nu asigură autoaprinderea deoarece au cifra cetanică mai mică chiar decât a benzinei. În consecință se adoptă soluții complementare de inițiere a aprinderii cu o flacăra pilot sau cu o suprafață caldă (la circa 1000 °C)

Cifrele octanice mai mari ($CO/R > 110$) conferă alcoolilor metilic și etilic caracteristica de combustibili ideali pentru rapoarte comparabile cu ale M.A.C.-ului. Calitățile antidetonante ale alcoolilor sunt completate de proprietatea combustibililor reci de a răci intens amestecul prin vaporizare, datorită valorii mari a căldurii de vaporizare.

Etanolul (CH_3CH_2OH) amestecat în proporție de 85%/15% cu benzina, rezultă E85. Fiind un combustibil cu cifra octanică ridicată (105), duce la o creștere de putere a propulsorului, față de unul similar care funcționează cu benzină normală. În mod firesc, solicitările la care este supus motorul sunt și ele mai mari, motiv pentru care o serie de componente ale propulsorului trebuie întărite, în timp ce sistemul de injecție este reprogramat, pentru a injecta cu 60% mai mult combustibil.

E85 este un conductor excelent, elementele metalice ale circuitului de alimentare trebuind eliminate. Primul automobil alimentat cu bioetanol a fost celebrul Ford T.

Mașinile moderne care funcționează după modelul acesta sunt denumite flexible-fuel vehicles și sunt în stare să determine automat măsura în care trebuie să combine cele două "ingrediente". Unele pot funcționa și cu bioetanol pur (E100), caz în care emisiile de dioxid de carbon coboară la zero.

Una dintre cele mai reușite mașini alimentate cu etanol (pur) este Saab Aero X Concept (figura 1.17). Influențată de tradiția aeronautică a companiei suedeze, este un exercițiu de tehnologie și design prezentat la Salonul Auto de la Geneva, din februarie 2006. Bolidul este propulsat de un V6 de 2,8 litri, twin-turbo, ce dezvoltă 400 CP.

Performanțele sunt deosebite, Aero X accelerând în doar 4,9 secunde până la 100 km/h, în ciuda gabariturii destul de mare (4.675 x 1.918 x 1.276 mm; greutate: 1.500 kg).



Fig.1.17 Autoturism Saab Aero X Concept

Etanolul este utilizat în procent de 99% la alimentarea autoturismului FIAT 147, varianta braziliană a autoturismelor FIAT.

Acest lucru este favorizat de existența din abundență în aceeași țară a trestiei de zahăr.

d) Celulele de combustie cu etanol. Avantajul major al utilizării etanolului îl reprezintă compatibilitatea cu tehnologia de reformare a benzinei și flexibilitatea sa de fi folosit pur sau în amestec benzină / etanol.

În cazul celulelor combustibile cu etanol a fost dezvoltat un procesor de combustibil care permite instalațiilor cu celulele combustibile să funcționeze cu etanol. Etanolul folosit pentru aplicații în transporturi reduce dependența de petrol, reduce poluarea aerului și se poate obține o eficiență în conversia combustibilului în energie utilizabilă de până la 40...50%. În celulele combustibile se poate folosi etanol hidratat (alcool care mai are un conținut redus de apă), fără a avea pierderi de eficiență comparativ cu etanolul 100%.

e) Gazul natural comprimat (GNC). Gazul natural comprimat este un combustibil care poate înlocui fără probleme benzina sau motorina. Considerat a fi alternativa “verde” a acestora, GNC se obține prin comprimarea metanului extras din gazul natural. El poate

fi utilizat atât în ciclul Otto, cât și în cel Diesel, dar acesta din urmă necesită anumite modificări pentru a funcționa cu GNC.

În cazul alimentării cu GNC a unui motor Otto, performanțele propulsorului vor crește semnificativ datorită eficienței termice ridicate și expansiunii puternice a NO_x. Controlul electronic al amestecului de combustibil conduce la o reducere radicală a emisiilor poluante, în special dacă în acest scop sunt folosite un compresor, un intercooler și un catalizator convertor cu trei căi. Dacă și sistemul de evacuare este atent studiat, atunci se poate candida la titlul de cel mai verde dintre tipurile de motoare cu combustie internă. O mare problemă a acestui carburant este reprezentată de preț, deși producerea lui nu este așa de scumpă.

Concluzii

Industria producătoare de automobile din țara noastră are o tradiție de aproape un secol. După fabricarea primelor automobile la Arad la începutul secolului XX, industria constructoare de automobile din România a cunoscut un avânt deosebit în perioada începând cu mijlocul sec. XX prin construirea uzinelor producătoare de automobile din Brașov, Pitești și Câmpulung Muscel. Ulterior au mai fost fabricate automobile la Craiova și Timișoara.

Automobilele românești erau recunoscute pe piața internațională și au fost vândute într-un număr considerabil de țări de pe toate continentele. În decursul timpului au fost produse automobile atât sub licența unor firme de renume, cât și unele tipuri originale, de concepție românească. Concomitent s-a dezvoltat și producția de motoare pentru aceste automobile, majoritatea fiind de concepție românească.

După 1990 industria constructoare de automobile din țara noastră a intrat în procesul de restructurare și privatizare. După o perioadă de recesiune, datorită experienței și personalului de înaltă calificare, întreprinderile constructoare de automobile românești au intrat în sfera de interes a marilor companii producătoare de automobile, astfel încât la ora actuală producția de automobile din România se situează pe unul din primele locuri în Europa de Est.

Automobilele și motoarele fabricate în prezent în țara noastră se încadrează în tendințele actuale de îmbunătățire a performanțelor și de creștere a confortului și siguranței circulației. Acest lucru le asigură competitivitatea pe piețele internaționale, fapt evidențiat de dinamica vânzărilor de automobile autohtone.

Sunt în atenția producătorilor de automobile autohtone sistemele de propulsie altele decât motoarele cu ardere internă și utilizarea combustibililor neconvenționali.

Cap.2 DEFECȚIUNI SPECIFICE AUTOVEHICULELOR

2.1. TIPURI DE DEFECȚIUNI ȘI CAUZELE CARE LE PRODUC

Una dintre problemele majore care apar pe timpul funcționării autovehiculelor o reprezintă scoaterea din funcționare sau înrăutățirea funcționării autovehiculelor, cauzată de modificarea unor parametri funcționali. Acestea se datoresc apariției unor defecțiuni la unele piese sau subansamble din componența autovehiculului.

Defectarea autovehiculelor este consecința evoluției procesului de degradare a elementelor componente care ajung la un moment dat să depășească o anumită stare limită. Defecțiunile apar în perioada de exploatare a produsului, dar cauzele acestora se regăsesc în diferitele etape ale realizării și utilizării sale, de la concepție până la scoaterea din uz. La autovehicule, cauzele defectărilor se regăsesc atât în concepția constructivă, în modul de execuție, cât și în exploatare, sub acțiunea factorilor de mediu și a factorului uman.

Clasificarea defecțiunilor

În decursul timpului s-au formulat mai multe definiții ale defecțiunii, dar în prezent cea mai mare răspândire o are următoarea:

“Defecțiunea reprezintă o pierdere totală sau parțială a capacității de funcționare, precum și orice modificare a valorilor parametrilor constructivi și funcționali în afara limitelor impuse de documentație”

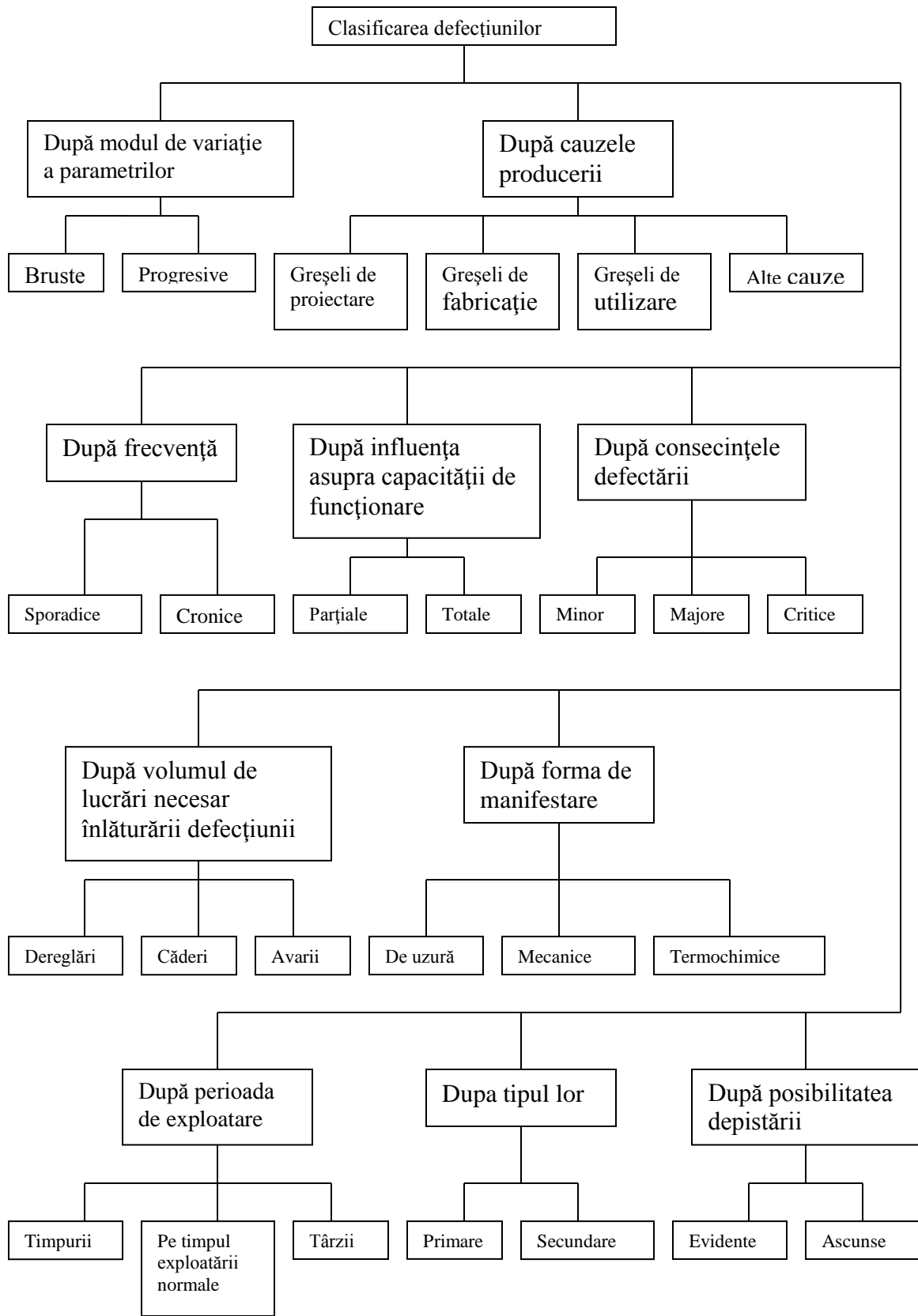
Piesele pentru autovehicule sunt confecționate din materiale diferite și sunt supuse la solicitări diferite care în același timp sunt variabile ca intensitate. De asemenea cauzele care determină apariția defecțiunilor, modul lor de manifestare și consecințele care apar, au o mare diversitate. Din această cauză există o multitudine de criterii pentru clasificarea defecțiunilor (figura 2.1).

Defecțiunile bruște apar în cazul distrugerii unor componente prin rupere sau ardere. De exemplu, ruperea axului pompei de ulei sau a uneia din curelele trapezoidale, arderea unui bec, etc.

Defecțiunile progresive sunt consecințele uzării, coroziunii sau îmbătrânirii. Este cazul creșterii jocului la asamblarea pivotului de fuzetă, deteriorarea oglinzii interioare, a farurilor, sau crăparea elementelor de cauciuc.

Defecțiunile datorate greșelilor de proiectare sunt foarte costisitoare deoarece pentru înlăturarea lor după intrarea produsului în fabricație de serie sunt necesare eforturi și cheltuieli mari și se consumă mult timp. În plus, pentru a nu se compromite reputația produsului, marile firme retrag produsul de pe piață pentru remediarea defecțiunii ceea ce necesită alte cheltuieli suplimentare.

Defecțiunile datorate proiectării sunt cauzate de faptul că la proiectare nu s-au prevăzut condițiile reale în care lucrează piesele și agregatele. Alegerea unei soluții constructive neadecvate sau a unei scheme cinematice insuficient studiate poate compromite, încă din faza de temă sau de proiect tehnic, fiabilitatea oricărui sistem.



Proiectarea componentelor auto fără a se acorda importanța cuvenită accesului ușor pentru înțrținere, inspecție și reparare, în special pentru elementele vitale, are consecințe negative asupra disponibilității autovehiculului.

Defecțiunile datorate greșelilor de proiectare pot fi cauzate de dimensionarea necorespunzătoare a pieselor și instalațiilor, de alegerea necorespunzătoare a materialelor sau datorită unor toleranțe de prelucrare alese greșit. De regulă aceste greșeli se depistează și se înlătură pe timpul încercărilor din faza de omologare a produsului, înainte ca acesta să intre în fabricația de serie.

Defecțiunile datorate greșelilor de fabricație au ca principală cauză nerespectarea documentației, folosirea unor materiale necorespunzătoare, nerespectarea tehnologiilor de execuție și altele. Uneori chiar procesul tehnologic de fabricație poate să fie elaborat greșit. Aceste defecțiuni pot fi prevenite prin activitatea compartimentelor de control din întreprinderi; în caz contrar, cheltuielile de producție cresc datorită lucrărilor suplimentare executate în perioada de garanție. De regulă aceste defecțiuni constau în abateri de la dimensiunile, toleranțele și ajustajele prescrise, tratamente termice necorespunzătoare, abateri de la calitatea suprafețelor, înlocuiri necorespunzătoare de material sau montaj greșit.

Ca urmare a prelucrărilor mecanice necorespunzătoare a suprafețelor de lucru scade capacitatea portantă, în special oboseala de contact. Prezența rugozităților pe suprafețele active ale cuplelor de frecare conduce atât la micșorarea capacității portante cât și la mărirea nivelului de zgomote și vibrații.

Calitatea montajului introduce unii factori perturbanți asupra fiabilității, în special pentru jocurile sau strângerile exagerate.

Defecțiunile datorate greșelilor de utilizare au la bază un nivel necorespunzător de pregătire a personalului de exploatare și neexecutarea oportună sau defectuoasă a lucrărilor de mentenanță. Ele pot fi datorate conducerii necorespunzătoare care provoacă suprasolicitări (de exemplu, abordarea unor obstacole cu viteză mare, folosirea excesivă a sistemului de frânare, etc.).

Defecțiunile cauzate de mediul ambiant Componentele autovehiculului sunt în general protejate împotriva pătrunderii substanțelor din mediul ambiant (cu excepția cuplajelor axiale din transmisiile homocinetice și mecanismele de frânare prin frecare), dar sunt supuse în permanență la acțiunea factorilor de climă și a căii de rulare. Aceste defecțiuni pot fi prevenite prin efectuarea corespunzătoare a lucrărilor de mentenanță.

Defecțiunile datorate accidentelor de circulație sau calamităților naturale sunt caracterizate de faptul că pentru remedierea lor este necesar în general un volum mare de lucrări. Defectele datorate accidentelor de circulație sunt foarte grave și se prezintă sub forme variate ca: ruperi, spurgeri, încovoieri sau alte deformări ale pieselor. Uneori spurgerile și deformările pieselor au un caracter atât de pronunțat, încât peste 50% din piesele autovehiculului trebuie înlocuite. Accidentele de circulație mai pot fi însoțite de incendii care conduc la distrugerea totală a autovehiculului.

Defecțiunile primare sunt cele care nu sunt cauzate de alte defecțiuni. De regulă ele sunt consecință a utilizării unor materiale necorespunzătoare, a apariției unor suprasolicitări sau a uzării ori îmbătrânirii materialului. De exemplu, ruperea unui ax datorită cedării de material sau ruperea unei curele de transmisie datorită îmbătrânirii.

Defecțiunile secundare apar ca o consecință a unor defecțiuni care au avut loc anterior în instalație. Este cazul gripării arborelui cotit datorită scăderii presiunii în

instalația de ungere cauzată de defectarea pompei de ulei sau ruperea curelei de antrenare datorită gripării axului pompei de apă, etc..

Defecțiunile sporadice sunt defecțiunile care se produc accidental și pot fi cauzate atât de factori externi, cât și de factori interni. De exemplu arderea garniturii de chiuloasă datorită funcționării motorului în regim termic ridicat sau spargerea unei anvelope datorită acțiunii unor corpuri ascuțite.

Defecțiunile cronice sunt defecțiunile a căror repetabilitate depășește 30%. Ele sunt cauzate de cele mai multe ori de greșeli de proiectare, fabricație sau exploatare, cum ar fi neconcordanța dintre caracteristicile motorului și ale cutiei de viteze, uzarea rapidă a camelor de pe arborele cu came datorită tratamentului de durificare superficială executat necorespunzător (caz întâlnit într-o anumită perioadă la arborii cu came ai motorului SR 211), sau supraîncălzirea motorului la turații reduse datorită dimensionării incorecte a sistemului de răcire.

Defecțiunile parțiale apar atunci când valorile unor parametrii nu mai pot asigura îndeplinirea performanțelor impuse în documentație, fără ca autovehiculul să-și piardă capacitatea de funcționare. Este cazul scăderii puterii motorului datorită uzurii accentuate a cilindrilor, sau spargerea tobei de eșapament.

Defecțiunile totale sunt cele care au drept consecință scoaterea din funcționare a produsului. De exemplu griparea motorului sau ruperea arborelui cardanic al transmisiei longitudinale.

Defecțiunile minore nu împiedică buna funcționare a autovehiculului și se pot remedia relativ ușor. Astfel de defecțiuni pot fi de exemplu deteriorarea unor elemente ornamentale sau a vopselei.

Defecțiunile majore împiedică funcționarea autovehiculului. De exemplu griparea motorului sau a rulmenților cutiei de viteze, ruperea axelor planetare sau alte defecțiuni care fac imposibilă deplasarea autovehiculului.

Defecțiunile critice sunt defecțiunile care pot provoca distrugerea de bunuri materiale sau chiar pierderi de vieți omenești. În general aceste defecțiuni apar la sistemele de care depinde siguranța circulației: sistemul de frânare sau propulsia autovehiculului.

Dereglările sunt defecțiuni specifice asamblărilor sau îmbinărilor și se datorează uzurii anormale a pieselor. De regulă, instalațiile care au piese îmbinate sunt prevăzute cu dispozitive de reglaj care, cu ocazia executării lucrărilor de mentenanță permit refacerea jocurilor prevăzute de documentația tehnică. Este cazul reglării distanței dintre pinionul de atac și coroana diferențialului, etc.

Căderile reprezintă defecțiuni cauzate de schimbări ireversibile ale parametrilor funcționali care conduc la scoaterea din funcțiune a organului sau subansamblului respectiv, fără a antrena deteriorarea altor organe. Pentru remediere este necesară înlocuirea pieselor deteriorate cu alte piese, noi, sau recondiționate. De exemplu, întreruperea unui circuit electric, defectarea electromotorului de pornire sau distrugerea discului condus al ambreiajului.

Avariile sunt defecțiuni determinate de erori grosolane de exploatare, de accidente de circulație sau de calamități naturale. Ele au drept consecință mari pierderi materiale și necesită un volum mare de manoperă pentru remediere. Este cazul gripării motorului, blocării cutiei de viteză sau a diferențialului, etc..

Defecțiunile evidente sunt ușor de depistat la un control sumar sau pe timpul funcționării. De exemplu spargerea unui pneu, ruperea arcului pedalei de ambreiaj, ruperea suporturilor tobei de eșapament sau ruperea unui arc de suspensie.

Defecțiunile ascunse sunt defecțiunile pentru a căror depistare este necesară utilizarea unei aparaturi de diagnosticare de către personal calificat. De exemplu, uzarea cilindrilor, cocsarea segmentelor, unele întreruperi ale circuitelor electrice, etc..

Defecțiunile timpurii apar în perioada de rodaj și sunt cauzate de erori de proiectare sau de greșeli de fabricație. De regulă aceste defecțiuni se remediază de către întreprinderea producătoare în termenul de garanție și analizarea lor dă indicii asupra măsurilor care trebuie luate pentru înlăturarea cauzelor care au favorizat producerea unei anumite defecțiuni.

Defecțiunile care apar pe timpul exploatării normale se datoresc unor greșeli de exploatare, executării necorespunzătoare a lucrărilor de mentenanță sau unor factori externi: accidente de circulație, calamități naturale, coroziune, etc.

Defecțiunile târzii sunt cauzate de uzarea sau îmbătrânirea pieselor sau materialelor. Ele apar după o anumită perioadă de utilizare a produsului și au o frecvență mult mai mare decât defecțiunile care apar pe timpul funcționării normale, ceea ce impune înlocuirea sau repararea pieselor sau organelor respective.

Defecțiunile de uzură se manifestă prin modificarea dimensiunilor și formei geometrice ale pieselor. De exemplu: ovalizarea cilindrilor, uzarea fusurilor arborilor cotiți, uzarea pivoților fuzetei, etc.

Defecțiunile mecanice constau în ruperi, fisurări, încovoieri, spargeri. Ele sunt cauzate de șocuri, lovituri sau suprasolicitări pe timpul funcționării.

Defecțiunile termochimice se manifestă prin decarburarea suprafețelor pieselor datorită funcționării la temperaturi înalte sau prin coroziune de toate tipurile. De exemplu decarburarea discului de comandă al ambreiajului sau corodarea pieselor în contact cu lichidul de răcire.

2.2 DEFECȚIUNI CARACTERISTICE ALE PRINCIPALELOR PIESE ALE MOTOARELOR

2.2.1 Generalități

Motorul este ansamblul cel mai solicitat al autovehiculului, din cauza condițiilor grele de funcționare (temperaturi și presiuni ridicate, forțe de inerție și viteze relativ mari ale pieselor în frecare, etc.). Din această cauză, motorul este agregatul cu cea mai redusă durată de funcționare.

O caracteristică a reperelor de bază ale motorului o constituie faptul că majoritatea defectelor acestora (cele datorate uzurii, abateri de la dimensiunile nominale sau de la forma geometrică corectă, fisuri), nu pot fi depistate decât după demontarea agregatului. Din această cauză, controlul și trierea pieselor după demontare trebuie să se facă cu mare seriozitate, deoarece în caz contrar este posibilă apariția unor defecte la bancul de probe după repararea motorului, ceea ce impune demontarea parțială sau totală a lui, care conduce la mărirea considerabilă a volumului de lucrări și a prețului de cost.

2.2.2 Defecțiunile blocului cu cilindri

Formele constructive complicate și multiplele roluri funcționale conduc la apariția unui număr mare de defecte și deteriorări provocate de cauze foarte diferite. Defecțiunile care apar cel mai frecvent la blocul cilindrilor sunt cele prezentate în figura 2.2. Reformarea blocului cilindrilor se face în următoarele situații: dacă fisurile, crăpăturile sau spărturile sunt situate în dreptul locașurilor paliere, în dreptul cămășilor de cilindri sau în locuri unde nu este posibilă sudarea; dacă fisurile sunt pe toată lungimea blocului; dacă rupturile au lungimea conturului mai mare de 100...150 mm; dacă diametrele părților de ghidare ale cămășilor sunt mai mari decât cele admisibile; dacă ovalizarea sau conicizarea locașurilor paliere sunt peste limitele reconșionabile.

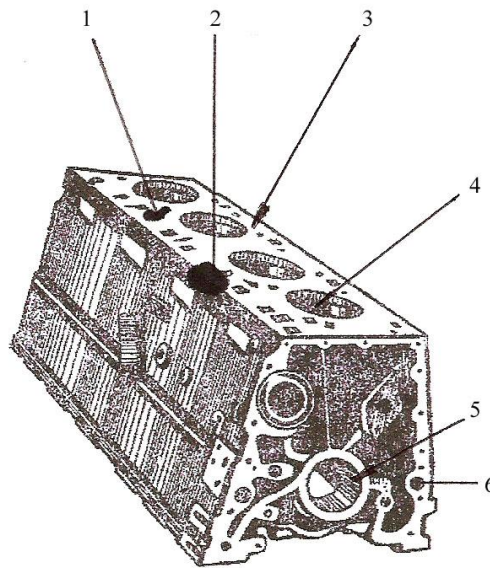


Fig. 2.2 Defectele blocului cilindrilor

- 1-fisuri; 2-spărturi sau rupturi; 3-deformarea suprafeței de asamblare cu chiulasa;
- 4-uzura alezajelor pentru fixarea cămășilor de cilindri; 5-dezaxarea sau uzura locașelor pentru cuzineții palieri; 6-deteriorarea găurilor filetate

Curățirea blocului cu cilindri este o operațiune mai pretențioasă decât la alte piese și se execută prin imersivarea blocului timp de aproximativ 20 de minute, într-o cuvă de spălare, cu o soluție de 6...10% sodă caustică și apă, la o temperatură de 80...85°C, după care se continuă spălarea cu un jet sub presiune din aceeași soluție pentru îndepărtarea oricăror depuneri din canalele de ungere. Se suflă apoi blocul cilindrilor cu aer comprimat și în special canalele de ungere și găurile filetate.

În general blocurile cu cilindri sunt confecționați din fontă cenușie sau din aliaje de aluminiu.

Procedee de recondiționare. Procedeele de recondiționare folosite sunt în funcție de natura și mărimea defecțiunilor, de materialul din care este confecționată carcasa și de gradul de utilare tehnologică a întreprinderii reparatorului.

a) Recondiționarea planelor de separație. Această defecțiune se manifestă sub formă de deformări, porozități, adâncituri sau fisuri.

Foarte frecvent în exploatare planele de separație dintre blocul motor și chiulasă se deformează, în special dacă acestea sunt confecționate din aluminiu. Cauzele acestor deformări sunt multiple: tensiuni interne de la turnare sau provocate de încălziri excesive; lucrări de sudare, etc. Aceste deformații produc denivelarea suprafețelor de separație care împiedică așezarea corectă a pieselor la asamblare, ducând la apariția scăpărilor de gaze, ulei sau lichid de răcire. Verificarea planeității acestor suprafețe se face pe mese de control sau cu o riglă de precizie.

Porozitățile și fisurile se recondiționează prin încărcare prin sudare cu arc electric, astuparea cu chituri pe bază de rășini epoxidice sau metalizare cu molibden, zinc, cupru sau aluminiu.

Denivelările se remediază astfel:

- cele mai mari de 0,5 mm se elimină prin prelucrări mecanice, prin rabotare sau frezare;

- cele între 0,3...0,5 mm se remediază prin rectificare;

- cele mai mici de 0,3 mm se prelucrează manual cu răzuitorul.

b) Fisurile, și crăpăturile pot fi cauzate de șocurile produse la trecerea autovehiculului peste obstacole, regim termic de funcționare necorespunzător sau de tensiunile interne repetate ce iau naștere la încălzirile și răcirile motorului. Detectarea lor se poate face prin observare, prin probe hidraulice și control cu praf de cretă.

Fisurile și spărturile se remediază în funcție de mărime și materialul carcasei după cum urmează:

- pentru carcasele din oțel turnat se execută sudarea cu arc electric după ce s-au delimitat capetele fisurilor cu alezaje de 2...3 mm și s-au executat cavitățile pentru depunerea materialului de încărcare;

- pentru carcasele din fontă se execută prin sudare cu arc electric la cald sau la rece. Sudarea la cald se execută după prîncălzirea pieselor în cuptor la 600...800 °C, cu electrozi din fontă. După sudare piesa se încălzește din nou la 650...700 °C urmată de o răcire lentă în cuptor. Sudarea la rece se execută cu electrozi înveliți de tip EF-Fe cu diametrul maxim de 4 mm și depunere în straturi subțiri. În ambele cazuri se execută aceleași operațiuni pregătitoare ca și în cazul carcaselor din oțel;

- pentru carcasele din fontă se poate face recondiționare cu ajutorul dopurilor metalice filetate suprapuse, folosind dopuri filetate M5...M8.

- pentru carcasele din fontă sau aliaje nemetalice se poate executa recondiționarea și prin metalizare, după efectuarea operațiunilor pregătitoare specifice acestei metode de încărcare. La carcasele din fontă se folosește drept material de adaos oțel cu conținut redus de carbon, iar în cazul carcaselor din materiale neferoase se va folosi un material similar cu cel al piesei de bază.

Spărturile se remediază prin astupare cu capace prinse prin nituire sau șuruburi. În cazul zonelor care nu sunt solicitate mecanic sau termic se pot utiliza paste epoxidice.

c) Alezajele filetate deteriorate se remediază prin refiletare la o dimensiune mai mare sau prin încărcarea prin sudare urmată de refiletare la cotele nominale.

2.2.3 Defecțiunile pistonului

Pistoanele motoarelor care echipează autoturismele sunt confecționate din aliaje de aluminiu cu Si, Cu, Mg, Ni, Cr, Ti, etc. Suprafața exterioară a pistoanelor este acoperită cu un strat de staniu de 4...8 μm sau cu grafit coloidal, în scopul îmbunătățirii calității la rodare.

În mod obișnuit, pistoanele prezintă defecțiunile evidențiate în figura 2.3.

Reformarea pistoanelor se face de obicei în totalitate pentru motoarele supuse reparației capitale, precum și în cazurile în care sunt depășite limitele admisibile pentru uzură de la manta, canalele pentru segmenti, alezajele bolțului și la constatarea fisurilor sau crăpăturilor pe diferite părți ale pistonului.

Se recomandă să se înlocuiască pistoanele și atunci când se alezează cilindrii la o dimensiune de reparații majorată.

a) Uzura canalelor pentru segmenti este cea mai pronunțată uzură întâlnită la pistoane și se datorește presiunii ridicate cu care acționează segmentii asupra flancurilor canalelor, precum și temperaturii ridicate a capului pistonului. Datorită uzurii, secțiunea dreptunghiulară a canalelor devine trapezoidală, înrăutățind funcționarea segmentilor și intensificând pierderile de gaze spre carterul motorului. Aceasta conduce la micșorarea puterii motorului și înrăutățește răcirea pistonului și segmentilor, intensificând procesul de uzură.

Recondiționarea canalelor uzate se face prin lărgirea lor la dimensiuni de reparație, prin strunjire.

b) Uzura orificiului pentru bolț se manifestă prin ovalizare în plan perpendicular pe fundul pistonului și se datorește presiunii gazelor și forțelor de inerție care lucrează în acest plan. Recondiționarea se face prin alezare fină la dimensiuni de reparație. Orificiul alezat trebuie să fie perpendicular pe axa pistonului.

c) Uzura mantăii se datorește frecării dintre piston și cilindru. Recondiționarea se poate face prin rectificarea la dimensiuni de reparație. Această operațiune se poate executa pe mașini de rectificat fără vârfuri, pe mașini de rectificat rotund sau pe mașini de prelucrat prin copiere.

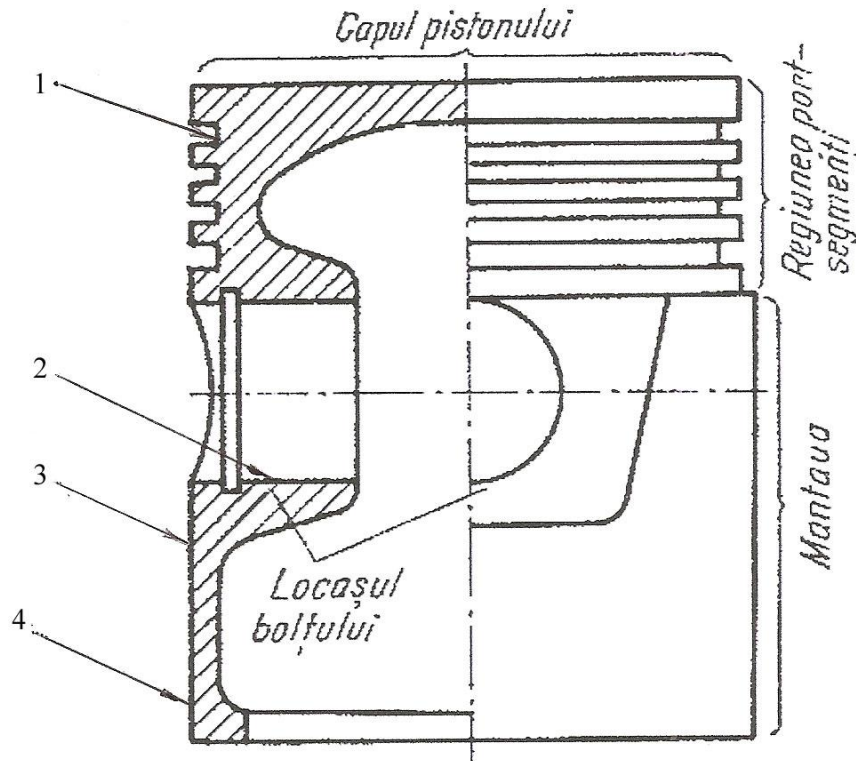


Fig. 2.3 Localizarea defectelor pistoanelor
 uzura canalelor segmentilor; 2-uzura locașului bolțului; 3-uzura mantalei;
 4-rizuri, fisuri, crăpături

2.2.4 Defecțiunile arborilor cotiți

Arborele cotit este o piesă scumpă și cu un rol foarte important în funcționarea motorului. Dintre toate organele motorului, arborele cotit suportă cele mai mari solicitări. Sub acțiunea forțelor de presiune a gazelor și a forțelor de inerție, în elementele arborelui cotit apar solicitări de întindere, compresiune, încovoiere și răsucire. Datorită jocurilor de montaj din articulații, vitezei mari de creștere a presiunii în perioada arderii și modificarea sensului de aplicație a forțelor, solicitarea arborelui cotit are un caracter de șoc.

Din aceste considerente, caracteristica principală a arborilor cotiți o constituie rigiditatea, pentru asigurarea căreia este necesară o mare precizie de fabricare.

Arborii cotiți se execută prin forjare-matrițare din oțeluri carbon de calitate, oțeluri aliate cu Cr, Ni, Vd, sau prin turnare din fontă cu grafit nodular.

În figura 2.4 sunt reprezentate defecțiunile caracteristice ale arborilor cotiți.

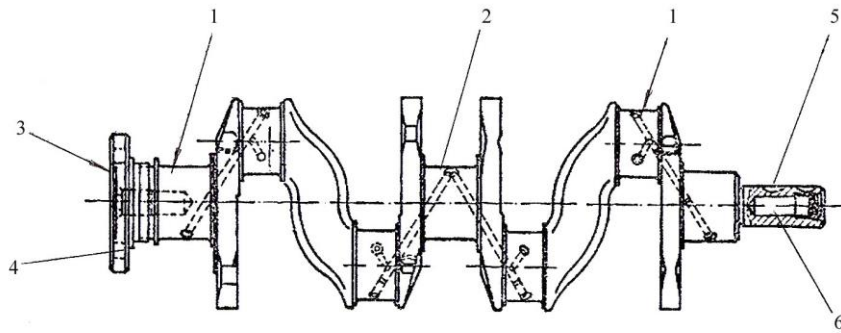


Fig 2.4 Defecțiunile și uzările arborilor cotiți

1-uzarea fusurilor paliere și manetoane; 2-încovoiere; 3-deteriorarea suprafețelor frontale ale flanșei; 4- uzarea găurilor din flanșă; 5-uzarea canalelor de pană; 6- deteriorarea filetului de la capătul anterior

Arborii cotiți se rebutează când sunt ruți, fisurați și răsuciți sau uzați peste limitele admise. Fisurile sau crăpăturile pot provoca avarii grave, de aceea arborii cotiți trebuie să fie verificați după demontare și spălare. În acest scop se poate utiliza un defectoscop electromagnetic, cu pulbere sau soluție feromagnetică ori un defectoscop cu ultrasunete. Fisurile sau crăpăturile apărute în secțiunile mai solicitate, precum și ruperea arborelui cotit, sunt produse de următoarele cauze: oboseala materialului în urma solicitărilor complexe îndelungate; nerespectarea razelor de racordare dintre fusuri și brațe; nerespectarea rugozității necesare, mai ales la racordări; jocuri inegale între fusurile paliere și lagărele lor; variații bruște de momente la funcționarea îndelungată neuniformă a motorului, etc.

a) Încovoierea arborelui cotit se datorește necoaxialității lagăreelor paliere sau jocuri neegale între fusurile paliere și cuzineți, ceea ce face ca arborele să se sprijine pe mai puține paliere. Ea se determină prin măsurători cu comparatorul, așezând arborele cotit cu fusurile extreme pe niște prisme sau cu găurile de centrare între vârfuri pe o mașină de rectificat.

Înainte de verificarea încovoierii, trebuie să se determine ovalizarea fusurilor, pentru ca la aprecierea încovoierii, să se țină seama și de uzură.

b) Răsucirea arborelui este neînsemnată la funcționare normală, dar poate avea valori mari la blocarea bruscă a motorului, datorită blocării pistoanelor în cilindri sau a arborelui în lagăre.

Răsucirea arborelui cotit se constată prin așezarea acestuia cu fusurile paliere de capăt pe prisme unghiulare și controlul înălțimii de la placa de control la fusurile manetoane corespunzătoare (figura 2.5).

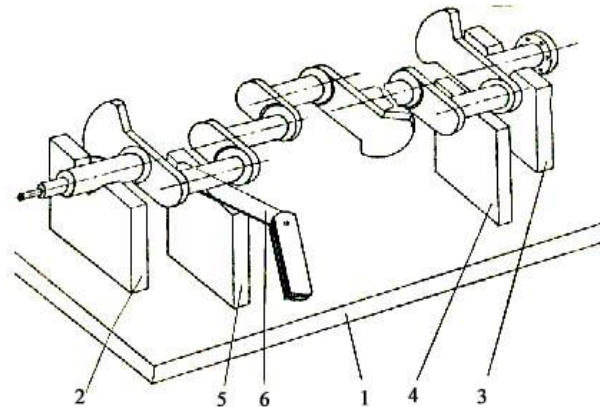


Fig. 2.5 Verificarea răsucirii arborelui cotit
1-placă; 2,3-prisme de susținere; 4-prismă de sprijin; 5-prismă de control; 6-calibru

La depășirea valorii admisibile, îndreptarea arborelui se face la rece cu o presă hidraulică cu șurub.

c) Deformarea flanșei se verifică cu palpatorul comparatorului așezat la periferia acesteia. La depășirea bătăii maxime admisibile în raport cu fusurile paliere, în medie de 0,025...0,05 mm, se execută rectificarea suprafeței frontale a flanșei, fără a depăși grosimea minimă impusă.

d) Uzura găurilor din flanșă se produce mai rar, și când se depășește valoarea admisibilă flanșa se recondiționează prin alezare la o cotă de reparație, folosindu-se șuruburi majorate. La recondiționare, se vor păstra axele găurilor și, dacă este posibil, acestea se vor aleza împreună cu găurile din volant în stare montată.

f) Uzura canalelor de pană impune recondiționarea arborelui fie prin frezarea canalelor de pană la treapta de reparație umediat următoare, fie prin frezarea unor canale la cota nominală, dar decalate la 90° față de canalele vechi.

e) Uzura fusurilor paliere și manetoane este principala cauză care impune recondiționarea arborilor cotiți. Fusurile se uzează din cauza preluării forței de presiune a agentului de lucru și a forțelor de inerție datorate schimbării sensului mișcării pieselor ce se deplasează liniar (pistonul cu segmentii și piciorul bieiei cu bolțul).

La încărcarea arborilor prin cromare, trebuie luate măsuri speciale de degresare – decapare care să asigure aderența cromului pe toate zonele fusului.

Încărcarea prin metalizare se face cu materiale de adaos (șârme speciale): RUL-1; RUL-2; OSC 7...9 cu care se obțin straturi rezistente la uzare, cu duritate ridicată și cu un procent mare de pori, care înglobează uleiul de ungere, favorizând lubrifierea în regimurile de tranziție. Pentru mărirea aderenței stratului depus, de regulă se depune un strat intermediar de molibden, aliaj de aluminu sau aliaj aluminu-crom, înainte de depunerea stratului de bază. În cazul utilizării instalațiilor de metalizare cu plasmă, crește

eficiența economică și prin controlul permanent al parametrilor regimului de lucru se asigură o aderență foarte bună a straturilor depuse.

De asemenea, se mai utilizează procedeul de încărcare prin metalizare cu arc electric vibrator care permite obținerea unor straturi omogene, dure, dar neinfluențând termic întreaga masă de material a arborelui.

Pentru arborii cotiți se utilizează frecvent metoda prelucrării la trepte de reparații prin rectificarea și lustruirea arborilor cotiți la dimensiuni de reparații stabilite de întreprinderile constructoare

Fusurile paliere fiind toate pe aceeași axă de rotație se rectifică pe mașini universale prevăzute cu vârfuri fixe și pietre abrazive de diametre care să le permită accesul la fusurile care se rectifică (figura 2.6).

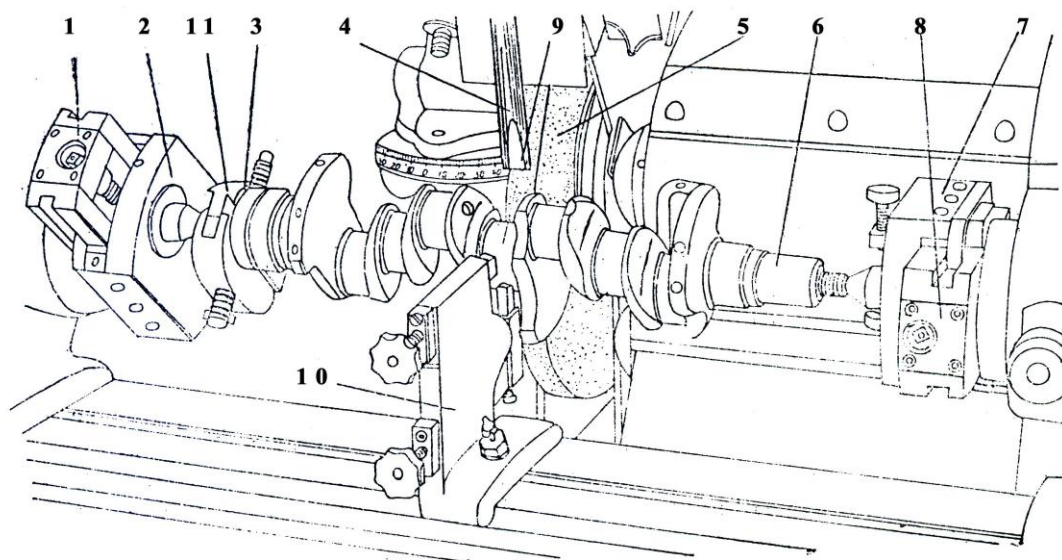


Fig. 2.6 Mașină pentru rectificat arbori cotiți

1,8-săni ; 2,7-platouri de capăt ; 3,11-flanșe ; 4-pulverizator pentru lichidul de răcire ;

5-disc de rectificat ; 6-bucșă ; 9-fus de sprijin principal ; 10-consolă-suport

Fusurile manetoane sunt așezate pe axe paralele cu axa palierei, și de aceea, la rectificarea arborele se fixează dezaxat, cu distanța dintre cele două axe, în dispozitive speciale care asigură prinderea pe fusurile paliere, de capăt.

Rectificarea se execută cu discuri abrazive din carbură de siliciu, cu următorul regim de lucru: turația arborelui cotit: 30...45 rot/min; turația pietrei de rectificat: 900 rot/min; avansul transversal: 0,0025mm/rot; răcire cu emulsie din apă cu 5% sodă calcinată.

Razele de racordare a fusurilor cu brațele se rectifică cu aceleași discuri abrazive, ale căror tășuri se profilează cu role dințate, având profilul conjugat concav sau cu dispozitive speciale prevăzute cu vârfuri de diamant.

Pentru îmbunătățirea rugozității după rectificare și mărirea rezistenței la uzare, fusurile arborilor cotiți se durifică prin ecruisarea zonelor de racordare și a suprafețelor

cilindrice, folosindu-se dispozitive cu cap vibrator și cu role. De asemenea, tot în scopul îmbunătățirii rugozității și măririi rezistenței la uzare, fusurile se supun operațiilor de netezire cu bare abrazive.

Înainte de controlul final este obligatorie curățirea canalelor de lubrifiere de impuritățile depuse pe parcursul operațiilor de recondiționare. După controlul final urmează operația de conservare și depozitare.

2.2.5 Defecțiunile bielei

Biela este piesa din cadrul mecanismului motor care transmite forța de presiune a gazelor de la piston la arborele cotit și servește la transformarea mișcării alternative de translație a pistonului în mișcare de rotație a arborelui cotit.

Datorită solicitărilor ridicate la care este supusă biela: rigiditate superioară, masă și dimensiuni reduse, aceasta se confecționează prin forjare din oțel carbon de calitate, oțel aliat, duraluminiu sau fontă cu grafit nodular. Biela este solicitată de forța de presiune a gazelor la compresiune și flambaj, iar de inerția grupului piston la întindere și compresiune. Pentru evitarea unor defecțiuni periculoase, de regulă se utilizează biele scurte. Pentru evitarea apariției concentratorilor de tensiuni corpul bielei se lustruiește, iar pentru creșterea rezistenței la oboseală se ecrusează prin bombardare cu alicie. După prelucrare bielele sunt supuse tratamentului termic de normalizare urmată de călire și revenire, obținându-se, în final, o duritate de 200...270 HB.

Șuruburile de prindere a capului bielei se confecționează din oțeluri aliate pentru îmbunătățire cu rezistență mare la rupere (70...80 daN/mm²).

Defectele mai importante care apar la biele sunt cele prezentate în figura 2.7.

Bielele se rebutează când apar fisuri sau rupturi de orice natură, când încovoierea sau răsucirea bielei se datorează unei avarii și când distanța dintre axele capului și piciorului bielei este mai mică decât valoarea admisibilă.

a) Uzura locașurilor pentru cuzineți și bucușă se produce dacă strângerea la montaj nu este corespunzătoare și bucușa sau cuzineții capătă joc în locașurile lor. Locașul pentru bucușa din piciorul bielei se recondiționează prin alezare la cotă de reparație și presarea unei bucuși noi cu diametrul exterior majorat, care se alezează apoi la cota nominală sau la o cotă de reparație, respectându-se distanța dintre axele capului și piciorului bielei. Locașul pentru cuzinet deformat sau uzat se recondiționează mai întâi prin frezarea suprafețelor de îmbinare a capului până la preluarea uzurii, după care se alezează locașul la cota nominală, respectându-se distanța dintre axele capului și piciorului bielei și momentul de strângere a piciorului de bielă.

Pentru frezarea planului de separare al bielei se poate folosi un dispozitiv specializat.

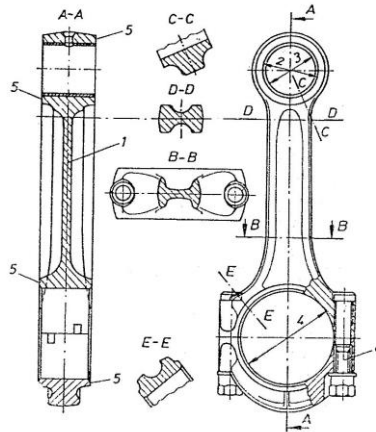


Fig 2.7 Defecțiunile bielor

1-încovoiere, răsucire; 2-uzura locașului pentru bucșa din piciorul bieiei; 3-uzura suprafeței interioare a bucșei; 4-uzura sau deformarea locașului din capul bieiei; 5-uzura suprafețelor laterale ale capului piciorului bieiei; 6-deteriorarea filetelor și întinderea șuruburilor de bielă

b) Alezarea găurii din capul bieiei, se face pe mașini speciale de alezat sau, în lipsa acestora se poate face pe strung cu ajutorul unui dispozitiv, folosind un avans minim de 0,05...0,08 mm/rot și o turație de 1000..1200 rot/min.

c) Uzura suprafeței interioare a bucșei impune înlocuirea bucșei uzate cu o bucșă nouă, respectându-se condițiile menționate mai înainte. În cazuri extreme, bucșa se poate recondiționa prin alezare la dimensiuni de reparație utilizând un bolț de piston de dimensiuni corespunzătoare.

d) Uzura suprafețelor laterale ale bieiei impune recondiționarea bieiei prin cromare dură sau metalizare dacă se depășesc limitele admisibile.

e) Încovoierea sau răsucirea bieiei impune recondiționarea prin îndreptare, după care se verifică pe dispozitiv dacă nu au apărut crăpături. Încovoierea bieiei maxim admisă este, în medie, de 0.03...0,05 mm pe lungimea de 100 mm, iar răsucirea maxim admisă este de 0,1 mm pe aceeași lungime. La depășirea acestor limite admisibile, bieele încovoiate se îndreaptă la rece pe o presă sau pe un dispozitiv, iar bieele răsucite, cu ajutorul unei pârgii, după care se fixează capul bieiei într-o menghină. Dezavantajul acestui procedeu constă în faptul că tensiunile interne care apar în bielă în timpul procesului de îndreptare nu se înlătură. După un anumit interval de timp, aceste tensiuni modifică poziția corectă a axelor găurilor din piciorul și capul bieiei, obținută prin îndreptare. Pentru înlăturarea acestui neajuns se recomandă încălzirea bieiei, după îndreptare, la 400...450 °C, timp de 1...2 ore urmată de o răcire în aer liber.

f) Șuruburile de bielă cu filetul deteriorat mai mult de două spire, cu fisuri, crăpături sau deformații se înlocuiesc cu șuruburi noi. Se admite recondiționarea cu filiera numai la cel mult două spire ale filetului deteriorat.

2.2.6 Defecțiunile arborelui cu came

Arborii cu came se execută prin turnare sau forjare din oțel de calitate sau ușor aliat STAS 880-88 (OLC 10, OLC 15, OLC 45X, OLC 55) și STAS 791-88 (15CO8, 18MC10, 45C10, 31M16) precum și din fonte cu grafit nodular sau aliate. Suprafețele supuse la uzură (camele și fusurile) se supun unui tratament termic sau termochimic de călire sau cementare.

Principalele defecțiuni care pot apărea pe timpul funcționării la axul cu came sunt evidențiate în figura 2.8.

Reformarea arborelui cu came se impune la apariția unor defecțiuni care nu mai pot fi recondiționate: fisuri, crăpături sau ruperea arborelui; ciupituri sau exfolieri mai mari de 2...2,5 mm; uzura accentuată a pinionului de antrenare a distribuitorului de aprindere și pompei de ulei (la MAS).

Procesul tehnologic de recondiționare trebuie să înceapă cu încărcarea suprafețelor uzate, îndreptarea arborelui și să se termine cu rectificarea fusurilor și camelor.

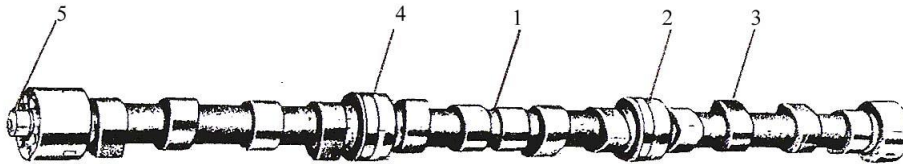


Fig. 2.8 Defecțiunile arborelui cu came

1-încovoierea arborelui; 2-uzura fusurilor de sprijin; 3-uzura suprafețelor de lucru a camelor; 4-ciupituri și exfolieri ale fusurilor; 5-deteriorarea canalului de pană pentru pinionul de distribuție

a) Încovoierea arborelui cu came se constată prin așezarea arborelui între vârfuri și verificarea bătăii cu un comparator față de fusul (fusurile) din mijloc. În prealabil se determină ovalizarea de care se ține cont la determinarea încovoierii. Pentru recondiționare, arborele se așează cu săgeata în sus pe două blocuri prismatice paralele și se presează până când săgeata scade sub 0,01 mm.

După îndreptare, este necesar să se execute un control feroflux, pentru a se identifica eventualele crăpături sau fisuri care pot apărea pe timpul operației de îndreptare.

b) Uzura camelor este defectul cel mai frecvent, care se produce datorită condițiilor specifice de lucru, având o mare influență asupra fazelor de distribuție și ca urmare asupra performanțelor motorului. Ea se manifestă prin micșorarea înălțimii și prin ciupituri.

Uzura admisibilă a camelor este de 3...5 mm. Dacă se depășește această valoare, arborele se rebutează sau se recondiționează prin încărcarea camelor uzate și prelucrarea lor la dimensiuni nominale.

Încărcarea camelor se face cu un aliaj dur (sormait) prin sudare, după ce în prealabil ele au fost rectificate. Încărcarea se execută așezând arborele pe două prisme

într-un bazin cu apă, astfel încât să rămână deasupra apei numai vârful camei care se încarcă.

După sudare se execută un tratament termic de revenire al arborelui prin încălzire la temperatura de 200 °C timp de 30 minute. Arborele se așează apoi pe două prisme pentru verificarea încovoierii și pentru îndreptare.

După încărcare, camele se prelucrează la dimensiuni nominale prin rectificare pe mașini de copiere sau la mașini de rectificat rotund, la care se atașează dispozitive speciale de copiere.

c) Uzura fusurilor este o uzură de aderență. Măsurarea ei se face cu un micrometru și, la depășirea uzurii maxime admisă (aprox. 0,15 mm), se înlocuiește arborele sau se recondiționează. În general, fusurile de rezem se uzează mai greu decât camele, astfel încât, de obicei condiția de rebutare a arborelui este impusă de uzura camelor. Recondiționarea fusurilor se poate executa prin mai multe procedee: rectificarea la cote de reparații și folosirea de bușe noi la cotele respective; încărcarea prin sudare, metalizare sau cromare, în funcție de gradul de uzură, și rectificare la cotă nominală.

d) Uzura locașului de pană pentru roata dințată a distribuției se produce mai rar și se verifică cu șablonul. La uzură mare, canalul se recondiționează prin frezare la o cotă majorată, folosindu-se o pană cu dimensiune corespunzătoare, sau se execută un alt canal, cu dimensiunea nominală, decalat cu 90° față de primul canal.

2.3 FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ UZAREA PIESELOR

2.3.1 Frecarea și uzarea pieselor

Frecarea este cauza principală a scăderii eficienței mecanice a mașinilor, respectiv a creșterii necesarului de energie în scopul învingerii rezistențelor care apar. Datorită frecării se produce uzura cuplelor cinematice ale mașinilor, ceea ce conduce, în final, la funcționarea defectuoasă a acestora, la scurtarea duratei lor de exploatare, la pierderi de material, etc.

Prin proces de uzare, se înțelege orice pierdere de material de pe suprafețele solide în frecare, având ca urmare modificarea dimensiunilor, a formei geometrice și a jocurilor. Acest proces apare ca un fenomen complex, datorat unor cauze diverse și determinat de un număr mare de factori și condiții: proprietățile, mecanice, particularitățile micro sau macrogeometrice ale suprafețelor, parametrii funcționali, calitatea ungerii, lubrifiantii folosiți.

Uzarea reprezintă degradarea straturilor superficiale ale elementelor cuplelor de frecare, fenomen ce se caracterizează fie prin pierdere de material, fie prin deformarea plastică a suprafețelor de contact.

Atât desprinderea de material, cât și modificarea stării inițiale a suprafețelor sunt datorate numeroaselor fenomene și procese de natură mecanică, termică, electrică, chimică, etc., a căror acțiune este practic greu de separat. Cauzele uzărilor depind de fenomenele predominante ce au loc între suprafețele în contact ale unei cuple de frecare, la funcționarea acesteia.

Fenomenele mecanice contribuie cu ponderea cea mai mare la uzarea rapidă a suprafețelor, iar tipul caracteristic acestei clase de fenomene este abraziunea. De fapt,

uzarea abraziva, deși este un proces de mare intensitate, durează efectiv puțin timp, după care apar în proporții din ce în ce mai mari uzarea de adeziune, uzarea chimica, etc.

Uzura este rezultatul principal al procesului de uzare, ce se manifestă prin modificarea caracteristicilor dimensionale și de formă geometrică, precum și a stării inițiale a suprafețelor pieselor. Ca urmare a procesului de uzare, proprietățile fizico-mecanice ale straturilor superficiale ale pieselor se modifică; în unele cazuri, duritatea superficială scade pe măsură ce uzura crește, iar în alte cazuri, duritatea crește ca urmare a ecruisării, provocând o creștere treptată a fragilității stratului superficial, ceea ce accelerează uzarea

2.3.2 Tipuri de uzare

Procesul de frecare are drept urmare pierderea de energie și uzarea.

În general, este acceptată clasificarea uzării în patru tipuri, cum rezultă din figura 2.9

a) Uzarea de adeziune este determinată de procesul de uzare molecular–mecanică, adică acțiunea simultană a componentei de natură mecanică și a celei cauzată de forțele moleculare sau atomice.

Acest tip de uzare este provocat de sudarea între microzonele de contact la temperaturi scăzute (sub 100 °C) și de ruperea acestor punți de sudură. Se caracterizează printr-un coeficient de frecare ridicat și o mare intensitate a uzării.

Una din consecințele cele mai dăunătoare ale uzării de adeziune care poate apare în anumite situații este gripajul.

Gripajul apare la sarcini mari, în lipsa lubrifiantului sau la străpungerea peliculei în urma unor temperaturi locale ridicate (de exemplu, în perioada de rodaj). Sub acțiunea sarcinii, suprafețele se apropie la o distanța de interacțiune atomică.

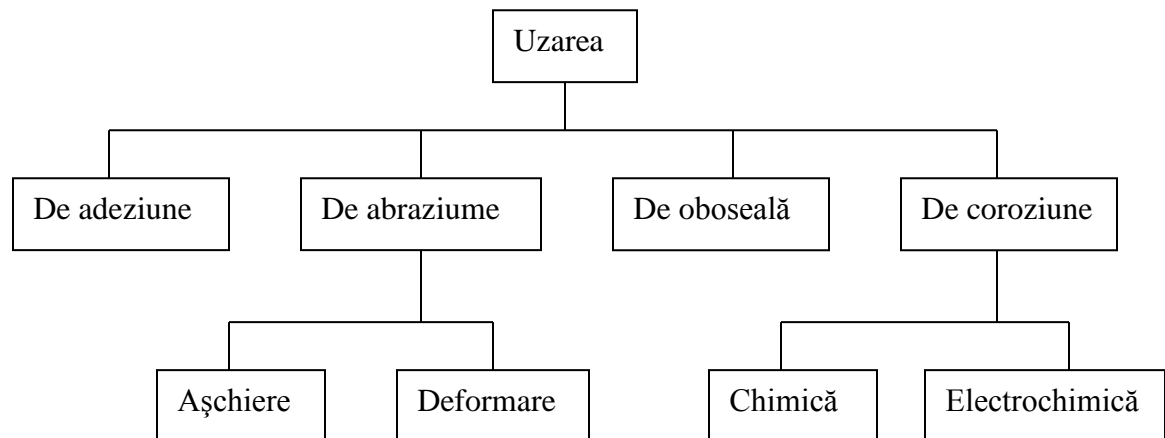


Figura 2.9 Principalele tipuri de uzare a pieselor

Adeziunile, microjoncțiunile puternice ce se creează, nu mai pot fi forfecate și deplasarea relativă încetează, cupla de frecare fiind astfel blocată.

Energia necesară interacțiunii poate fi de natură mecanică, termică, termo-mecanică sau termo-atomică.

În practică se întâlnesc două forme de gripaj:

- gripajul atermic – se produce la temperaturi joase și viteze reduse de deplasare care determină deformări plastice ale stratului superficial al suprafeței de frecare. Această formă se caracterizează prin valori mari ale coeficienților de frecare ($\mu = 4 \dots 6$), și fenomenul are o evoluție rapidă.

- gripajul termic – se produce la temperaturi înalte și viteze relative mari. Apare ca urmare a energiei termice acumulate în zona de contact, coeficientul de frecare este mai mic ($\mu = 0,2 \dots 0,5$), iar viteza uzării mai redusă.

Apariția gripajului poate fi favorizată de rodajul necorespunzător, jocuri prea mici între suprafețe sau suprafețe superfinisate, calitatea necorespunzătoare a lubrifiantului, depășirea unor parametri funcionali (viteză, sarcină, etc.).

În general, în faza de rodaj, griparea poate apare la o anumită încărcare sau viteză, ca urmare a energiei termice și mecanice din zona de contact, dată fiind și mărimea redusă a ariei reale de contact și a regimului termic tranzitoriu.

b) Uzarea de abraziune – este provocată de prezența particulelor dure între suprafețele de contact, sau de asperitățile mai dure ale uneia din suprafețele de contact.

Particulele dure pot proveni din forfecarea prealabilă a unor joncțiuni în cadrul uzării de adeziune, din desprinderi de porțiuni din stratul de suprafață mai dur, datorită oboselii sau tratamentului defectuos, din desprinderea și evacuarea unor ciupituri precum și din produsele metalice ale uzării de coroziune, cavitației etc.

De asemenea, particulele abrazive pot proveni din afara corpurilor în frecare (din mediul exterior: aer, lubrifiant, combustibil etc.). În acest sens, puritatea fizică a aerului și lubrifiantului folosit influențează hotărâtor intensitatea procesului de uzare abrazivă. De exemplu, cuplurile cinematice ale autovehiculelor exploatate în medii cu mult praf (mașini de luptă, tractoare, autobasculante, excavatoare etc.), se uzează într-un ritm mult mai rapid decât cele ale autovehiculelor care sunt exploatate în condiții normale de mediu, valoarea uzurii fiind determinată de raportul dintre duritatea abrazivului și duritatea piesei auto.

Uzarea abrazivă se prezintă sub două forme elementare: așchiera și deformarea. Dacă particulele dure sunt ascuțite, ele acționează ca un cuțit, formând așchii microscopice pe care le îndepărtează de pe suprafețele de frecare. Dacă particulele sunt de formă granulară, cu marginile teșite sau dacă orientarea părții ascuțite a granulei este nefavorabilă, acțiunea materialului dur se rezumă la o deformare plastică sub formă de dâră imprimată prin presare. Marginile acestor zgârieturi devin atât de predispușe la distrugere, încât sunt desprinse cu ușurință de alți grăunți. Pe de altă parte, deformarea plastică a metalului datorită strivirilor repetate a acelorași porțiuni accentuează caracterul distructiv al procesului de uzură.

Procesul uzării abrazive depinde de mai mulți factori: de materialul și proprietățile particulelor abrazive, de dimensiunile și duritatea materialului, de presiunea specifică și de viteza de alunecare în timpul frecării. Dacă suprafețele de frecare au durități superioare abrazivului, acțiunea acestuia este de scurtă durată și cu rezultate

minore, iar în caz contrar efectul lui distrugător este de durată mai lungă și cu consecințe mai grave.

Deși particulele au uneori o mare duritate, acțiunea lor este de scurtă durată, deoarece într-un timp scurt se produc două fenomene paralele și anume: pierderea acțiunii distrugătoare a abrazivului prin teșirea muchiilor ascuțite, și fărâmițarea acestuia.

Uzura abrazivă este foarte răspândită în cazul frecării pieselor și apare în special la piesele recondiționate prin cromare și metalizare. Ca pondere, uzura abrazivă, atunci când apare, este apreciabil mai mare și are consecințe mult mai grave decât celelalte forme de uzură.

Uzura abrazivă poate fi mult redusă dacă se utilizează, pentru cele două suprafețe în contact, materiale cu durități diferite.

În acest caz, suprafața mai moale poate îngloba particulele abrazive, limitând astfel acțiunea lor dăunătoare.

Ca fenomen fizic, abraziunea poate fi considerată ca un proces de așchiere, putându-se aplica legile specifice acestuia.

Volumul de uzură se poate determina cu ajutorul relației :

$$V = \frac{KF}{E} \cdot tg\theta \quad (2.1)$$

în care:

K – constanta care caracterizează materialul;

F – forța normală;

E – modulul de elasticitate al materialului;

θ – unghiul de atac al particulei abrazive.

Această relație prezintă interes prin faptul că atrage atenția asupra rolului determinant al modulului de elasticitate și al factorului geometric al particulei abrazive.

Cazuri particulare de uzură abrazivă le reprezintă uzurile hidro și gazoabrazive care sunt rezultatul acțiunii mecanice combinate a particulelor abrazive antrenate de un flux de lichid (combustibil, lichid de răcire, ulei hidraulic), sau de gaz (aer, gaze de evacuare). Adeseori aceste tipuri de uzuri presupun și acțiunea erozivă a fluxului de lichid sau gaz.

c) Uzura de oboseală se produce în urma solicitării ciclice a suprafețelor în contact, urmată de deformații plastice în rețeaua atomică a stratului superficial, de fisuri, ciupituri sau exfoliere.

Procesul uzării de oboseală evoluează prin deformări microplastice de comprimare și durificare a straturilor superficiale ale metalului. În urma durificării, apar tensiuni remanente de compresiune. Sarcinile variabile repetate care depășesc limita de curgere a metalului dau naștere la fenomene de oboseală care distrug straturile superficiale. Distrugerea straturilor superficiale se produce din cauza apariției unor fisuri microscopice provocate de deformațiile repetate ale acestor straturi. Procesul evoluează ulterior prin dezvoltarea microfisurilor formate, care se întind pe toată suprafața de lucru, producând cu timpul fărâmițarea stratului superficial al metalului sau exfolierea lui.

Exfolierea (cojirea, spalling-ul) se manifestă prin desprinderea de pe suprafețele de frecare a unor particule de uzură sub formă de solzi, ca rezultat al oboselii stratului suprafeței de contact. Exfolierea se produce datorită tratamentului termic defectuos sau

prin unirea cavităților vecine și, de regulă, este însoțită de prezența unor gradienti ridicati de tensiune în apropierea suprafeței supuse la contacte hertziene periodice.

Uzarea de oboseală este întâlnită frecvent în cazul frecării de rostogolire și este caracteristică rulmenților și danturii pinioanelor. La aceste piese uzura de oboseală este foarte pronunțată, se manifestă sub forma unor ciupituri grupate și mai poartă denumirea de pitting. Uzarea de pitting este însoțită de uzarea adezivă precum și de uzarea de abraziune. La roțile dințate aceste tipuri de uzare contribuie și la subțierea dintelui și uneori la ștergerea pittingului incipient. Fenomenul de producere a pittingului este mult mai complex prin interacțiunea a numeroși factori, atât în cazul rostogolirii pure cât și în cazul mișcării de alunecare.

În unele cazuri cavitățile pot rămâne la forma inițială (pitting incipient), iar în alte cazuri pot progresa ca formă, adâncime și număr, provocând practic, distrugerea suprafeței (pitting distructiv).

Apariția pittingului se produce în general la o duritate $HB \leq 350$, după cel puțin 10^4 cicluri (treceți). Totodată este necesară și prezența unui film de lubrifiant deoarece acesta are rol de a propaga fisura de oboseală datorită presiunii mari hidrostatice ce se dezvoltă în perioada contactului în fisurile în care a pătruns lubrifiantul. S-a demonstrat astfel experimental, că vîscozitatea redusă a uleiului favorizează producerea unor cavități mai mari.

Spre deosebire de pitting, scoringul este produs prin lipsa lubrifiantului; ambele produc deteriorări pe suprafețele de rostogolire/alunecare dar se diferențiază și prin aceea că pittingul este dependent de timp, iar scoringul nu este dependent de timp.

Scoringul se manifestă sub forma unor mici ciupituri, smulgeri, transfer de material etc.

Mai rar, uzura de oboseală poate să apară la îmbinările fixe, cum ar fi suprafețele de fixare ale inelelor rulmenților sau locașelor acestor inele. Uneori, ea apare chiar la pistoanele sau segmentii motoarelor cu ardere internă.

Îmbătrânirea materialelor – se caracterizează prin modificarea structurii și proprietăților materialelor și se produce fie prin menținerea îndelungată la temperatura obișnuită (îmbătrânirea naturală), fie prin încălzire (îmbătrânire artificială). Îmbătrânirea este un proces de trecere a materialului din starea metastabilă în cea stabilă.

Materialele din care se fabrică piesele pentru autovehicule se găsesc în stare metastabilă datorită existenței în material a unui nivel sporit de energie internă în raport cu starea stabilă. Procesul de îmbătrânire este determinat de deplasarea atomilor în metal, adică de modificări ale structurii cristaline a materialului.

Legea de îmbătrânire a materialului este dată de relația :

$$\ln \tau = \ln \tau_0 - k_1 t e^{-\frac{U}{E}} \quad (2.2)$$

unde τ – rezistența momentană;

τ_0 – rezistența inițială;

k_1 – coeficient care depinde de material și dimensiunile defectelor;

U, E – energiile de activare și reacție;

t – timpul.

Uzarea prin cavitație este definită ca fiind un proces de distrugere a suprafeței și deplasarea de material sub formă de mici particule, produsă de mediul lichid sau gazos în contact cu metalul, fără prezența celei de-a doua suprafețe de frecare, ca în celelalte forme de uzare. Se mai numește și eroziune de cavitație sau coroziune de cavitație și se produce, de regulă, pe suprafețele paletelor, rotoarelor de pompă, cilindrilor motoarelor Diesel etc., care sunt în contact cu fluide la viteze mari.

Explicația acestui tip de uzură este următoarea: la mișcările relativ mari sau la schimbări de viteză dintre un lichid și metal, presiunile locale devin reduse, în fluid se produce transformarea de energie mecanică în energie termică, temperatura lichidului depășește punctul de fierbere și se formează punji de vapori și gaze (bule de cavitație). Când presiunea revine la normal (sau crește) se produce o implozie (spargerea bulelor), cu forțe mari de impact pe microzonele suprafeței metalice, producându-se oboseala stratului și apariția de ciupituri de cavitație.

Intensitatea uzării prin cavitație se poate exprima prin relația :

$$I_u = A \cdot v^n \quad (2.3)$$

în care: A – este un coeficient cu valori cuprinse între 4... 10;

v – reprezintă viteza fluidului;

n – este un indice care depinde de viteza fluidului (n = 1 ... 1,25).

Uzarea de impact – este determinată de lovituri locale repetate și apare atunci când împreună cu alunecarea sau rostogolirea are loc un impact compus (componentele normale și tangențiale).

La autovehicule, uzura de impact se poate produce și în timpul funcționării unor organe de masini - came, roți dințate etc. - când, împreună cu alunecarea sau rostogolirea (de exemplu pe flancurile roților dințate), are loc și un impact compus.

În general, uzarea de impact conține mecanismele de bază ale principalelor tipuri de uzare: de adeziune, de abraziune, de oboseală și de coroziune.

d) Uzarea de coroziune constituie deteriorarea suprafeței de frecare și deci pierderea de material datorită acțiunii simultane sau succesive a factorilor chimici agresivi din componența mediului respectiv și a solicitărilor mecanice. Mecanismul uzării de coroziune presupune corelarea a două efecte de coroziune: coroziunea chimică și coroziunea mecano-chimică.

Practic, uzarea se produce prin înlăturarea produșilor de coroziune care au luat naștere pe suprafața de frecare, atât în perioada de repaus (coroziune chimică) cât și în timpul funcționării (coroziune mecano-chimică). Rezultă că procesul uzării chimice se desfășoară în două faze:

- formarea produșilor de reacție pe cale chimică și mecano-chimică;

- îndepărtarea acestor produși de pe suprafața de frecare pe cale tribomecanică.

Coroziunea chimică este determinată de acțiunea gazelor asupra materialelor metalice încălzite la temperaturi ridicate. Este întâlnită pe scară largă la motoarele cu ardere internă la care gazele cu acțiune chimică rezultă din procesele de ardere ale combustibilului și uleiului. Coroziunea chimică este mai accentuată în cazul funcționării cu un amestec sărac în combustibil și depinde liniar de conținutul de sulf din combustibil.

De asemenea, la motoarele cu aprindere prin scânteie, coroziunea chimică este influențată mult și de compușii halogenați ce se adaugă la benzinele etilate.

Dacă coroziunea are loc în gaze, la temperaturi obișnuite, produsul coroziunii este volatil. În lichid neelectrolitic se produce o dizolvare a metalului fără formare de pelicule protectoare (ex. aluminiu în clorură de amoniu, plumb în clorură de plumb etc.).

La piesele din oțel, încălzite în cuptoare pentru a fi prelucrate sau recondiționate prin deformare plastică sau tratamente termice, coroziunea este însoțită de formarea de straturi de oxizi care la prelucrări se desprind, producând însemnate pierderi de metal. Fenomenul este favorizat de temperaturi de peste 700°C, când hidrogenul difuzează energic în rețeaua metalică, producând decarburarea și formarea de hidruri.

Coroziunea electrochimică se manifestă în prezența microfisurilor superficiale, și mai ales în prezența incluziunilor de oxizi.

Acest fenomen presupune, pe lângă reacțiile chimice, și un transfer de sarcini electrice la suprafața de separație între metal și mediul coroziv.

De remarcat că straturile de oxid constituie uneori o protecție rezistentă a materialelor metalice, ca de exemplu în cazul aluminiului sau titanului. O protecție contra uzurii corozive mai pot asigura straturile de cloruri, sulfuri și fosfuri metalice.

În condiții statice, uzura de coroziune progresează lent, dar intensitatea ei crește considerabil în condiții dinamice, prin distrugerea stratului inert și expunerea metalului foarte curat acțiunii agenților corozivi. Procesul uzurii de coroziune este favorizat mult de uzura abrazivă care, prin curățirea compușilor de reacție de pe suprafețele în frecare, asigură continuarea reacției.

De asemenea, coroziunea este favorizată de temperatură. La corpurile solide, difuziunea este practic posibilă numai la temperaturi înalte, la care capătă chiar o mărime sensibilă.

Ca forme ale coroziunii electrochimice se evidențiază:

- oxidarea-coroziunea electrochimică a fierului, datorită acțiunii combinate a oxigenului și a apei la temperatură normală;

- coroziunea în mediu lubrifiant, de natură electrochimică, ce apare în cazul prezenței în lubrifiant a unor mici cantități de apă care, în contact cu suprafața, formează microcelule electrolitice. Corozivitatea lubrifiantilor se poate datora și sulfurii provenit din uleiul de bază sau din combustibil, precum și alterării lubrifiantilor, care pot căpăta proprietăți corozive din cauza temperaturii exagerate de lucru;

Coroziunea mecano-chimică se referă la modificările suferite de suprafața de frecare în timpul funcționării și constă în:

- *coroziune de tensionare*, ce apare datorită solicitărilor mecanice statice, prin care se distruge stratul protector, producându-se o intensificare a efectului coroziv;

- *coroziunea de oboseală*, care apare datorită solicitărilor periodice în combinație cu acțiunile mediului ambiant. Rezultă intensificarea uzării și scăderea accentuată a rezistenței la oboseală;

- *coroziunea tribochimică* care este o consecință a solicitărilor de frecare care fac posibile sau accelerează reacțiile chimice ale materialelor suprafeței de frecare cu mediul ambiant respectiv.

2.3.3 Factorii care influențează uzura pieselor

Caracteristicile uzurii sunt dependente de un mare număr de factori de natură constructivă, de fabricație și de exploatare, și sunt influențate de calitatea materialelor și

tratamentelor termice a suprafețelor, a combustibilului și lubrifiantului, de presiunile specifice, de vitezele relative și de jocurile suprafețelor în mișcare. Rezistența la uzare a pieselor este mult influențată de măsura în care, la proiectare, fabricare, exploatare și reparare se ține seama de acești factori (figura 2.10).

a) Calitatea materialului și structura acestuia determină rezistența și durabilitatea pieselor. De aceea, la alegerea materialului pentru fabricarea pieselor trebuie să se țină seama atât de rezistența la rupere în condițiile de exploatare a piesei cât și de rezistența la uzură a acesteia.

Duritatea ridicată a materialelor pe suprafețele în contact conduce la micșorarea uzurii. Rezistența mare la uzură a pieselor cu duritate ridicată se explică prin faptul că, în acest caz, acțiunea particulelor abrazive, precum și a deformațiilor plastice asupra lor, este mult mai redusă. Între duritatea d și uzura u a materialelor nu există însă proporționalitate directă, așa cum se evidențiază în figurile 2.11 și 2.12.

Compoziția chimică a materialelor influențează, de asemenea, rezistența lor la uzare. Astfel, în cazul oțelurilor, creșterea conținutului de carbon sporește rezistența la uzare (figura 2.13). Aceasta se datorește faptului că prin tratamentele termice corespunzătoare se poate ridica duritatea.

Și în cazul fontelor cenușii, rezistența la uzare este influențată de conținutul de carbon și de starea acestuia (carburi sau incluziuni de grafit). Grafitul face fonta mai poroasă, favorizând menținerea peliculei de ulei la suprafața în frecare, iar pe de altă parte, descompunându-se în timpul frecării, joacă și aici rolul de lubrifiant, mărind astfel rezistența fontei la uzare.

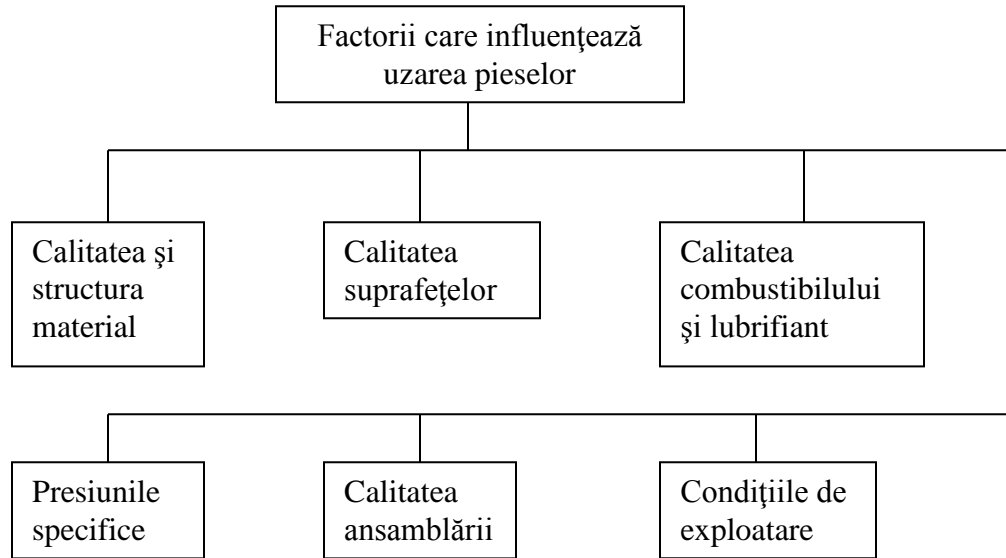


Fig. 2.10 Factorii care influențează uzura pieselor

Structura materialelor metalice influențează și ea rezistența la uzare. Astfel, în cazul oțelurilor, structura martensitică formată din cristale mici are cea mai ridicată rezistență la uzare. Fonta cu structură perlitică are o rezistență la uzare de 1,5...2 ori mai mare decât cea cu structură feritică, iar babitul cu granulație mică este mai rezistent la uzare decât babitul cu granule mari. Structura dorită se poate obține prin supunerea

materialului metalic unui tratament termic corespunzător de normalizare, călire, revenire, recoacere, etc.

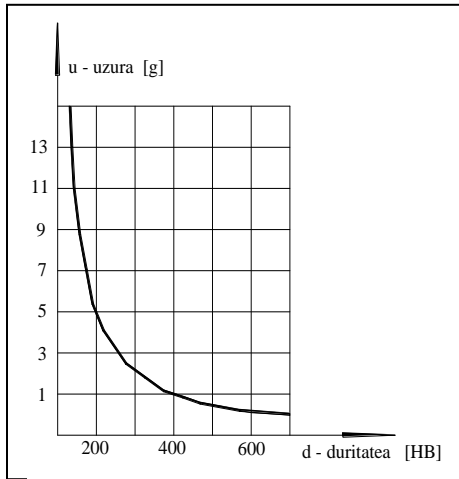


Fig. 2.11 Rezistența la uzare a oțelului carbon în funcție de duritate

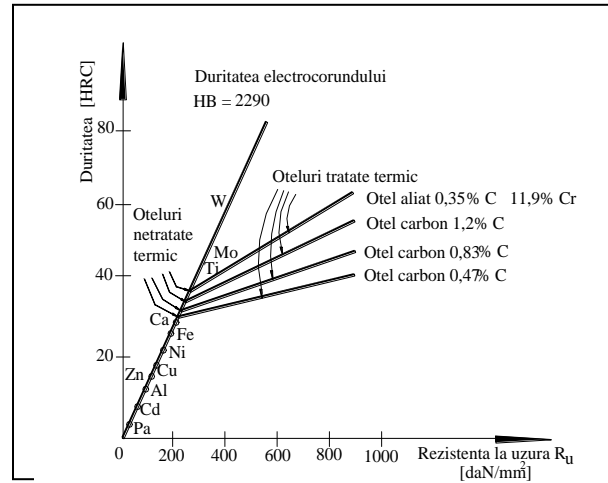


Figura 2.12 Rezistența la uzare R_u în funcție de duritatea materialului și a abrazivului.

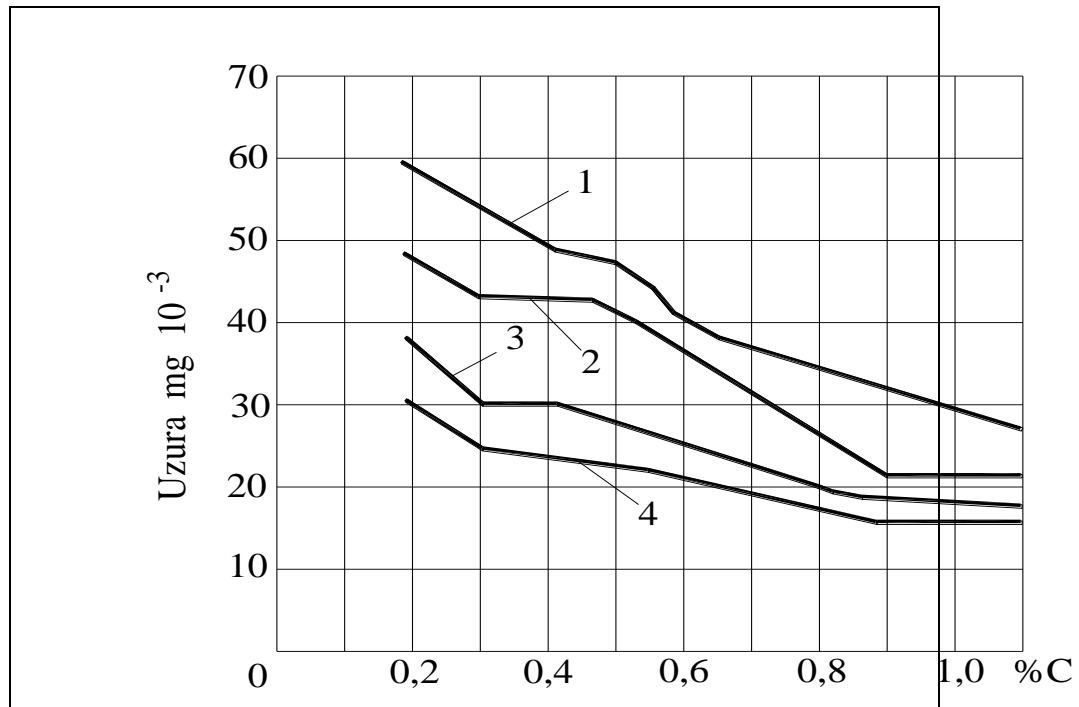


Figura 2.13 Rezistența la uzură a materialelor, în funcție de structură și de conținutul de carbon : 1-oțel cu 0,16% C; 2- oțel cu 0,18% C; 3- oțel cu 0,42% C; 4- oțel cu 0,46% C; 5- oțel cu 0,54% C

Pentru buna funcționare a unui ansamblu și pentru mărirea rezistenței la uzare a acestuia, o mare importanță o are executarea pieselor din materiale diferite în ceea ce privește duritatea și tenacitatea lor. Pentru o pereche de piese ce lucrează împreună nu se recomandă a se folosi materiale identice, cu aceeași duritate. Piesa cea mai complicată din punct de vedere al construcției, fabricării sau reparării, deci cea mai scumpă, trebuie să fie executată dintr-un material de calitate superioară, care să-i asigure o mare rezistență la uzare, lucru ce nu se impune la piesa conjugată.

b) Calitatea suprafețelor influențează foarte mult rezistența la uzare și este determinată de prelucrarea mecanică a acestora.

Parametrii care caracterizează calitatea prelucrării suprafețelor sunt de macrogeometrie și microgeometrie.

Parametrii de macrogeometrie caracterizează abaterile formei reale a suprafeței de la forma geometrică ideală (abateri de la paralelism sau perpendicularitate, conicitate, ovalitate etc.).

Parametrii de microgeometrie caracterizează gradul de finisare a suprafețelor pieselor. Prin prelucrare se produc schimbări și modificări în structura straturilor superficiale ale materialelor metalice. Finisarea prelucrării se realizează prin rectificare, lustruire, lepuire, etc. Însă, oricât de precisă ar fi metoda de prelucrare folosită, suprafețele obținute vor prezenta urme de prelucrare (asperități). În cazul suprafețelor rugoase, pelicula de ulei se rupe adesea, ceea ce dă naștere la frecări semilichide, cu o intensificare a uzării suprafețelor în frecare.

De asemenea, de gradul de rugozitate depinde și rezistența la oboseală a pieselor. Cu cât o suprafață este mai netedă, cu atât ea se uzază mai puțin. Totuși, la o netezire prea mare, (de exemplu suprafețele șlefuite sau lustruite), se reține mai puțin lubrifiantul și, în cazul unor sarcini mai mari decât cele pentru care s-a făcut dimensionarea este posibilă atingerea între ele a suprafețelor în lucru și intensificarea uzurii. În plus, obținerea unor suprafețe cu un grad de netezire ridicat implică cheltuieli mai mari, care nu în toate cazurile sunt justificate.

Înălțimea asperităților se micșorează prin rodaj, apărând noi rugozități, cu o formă nouă, a căror direcție este în sensul mișcării pieselor în frecare. După rodaj se realizează o rugozitate optimă, care nu depinde de rugozitatea inițială (după prelucrare), putând fi mai fină sau mai grosolană decât aceasta din urmă.

c) Calitatea combustibilului și a lubrifiantului. Calitatea combustibilului influențează gradul de uzură al pieselor din compunerea motoarelor. Un combustibil care se evaporă greu și care se condensează, fluidizează uleiul de ungere și mărește gradul de uzură al suprafețelor de frecare. Fenomenul de condensare a combustibilului este deosebit de pronunțat la pornirea motorului, când acesta este rece.

Combustibilul, prin natura gazelor de ardere, influențează uzura de coroziune. Aceasta este influențată și de amestecul combustibilului. Amestecul sărac produce gaze de ardere cu acțiune corozivă accentuată.

Ungerea exercită o influență foarte mare asupra procesului de uzură. O bună ungere trebuie să realizeze o separare sigură a suprafețelor în frecare, să asigure răcirea lor, să fie neutră din punct de vedere chimic și să nu conțină impurități mecanice. Materialele diferite ale pieselor se comportă din punct de vedere chimic în mod diferit față de compușii chimici ai uleiurilor și unsoarelor. De aceea, la alegerea uleiurilor aditivat trebuie să se țină seama de susceptibilitatea metalelor la acțiunea chimică a

aditivilor. De exemplu, bronzul este atacat de disteri, plumbul și cadmiul sunt dizolvați de săpunuri, iar acizii grași reacționează cu foarte multe metale ca zincul, cuprul și chiar fierul.

Uleiurile de ungere trebuie să aibă vâscozitatea corespunzătoare, onctuozitate, stabilitate chimică și să nu conțină impurități mecanice și acizi.

Vâscozitatea influențează direct asupra grosimii și vitezei de formare a filmului de ulei dintre piesele în frecare, și deci asupra uzurii lor. Uzura pieselor este invers proporțională cu vâscozitatea uleiului folosit.

Uleiurile vegetale și minerale, naftenice sau asfaltice, dau un film subțire și stabil. Stabilitatea chimică este proprietatea lubrifianților de a-și păstra caracteristicile în condiții grele de funcționare (temperatură, presiune, agenți chimici, etc.)

d) Presiunile specifice: Creșterea presiunii peste limitele prescrise între suprafețele în contact provoacă creșterea uzurii. Experimental, s-a demonstrat că în condiții apropiate de frecarea uscată, uzura este aproximativ direct proporțională cu presiunea. În condițiile frecării semilichide și lichide, uzura crește, de asemenea, o dată cu mărimea presiunii, însă nu proporțional. Cu cât presiunea este mai mare, filmul de ulei se micșorează sau chiar se rupe și deci uzura crește.

e) Calitatea asamblării este determinată de poziția corectă a pieselor în cadrul unui ansamblu și din precizia jocurilor sau strângerii acestuia. Acestea au și ele o mare influență asupra rezistenței la uzură.

Poziția unui arbore într-un lagăr determină suprafața de contact dintre fus și lagăr și, ca urmare, presiunea de lucru, temperatura și ungerea. Toate acestea au o mare influență asupra gradului de uzare a suprafețelor de frecare.

Jocul asamblărilor mobile are și el o mare influență asupra gradului de uzare și asupra duratei de funcționare a pieselor, așa cum rezultă din fig. 2.14 și 2.15.

Aceasta se datorește faptului că durata de funcționare a unei asamblări este determinată de jocul maxim admisibil al acesteia.

În cazul unui joc inițial corect d_1 , durata de funcționare a ansamblului va fi T_1 , iar în cazul unui joc mare d_2 va fi T_2 , care este mult mai mică. Jocul inițial al asamblărilor mobile nu trebuie să fie prea mic deoarece, în acest caz, nu se mai poate realiza o bună ungere, pelicula de ulei se întrerupe și astfel se produce o încălzire și o uzare exagerată a suprafețelor de frecare.

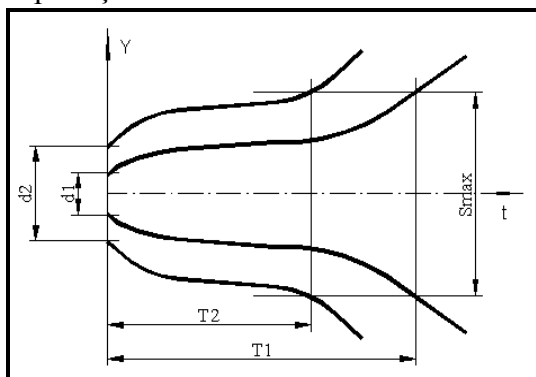


Fig. 2.14. Variația jocului asamblării mobile în funcție de timp

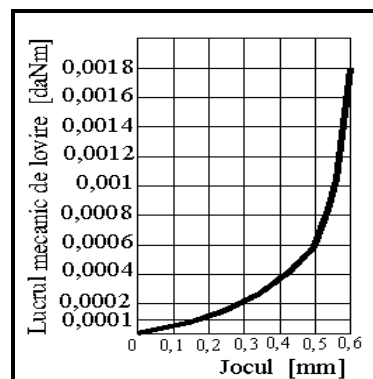


Fig. 2.15 Variația sarcinilor dinamice daNm/mm

Pe măsură ce piesele în frecare se uzează, jocurile dintre ele cresc, ceea ce face ca funcționarea lor să fie anormală, să apară sarcini dinamice (șocuri) suplimentare, care accelerează la rândul lor uzura.

Șocurile și frecarea dintre piesele asamblării provoacă încălzirea lubrifiantului. O încălzire anormală a unei asamblări în frecare înseamnă că există șocuri, deci uzuri și jocuri mari. Când acestea cresc și mai mult, se produc bătăi și apoi ruperea pieselor.

f) Condițiile de exploatare influențează atât gradul de uzare cât și durata de funcționare a autovehiculelor. Funcționarea pe șosele nemodernizate, abordarea obstacolelor cu viteze mari de deplasare, utilizarea unor combustibili și lubrifianți de calitate inferioară, opririle și pornirile frecvente, schimbările dese de viteză și utilizarea excesivă a frânelor influențează în mare măsură buna funcționare a autovehiculului și uzura pieselor acestuia.

Regimul termic al motorului în cursul exploatării are o mare importanță. Temperatura optimă a motorului este de 80...90°C. Temperaturile mai ridicate pe timp de vară sau mai coborâte pe timp de iarnă duc la uzura intensă a pieselor din ansamblul piston-cilindru.

2.3.4. Stabilirea limitelor de uzură

Piesele pot prezenta toate tipurile de uzură menționate în acest capitol, sub formă separată sau combinată. De regulă, uzura suprafețelor în frecare este combinată. De exemplu, uzura cilindrilor blocului motor este de aderență abrazivă și corozivă, în timp ce uzura rulmenților este de aderență și oboseală.

Uzura suprafețelor în frecare crește o dată cu durata lor de lucru și poate fi împărțită în trei perioade (figura 2.16).

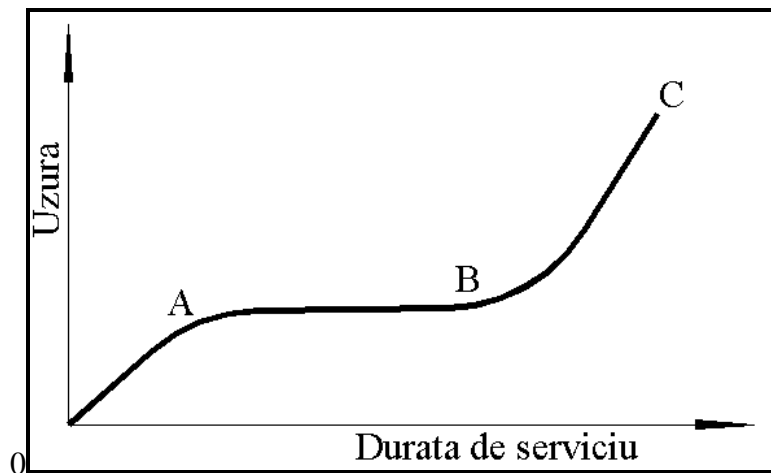


Fig. 2.16 Perioadele de uzură ale pieselor

1. perioada OA reprezintă *uzura de rodare*. În această perioadă se netezesc neregularitățile de pe suprafețele în frecare, rezultate în urma prelucrării mecanice a piesei. Această perioadă se caracterizează printr-o frecare și uzură mai accentuată a pieselor, deci printr-o intensitate pronunțată a uzurii.

2. Perioada AB reprezintă *uzura normală*. Frecarea și uzura în timp au valori mai reduse (intensitatea uzurii este mult mai mică), iar durata perioadei respective este mult mai mare.

3. Perioada BC reprezintă uzura ulterioară uzurii normale și se numește *uzura de avarie*. Se caracterizează printr-o uzură accentuată a suprafețelor pieselor, care determină funcționarea anormală a îmbinărilor (aparitia sarcinilor de șoc, ungerea insuficientă datorită măririi jocurilor, etc.), fiind însoțită de manifestări anormale ca: intensificarea zgomotelor, bătailor și încălzirii îmbinărilor, care pot provoca distrugerea pieselor. Din aceasta cauză, continuarea funcționării pieselor care au depășit limita de uzură admisibilă trebuie evitată, deoarece antrenează diminuarea caracteristicilor autovehiculului până la avarierea acestuia.

2.3.5 Stabilirea limitelor de uzură

Limita de uzare a unei piese o constituie, în condiții normale de exploatare, apariția jocului maxim admis (jocul la care exploatarea în continuare nu mai este permisă). Continuarea exploatării duce la apariția uzurilor de avarie sau la înrăutățirea funcționării autovehiculului și la creșterea consumului de carburanți și lubrifianți.

Principalele criterii de apreciere a limitelor de uzură a pieselor sunt de natură tehnică și tehnologică. De asemenea, se iau în calcul posibilitățile de recondiționare a pieselor, factorii economici și siguranța în funcționare. Limita de uzură se stabilește după unul din aceste criterii, celelalte servind drept criterii ajutătoare sau de verificare.

Jocurile inițiale ale pieselor conjugate se stabilesc la proiectare pe baza felului ajustajului, calculându-se jocurile minime și maxime de montaj pentru regimul normal de funcționare. Prin uzare jocurile se măresc, fiind permise până la o anumită limită - uzuri maxime admise, după care funcționarea mașinii se înrăutățește. Jocurile maxime admise se pot stabili prin comparație, experimental sau analitic.

Jocul maxim admis prin uzare corespunde unei valori a uzurii la care se înrăutățesc condițiile de funcționare și ungere a asamblărilor. Pentru exemplificare, în continuare se prezintă un studiu asupra jocului dintr-un ansamblu fus palier arbore cotit – cuzinet. Aceste jocuri se pot stabili analitic, pe baza teoriei hidrodinamice a ungerii.

Stratul minim de lubrifiant. În vederea stabilirii jocului inițial și a jocului maxim admis prin uzare, trebuie determinat stratul minim de lubrifiant, astfel ca să existe frecare lichidă. Când arborele este în repaus, fusurile sale se reazemă direct de cuzinet. În rotație, la început fusul antrenează uleiul spre partea îngustă a jocului, formând o pană ce ridică arborele care începe să se sprijine pe filmul de ulei. Pe măsură ce turația crește, centrul arborelui O_1 descrie o curbă aproape semicirculară, cu centrul în centrul lagărului O , având ca diametrul jumătate din jocul j dintre fus și cuzinet.

Când turația tinde către infinit, centrul fusului O_1 coincide cu centrul cuzinetului O . În zona stratului minim de lubrifiant h_{\min} , presiunea este maximă ($p_{\max} = 60 \dots 120 \text{ daN/cm}^2$), iar în sensul opus, în zona stratului maxim h_{\max} , presiunea este p_{\min} care tinde către 0.

Pentru a se produce frecarea lichidă, este necesar ca grosimea stratului minim de lubrifianț h_{\min} să nu scadă sub valoarea rezultată din însumarea înălțimilor rugozităților fusului δ_f și ale lagarului δ_e , adică:

$$h_{\min} \geq \delta_f + \delta_e = \delta \quad (2.4)$$

Stratul minim de lubrifianț se stabilește prin determinarea debitului de lubrifianț, potrivit legii lui Bernoulli. În acest fel s-a demonstrat că stratul de lubrifianț este dat de relația:

$$h_{\min} = \frac{d^2 \cdot n \cdot \eta}{18,36 \cdot p \cdot j \cdot c} \quad (2.5)$$

în care: d – diametrul arborelui [mm];
 n – turația arborelui [rot/min];
 h – vâscozitatea absolută a lubrifianțului [$\text{daN} \cdot \text{s}/\text{m}^2$];
 p – presiunea [$\text{daN} \cdot \text{m}^2$];
 j – jocul dintre arbore și cuzinet [mm];
 c – factorul de corecție al lui Hübhel dat de relația:

$$c = \frac{d + l}{1} \quad (2.6)$$

în care: d – diametrul fusului arborelui;
 l – lungimea fusului arborelui.
 Presiunea este dată de relația:

$$p = \frac{F}{d \cdot l} \quad [\text{daN}/\text{m}^2] \quad (2.7)$$

în care: F – sarcina pe fus [daN];

Jocul j este dat de relația:

$$J = D - d \quad (2.8)$$

în care: D – diametrul cuzinetului;
 d – diametrul fusului arborelui.

Jocul inițial. Din cercetările întreprinse de Hübhel a rezultat că frecarea este minimă atunci când excentritatea relativă dintre arbore și lagăr este $\lambda = 0,5$.

Excentritatea relativă λ este dată de relația:

$$\lambda = \frac{2e}{j} \quad (2.9)$$

în care:

$$e = \frac{j}{2} \cdot h_{\min}$$

Dacă în relația (2.9) se înlocuiește jocul j cu valoarea sa optimă j_o și $\lambda = 0,5$ atunci se obține:

$$h_{\min} = \frac{j_o}{4} \quad (2.10)$$

Dacă în relația (2.10) se înlocuiește h_{\min} cu valoarea sa din relația 2.5, se obține valoarea jocului optim J_o :

$$\frac{J_o}{4} = \frac{n \cdot \eta \cdot d^2}{18,36 \cdot c \cdot j_o \cdot p} \quad (2.11)$$

sau:

$$j_o = 0,467 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{n \cdot \eta}{p \cdot e}} \quad (2.12)$$

Aceasta valoare se admite pentru jocul inițial, pentru rodaj, joc cu care începe funcționarea normală a ansamblului fus arbore-lagăr.

Jocul maxim admis prin uzare este jocul dintre fus și cuzinet, care la turație și sarcină normală corespunde stratului minim de lubrifianț egal cu suma rugozităților fusului și cuzinetului. Dacă în relația (2.9) se înlocuiește j cu j_{\max} și h_{\min} cu valoarea rugozității după rodaj δ , se obține valoarea jocului maxim admis prin uzură:

$$j_{\max} = \frac{n \cdot \eta \cdot d^2}{18,36 \cdot c \cdot p \cdot \delta} \quad (2.13)$$

și dacă se împart relațiile (2.9) și (2.13) se obține valoarea jocului maxim admis prin uzură în funcție de jocul optim j_o :

$$j_{\max} = \frac{J_o}{4\delta} \quad (2.14)$$

Valoarea rugozităților după rodaj δ^1 se consideră jumătate din valoarea rugozității dinainte de rodaj δ .

Una dintre problemele majore care apar pe timpul funcționării autovehiculelor o reprezintă scoaterea din funcționare sau înrăutățirea funcționării autovehiculelor, cauzată

de modificarea unor parametri funcționali. Acestea se datoresc apariției unor defecțiuni la unele piese sau subansamble din componența autovehiculului.

Datorită condițiilor grele de funcționare, piesele pentru automobile sunt puternic solicitate, atât termic, cât și mecanic. Acest fapt conduce la posibilități mărite de apariție a defecțiunilor.

La ora actuală există tehnologii moderne pentru depistarea și remedierea defectelor de orice natură și indiferent de localizare.

Concluzii

Factorii care influențează uzarea pieselor de automobile sunt variați și acționează în timp determinând apariția diferitelor defecte, de la abateri dimensionale până la scoaterea din funcțiune a unor piese, subansamble sau chiar a automobilului. Cunoșcând acești factori și influența lor asupra funcționării autovehiculului, constructorii și exploataorii de automobile pot lua măsuri pentru eliminarea sau măcar diminuarea efectelor acestora.

Cap. 3 NOȚIUNI GENERALE DESPRE FIABILITATE

3.1 CORELAȚIA DINTRE TIPURILE DE DEFECȚIUNI ȘI INDICATORII DE FIABILITATE

3.1.1 Generalități

Fiabilitatea a devenit în ultimul timp un indicator de performanță pentru autovehicul, alături de performanțele dinamice, de consum, de poluare sau de securitate, datorită faptului că ea este una dintre componentele importante ale calității, cu efecte considerabile asupra costului global de posesie.

Datorită faptului că un produs nu poate fi realizat totalmente fiabil, a apărut necesitatea de a considera împreună fiabilitatea și mentenabilitatea ca parametri ai produsului care urmează a fi proiectat și realizat.

Termenul de mentenabilitate a autovehiculului caracterizează posibilitățile de restabilire a stării tehnice a autovehiculului prin înlăturarea defecțiunilor într-un interval de timp determinat, printr-un sistem organizat de mentenanță. Mentenabilitatea este factorul fundamental în menținerea fiabilității autovehiculului. Dacă fiabilitatea tehnică este o calitate proprie produsului fabricat, neschimbabilă, fiabilitatea operațională este o calitate care poate fi controlată prin lucrările de mentenanță. Sistemul de mentenanță poate fi adaptat, îmbunătățit continuu, astfel încât să asigure o fiabilitate cât mai ridicată produsului în perioada de utilizare.

Pentru evaluarea fiabilității, acestui concept i-au fost asociate anumite caracteristici măsurabile, numite indicatori de fiabilitate sau parametri de fiabilitate. Prin indicator de fiabilitate se înțelege o măsură cu ajutorul căreia se exprimă cantitativ fiabilitatea sau una dintre caracteristicile sale. Pentru estimarea valorilor indicatorilor de fiabilitate se utilizează tehnicile de calcul specifice teoriei probabilităților și statisticii matematice, aceste discipline operând prin excelență cu mărimi aleatoare.

Defecțiunea este o noțiune foarte importantă pentru fiabilitate, deoarece numai pe baza ei se pot calcula indicatorii de fiabilitate. Exprimarea probabilistică a fiabilității implică faptul că momentul apariției unei defecțiuni nu poate fi stabilit cu certitudine, ci numai sub forma unei probabilități careia i se poate asocia un nivel sau interval de încredere.

3.1.2 Indicatori de fiabilitate pentru elementele nereparabile

Întrucât fiabilitatea unui sistem tehnic depinde de fiabilitatea elementelor componente, se impune în primul rând studierea indicatorilor de fiabilitate pentru elemente și apoi a indicatorilor de fiabilitate pentru sisteme.

De asemenea, se are în vedere că unele elemente nu se mai repară după defectare, în timp ce altele vor fi supuse unui procedeu de recondiționare (restabilire a stării tehnice), astfel că indicatorii de fiabilitate vor fi tratați mai întâi pentru elementele nereparabile și apoi pentru cele reparabile.

Principalii indicatori de fiabilitate pentru elementele nereparabile sunt:

a) Funcția de fiabilitate $R(t)$, cunoscută și sub denumirile de “*probabilitatea funcționării fără defecțiuni*” sau “*funcția de supraviețuire*” care reprezintă probabilitatea p , ca un element să funcționeze în condiții determinate, fără defecțiuni, în intervalul $(0, t)$ adică probabilitatea ca timpul T la care apare defecțiunea să fie mai mare decât t .

Funcția de fiabilitate este dată de relația:

$$R(t) = P(T > t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{N_0} \quad (3.1)$$

relație în care:

$N(t)$ – numărul de elemente rămase în stare de funcționare în momentul t

N_0 – numărul total de elemente

b) Funcția de nefiabilitate $F(t)$ cunoscută și sub denumirile: “*funcția de repartiție a timpului de bună funcționare*”, “*funcția nonfiabilității*” sau “*funcția mortalității*” care reprezintă probabilitatea ca un element să se defecteze în intervalul $(0, t)$. Se observă că acest indicator exprimă contrariul funcției de fiabilitate, și deci poate fi exprimată prin relațiile:

$$F(t) = P(T < t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{r(t)}{N_0} \quad (3.2)$$

respectiv:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3.3)$$

cu $r(t)$ = numărul de defecțiuni care apar până în momentul t .

c) Densitatea de probabilitate a timpului de funcționare $f(t)$ cunoscută și sub denumirea “*densitatea repartiției timpului de funcționare*” care arată probabilitatea de defectare într-un anumit interval, sau altfel spus, raportul dintre numărul de defecțiuni produse în unitatea de timp și numărul total de elemente aflate în experimentare. Această funcție se determină cu relațiile:

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[t < T < (t + \Delta t)]}{\Delta t} \quad (3.4)$$

sau:

$$f(t) = \frac{s(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t} \quad (3.5)$$

relație în care:

$s(\Delta t)$ = numărul de defecțiuni care apar în intervalul $(t, t + \Delta t)$.

d) Rata de defectare $z(t)$ sau “*intensitate de defectare*”, “*pericolul de defectare*” care reprezintă probabilitatea ca un element care a funcționat fără defecțiuni până în momentul t să se defecteze în intervalul $(t, t + \Delta t)$. Altfel spus, rata defectării exprimă numărul de defecțiuni care au loc în unitatea de timp, la un moment dat, ținând seama de numărul de elemente care se mai găsesc în funcționare în acel moment.

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T < t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (3.6)$$

sau:

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.7)$$

De asemenea, între funcția de fiabilitate și rata defectărilor există relația [3]:

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(t) dt} \quad (3.8)$$

e) Media timpului de bună funcționare m , care reprezintă valoarea medie a timpului de funcționare:

$$m = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (3.9)$$

sau

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.10)$$

Acest indicator permite determinarea cu ușurință a caracteristicii probabile de funcționare globală a unei familii de elemente.

3.1.3 Indicatorii de fiabilitate ai elementelor reparabile

Multe dintre elementele mecanice ale automobilului sunt supuse procesului de restabilire a stării tehnice prin diverse procedee de recondiționare, iar sistemele complexe sunt supuse reparării prin înlocuirea componentelor defecte.

Dacă se analizează durata totală de viață a unui element reparabil, aceasta este constituită din perioade de bună funcționare, despărțite între ele prin intervale de timp necesare pentru înlăturarea defecțiunilor sau executarea lucrărilor profilactice (figura 3.1).

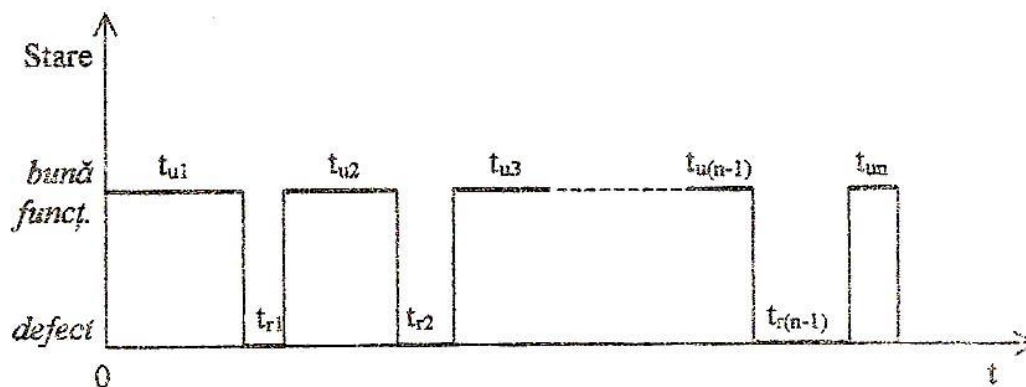


Fig. 3.1 Perioadele de viață ale unui element reparabil

Elementele sunt în stare de bună funcționare în perioadele t_{ui} ($i = 1, \dots, n$) și se află în reparație în perioadele t_{ri} ($i = 1, \dots, n-1$).

INDICATORI REFERITORI LA TIMPUL TOTAL DE UTILIZARE

a) Funcția de repartiție e timpului total de utilizare, $F_u(t)$

Funcția de repartiție a timpului total de utilizare, prin definiție reprezintă probabilitatea ca un element să devină inutilizabil în intervalul de timp $(0, t)$:

$$F_u(t) = P(T_u < t) \quad (3.11)$$

Statistic, urmărind evoluția unui lot de N_0 elemente reparabile, $F_u(t)$ este definită prin relația:

$$F_u(t) = n_u(t)/N_0 \quad (3.12)$$

Unde $n_u(t)$ este numărul elementelor ai căror timpi totali de utilizare sunt mai mici decât timpul curent t .

b) Densitatea de probabilitate a timpului total de utilizare $f_u(t)$

Densitatea de probabilitate a timpului total de utilizare reprezintă, în cazul unei distribuții continue pentru T_u , chiar derivata funcției $F_u(t)$:

$$f_u(t) = F'_u(t) \quad (3.13)$$

Dacă se dispune de date statistice, estimarea se realizează cu relația:

$$F_u(t) = n_u(\Delta t)/N_0 \cdot \Delta t_u \quad (3.14)$$

unde: $n_u(\Delta t_u)$ reprezintă numărul de elemente ai căror timpi totali de utilizare se încadrează în subintervalul Δt_u .

În afară de acești indicatori se mai utilizează media timpului total de utilizare m_u , dispersia timpului total de utilizare D_u și abaterea medie pătratică a timpului total de utilizare σ_u care se calculează cu relații similare cu cele de la elementele nereparabile.

INDICATORI REFERITORI LA TIMPUL DE UTILIZARE ÎNTRE REPARAȚIILE PLANIFICATE

Dacă timpul total de utilizare prezintă importanță pentru cunoașterea resursei totale a unui element reparabil, pentru organizarea judicioasă a activității de mentenanță bazată pe reparații profilactice este necesară cunoașterea modului de comportare a produsului între reparații.

Timpul de funcționare a unui element între două reparații succesive are un caracter aleator, depinzând de evoluția stării tehnice, astfel că, studiul fiabilității pe fiecare perioadă de utilizare se realizează cu ajutorul indicatorilor de fiabilitate cunoscuți, urmărind timpii de funcționare într-o anumită perioadă de funcționare pentru un eșantion de elemente reparabile care să îndeplinească condițiile de reprezentativitate cunoscute

Deoarece, prin procesul de reparație nu este posibil să se readucă întotdeauna parametrii de stare la valorile inițiale, se impune stabilirea indicatorilor de fiabilitate separat pentru fiecare interval de reparații. Se constată că după reparație, deși lotul de elemente reparabile are fiabilitatea maximă, viteza de reducere a fiabilității este mult mai accentuată în noua perioadă de utilizare, iar timpul de utilizare va fi din ce în ce mai scurt (figura 3.2). Se consideră că elementul intră în reparație atunci când fiabilitatea atinge un nivel limită R_{lim} .

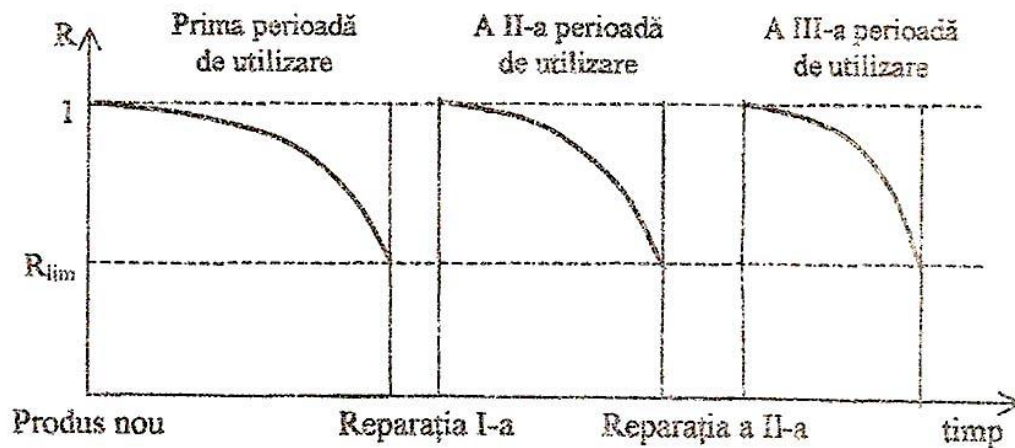


Fig. 3.2 Variația fiabilității între reparațiile planificate

INDICATORI REFERITORI LA TIMPUL DE REPARARE

Timpul de reparare reprezintă timpul destinat restabilirii stării tehnice a elementului după fiecare pierdere a capacității de funcționare. El este constituit din timpii necesari pentru identificarea defecțiunii și înlăturarea ei, dar și timpii prevăzuți pentru efectuarea lucrărilor de întreținere. Spre deosebire de timpii de utilizare care pot fi

exprimați și în kilometri echivalenți sau număr de cicluri, timpii de reparare sunt exprimați exclusiv în ore.

Indicatorii timpului de reparare permit proiectarea sistemelor de mentenanță, iar indicatorii timpului total de reparare permit și calcule pentru dimensionarea parcului de automobile din întreprinderile de transport.

Indicatorii de fiabilitate bazați pe timpii de reparare și cei bazați pe timpul total de reparare sunt definiți similar cu indicatorii timpului total de utilizare.

INDICATORI GLOBALI

Acești indicatori pun în evidență relațiile dintre timpii de utilizare și timpii de reparare ai elementelor, sau relațiile dintre frecvența defectărilor și timpul total de utilizare.

a) Coeficientul de disponibilitate A

Este un indicator care evidențiază probabilitatea ca sistemul să se afle în stare de funcționare la un moment dat, ținând seama de faptul că poate fi supus chiar în acel moment unor lucrări de mentenanță.

Dacă se cunosc distribuțiile teoretice ale fiabilității și diponibilității pentru un anumit element, disponibilitatea se exprimă analitic:

$$A(t) = R(t) + M(t) \cdot F(t) = R(t) + M(t) \cdot [1 - R(t)] \quad (3.15)$$

unde:

A(t) - funcția de disponibilitate;

M(t) – funcția de mentenabilitate.

b) Frecvența lucrărilor profilactice k_p

Acest indicator reprezintă numărul de lucrări profilactice care se efectuează pe o anumită durată de observare a lotului, unitatea de măsură fiind km^{-1} :

$$K_p = \frac{\sum_{i=0}^{N_0} \eta_{pi}}{\sum_{i=0}^{N_0} t_{vi}} \quad (3.16)$$

c) Timpul specific consumat pentru efectuarea lucrărilor profilactice k_ϕ

Este un indcator care pune în evidență raportul dintre timpul alocat lucrărilor de reparare de tip profilactic și rulajul realizat [ore/km echivalent]:

$$K_{bp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}}{\sum_{i=0}^{N_0} t_{vi}} \quad (3.17)$$

d) Frecvența întreruperilor de funcționare datorate defecțiunilor k_d

Deoarece este definit în funcție de numărul de defecțiuni, acest indicator are rolul de a evidenția fiabilitatea elementelor reparabile. El exprimă raportul dintre numărul de defecțiuni apărute la elementele din lotul N_0 și timpul de funcționare în care au fost înregistrate:

$$K_d = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} n_{di}}{\sum_{i=0}^{N_0} t_{vi}} \quad (3.18)$$

unde:

n_{di} – numărul defecțiunilor înregistrate de elementul i .

e) Timpul specific consumat pentru îndepărtarea defecțiunilor k_{id}

Indicatorul pune în evidență atât fiabilitatea automobilului cât și calitățile de mentenabilitate ale lui și posibilitățile tehnice ale executanului lucrărilor de mentenanță de a identifica și elimina defecțiunile.

Este definit prin raportul dintre timpul consumat pentru identificarea și îndepărtarea defecțiunilor și timpul de utilizare:

$$K_{id} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{di}}{\sum_{i=0}^{N_0} t_{vi}} \quad (3.19)$$

unde:

t_{di} – timpul consumat pentru identificarea și îndepărtarea defecțiunilor la elementul i .

Deoarece t_{di} se exprimă în ore, este necesar să fie convertit într-o mărime echivalentă timpilor t_{vi} , exprimat de regulă în km echivalenți.

3.1.4 Indicatori de fiabilitate specifici utilizați în domeniul auto

Pentru producătorii de autovehicule, fiabilitatea a devenit un criteriu de performanță, o condiție de supraviețuire pe o piață în care se desfășoară o luptă acerbă.

Studiile de fiabilitate pentru autovehicule constau în parcurgerea următoarelor etape:

- utilizarea experienței anterioare;
- definirea obiectivelor de fiabilitate;
- specificarea clauzelor de fiabilitate în caietele de sarcini;
- identificarea problemelor majore; realizarea studiului de fiabilitate și stabilirea obiectivelor pentru îmbunătățirea fiabilității;

- realizarea încercărilor de fiabilitate.
- Pentru calculul fiabilității în domeniul auto, principalele surse de date sunt:
- evidențele realizate în perioada de garanție în rețeaua service;
 - evidențele activităților de mentenanță ale marilor firme de transport;
 - anchetele realizate de către producătorul de autovehicule în rândul clienților.

Determinarea indicatorilor de fiabilitate specifici domeniului auto

Pentru studierea acestor indicatori vom lua în considerare indicatorii utilizați de firma Renault pentru studiile de fiabilitate Sofres și Estel.

a) Indicatorul R‰_o (R pour mille)

Acest indicator reprezintă rata cumulată a reparațiilor la un rulaș dat, raportată la 1000 de autovehicule. Indicatorul poate fi determinat după 3 ani de rulaș sau după un an (R‰_o reactiv). Calculul lui constă într-o succesiune de etape:

- pentru un anumit parc de autovehicule de volum cunoscut se ordonează crescător timpului de rulaș;
- se împarte timpul de rulaș în tranșe de câte 5000 km;
- se stabilește numărul de autovehicule din fiecare tranșă.

b) Legea de rulaș

Legea de rulaș este un indicator grafic care evidențiază procentul de autovehicule care au parcurs un anumit rulaș la un moment dat. Se utilizează tranșele de la indicatorul anterior.

c) Indicatorul S‰_o

Pe baza chestionarelor Sofres se penalizează lipsa de calitate pentru componentele fiecărui subansamblu al autovehiculului, suma finală fiind chiar acest indicator. În această categorie există două tipuri de indicatori:

- Sofres marketing – rezultate brute obținute pe baza chestionarelor completate de client – utile pentru comparații cu concurența;
- Sofres operațional – în care informațiile obținute sunt mai complete- utile pentru identificarea cauzelor.

d) Indicatorul AQR

Acesta este un indicator specific firmei Renault care urmărește aspectul calitativ al vânzărilor.

Deoarece fiabilitatea este analizată în cadrul conceptului de calitate, acest indicator poate fi considerat o cuantificare a calității în momentul inițial de utilizare al automobilului.

Fiecărui automobil i se acordă un credit de 162 puncte la finalul fabricației. Înainte de vânzare, pentru fiecare defecțiune i se retrage un anumit număr de puncte, în funcție de efectul pe care aceasta îl are asupra clientului (de la defecte ușoare, care nu deranjează clientul = 0 puncte, până la defecte de securitate, care interzic vânzarea autovehiculului).

De remarcat că indicatorii de fiabilitate prezentați sunt specifici domeniului auto datorită specificității sistemelor de achiziție a datelor și a definirii lor pe baza unor mărimi echivalente timpului, dintre care cel mai important este timpul. Aceasta impune folosirea lor în stabilirea obiectivelor de fiabilitate, alături de indicatorii de fiabilitate cu aplicabilitate generală.

3.1.5 Îmbunătățirea fiabilității și mentenabilității autovehiculelor la proiectare, fabricare și reparare

a) Căile mării disponibilității potențiale a autovehiculelor în etapele de proiectare și fabricare

Proiectanții trebuie să determine nivelul de fiabilitate optim economic care să asigure un echilibru între costurile de proiectare, execuție, întreținere tehnică, exploatare și repararea sistemului de restabilire (figura 3.3). Principalele căi de realizare a acestui deziderat sunt:

- adoptarea unor scheme structurale de organizare a autovehiculului cât mai judicioase;
- îmbunătățirea stabilității mediului interior ale sistemului și al interacțiunii pieselor;
- realizarea unor soluții constructive care să necesite un volum minim de operații de întreținere și deservire tehnică;
- asigurarea tehnologicității construcției și a reparabilității autovehiculelor (concordanța dintre forma constructivă și cerințele fabricării și reparării sistemului);
- aplicarea unor procese, metode și procedee tehnologice de fabricare și reparare a autovehiculelor care să asigure nivelul optim al fiabilității tehnologice.

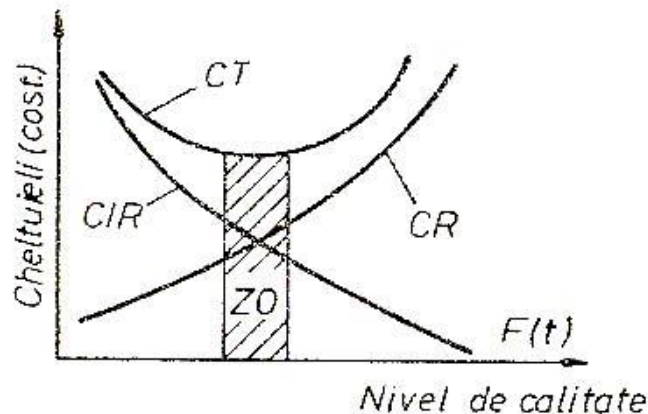


Fig. 3.3 Zona optimă a nivelului calității

CIR-curba cheltuielilor de întreținere și reparații; CR-curba cheltuielilor pentru realizarea unei calități ridicate; CT-curba cheltuielilor totale; ZO-zonă optimă a nivelului calității

Durabilitatea și nedefectarea agregatelor este influențată, în mare măsură, de construcția și fabricarea pieselor și a cuplelor lor cinematice precum și de calitatea asamblării generale.

Metodele principale prin care se asigură durabilitatea majorității pieselor autovehiculelor sunt: alegerea rațională a materialului de construcție și îmbunătățirea proprietăților lui fizico-chimice de prelucrare; micșorarea concentratorilor de tensiune și mărirea preciziei de prelucrare; asigurarea stabilității maxime a proprietăților materialului în timpul exploatarei, etc. Construcția pieselor se proiectează în funcție de condițiile de lucru, astfel încât să aibă rigiditate determinată, să asigure ajustarea reciprocă a suprafețelor de contact, să permită asamblarea și fixarea ținând seama de dilatățile prin încălzire, de deformații și de uzura admisibilă.

Respectarea cu strictețe a condițiilor tehnice de prelucrare mecanică în vederea obținerii preciziei dimensionale și a rugozității cerute, împreună cu asigurarea unor asamblări corecte a pieselor, contribuie la sporirea fiabilității tehnologice.

Mentenabilitatea autovehiculelor și agregatelor se asigură la fabricare prin utilizarea pieselor interschimbabile și sporirea accesibilității pieselor cu viteză mare de uzare, prin utilizarea sistemelor de compensare a uzurii.

b) Asigurarea fiabilității autovehiculelor în procesul reparării

Principalele cauze care determină scăderea unor indicatori specifici de fiabilitate la automobilele și tractoarele reparate, față de cele noi sunt: utilizarea la asamblarea autovehiculelor reparate a unui mare număr de piese având diferite rezistențe la uzare, diferite capacități de lucru și durabilități (piese recondiționate, piese cu uzuri admisibile care au durabilități remanente diferite alături de piese noi).

În general, piesele auto, cărora le sunt proprii procesele de uzare, pot suferi căderi de uzare și, în același timp, căderi bruște.

Luând în considerare aceste căderi din intervalul (0,t), probabilitatea totală de realizare a stării de nedefectare se poate scrie sub forma:

$$P(t) = P_u(t) \cdot P_{cb}(t)/P_u(0) \quad (3.20)$$

în care:

$P_u(t)$ este probabilitatea de nedefectare datorită căderilor de uzare;

$P_u(0) = 1$; $P_{cb}(t) = e^{-\lambda t}$ –datorită căderilor bruște; t -parcursul autovehiculului sau durata de exploatare; t_0 -valoarea medie a durabilității.

Această relație este utilizabilă doar pentru momentul $t = 0$, atunci când piesa nouă sau recondiționată a intrat în lucru. Pentru piesele cu o anumită uzură, reutilizabile la montaj, probabilitatea totală de nedefectare a autovehiculului se exprimă sub forma:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \cdot P_u(t_u + t)/P_u(t_a) \quad (3.21)$$

în care t_a reprezintă parcursul anterior al piesei ce urmează a fi utilizată la asamblare, în cupla cinematică.

Prin determinări experimentale s-a constatat că dacă se utilizează piese cu grade determinate de uzare, pentru asamblarea agregatelor reparate, la realizarea parcursului $t_a + t_0$, sau chiar numai la depășirea parcursului t_a , durabilitatea cuplelor cinematice devine

inferioară durabilității cuplelor alcătuite din piese noi. Același fenomen se întâmplă dacă nu se acordă atenție împerecherii corecte a pieselor conjugate sau asamblării lor selective. Consecința scăderii durabilității subsistemelor constructive este apariția zgomotului, știrbirea dinților roților dințate, etc.

Fiabilitatea totală a sistemului tehnic – asamblu sau agregat auto, obținut din mai multe piese cu uzuri admisibile - fără a se executa selectarea rațională a seturilor de piese recondiționate necorespunzător, este extrem de mică, și se calculează cu relația:

$$P_{U(t)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\sigma}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-t_0)}{2\sigma^2}} dt \quad (3.22)$$

în care t_i este timpul de funcționare a piesei „i”.

Din analiza curbelor de distribuție ale durabilității autovehiculelor sau agregatelor reparate capital și împărțite în grupe caracteristice, rezultă că toți indicii capacității de lucru ai întreprinderii reparatoare, sunt superiori la producția de serie mare, față de producția de serie mică.

3.2 MODALITĂȚI DE CREȘTERE A FIABILITĂȚII MOTOARELOR PENTRU AUTOTURISME

3.2.1 Alegerea judicioasă a materialelor utilizate pentru fabricarea reperelor motoarelor cu ardere internă

Realizarea motoarelor cu performanțe superioare, competitive, care să corespundă cerințelor de funcționare impune cu necesitate existența unei concepții unice a legăturilor reciproce, construcție-tehnologie de fabricație. În acest fel se pot stabili soluțiile optime, care să asigure condițiile funcționale, tehnologice și economice, pentru un produs de calitate superioară, fiabil și într-o cantitate mereu crescândă.

În principiu, un material este cu atât mai valoros, cu cât proprietățile de rezistență sunt mai ridicate la o masă specifică mică și cost redus.

În condițiile creșterii volumului producției de automobile, chiar și o reducere relativ mică a greutății proprii a mașinii și a pieselor ei componente permite obținerea unor importante economii.

Costul materialelor de bază în construcția de autovehicule reprezintă aproximativ 40...70% din costul fabricației. Cheltuielile cu materialele de bază au o pondere mai mare în cazul producției de serie mare și de masă deoarece, prin aplicarea proceselor tehnologice moderne se reduce volumul de muncă.

Deoarece la motoarele cu ardere internă solicitările au un caracter variabil, pentru un anumit material interesează rezistența sa al oboseală. □ □ Ținând seama de masa specifică a materialului □ pentru o construcție ușoară, un material va fi cu atât mai apreciat, cu cât raportul □ este mai mare. Aceste considerente modifică ordinea de preferință a materialelor, față de cazul în care se ia în considerare numai rezistența maximă de rupere, trebuind să se aibă în vedere și costul pentru a se putea stabili ordinea de alegere.

În construcția motoarelor cu ardere internă se constată o evoluție continuă în utilizarea diferitelor materiale. Se remarcă eforturile pentru elaborarea și introducerea

unor materiale noi, ieftine, mai ușoare și ușor prelucrabile, cu mare eficiență economică. Competiția pentru introducerea unor materiale noi și de înlocuire a celor deficitare permite atât reducerea costului, cât și valorificarea unor avantaje proprii acestor materiale: rezistență corespunzătoare; masă specifică mică; ușurința prelucrării, etc. Referitor la materialele cu întrebuințare uzuală, eficiența economică rezultă din condiții îmbunătățite de elaborare, precum și din posibilitatea de a obține semifabricate la cote apropiate de cele finale.

În tabelul 3.1 sunt prezentate procentual diversele materiale utilizate la fabricarea unui automobil:

Tab. 3.1

Repartiția diferitelor materiale utilizate la fabricarea automobilelor

Materiale constructive	Ponderea în greutate [%]
Fonta	10...12
Oțel: - forjat	12...14
- laminat	50...60
Aluminiu și aliajele sale	2...3
Cupru și aliaje	aprox. 2
Plumb	aprox. 1
Sticlă	3...4
Cauciuc	5...6
Materiale plastice	4...5
Vopsea	2...3
Textile	0,5...1

Din acest tabel se observă că materialele nemetalice reprezintă aprox. 20% din greutatea automobilului.

Materialele feroase au cea mai mare întrebuințare, însă acestea sunt tot mai mult înlocuite de aliajele ușoare, în special de aliajele de aluminiu. Se acordă o mare atenție materialelor întrebuințate la piesele care trebuie să asigure în măsură crescândă rezistența la oboseală și siguranța în funcționare. Ca atare, se impune creșterea purității materialului, eliminarea incluziunilor, etc. În acest scop se utilizează tot mai frecvent turnarea continuă, precum și procedee de degazare și dezoxidare.

În scopul obținerii de economii și îmbunătățirii calității produsului pe calea alegerii raționale a materialelor, pe lângă celelalte posibilități arătate, se impune ca pe ansamblul general să existe un număr redus de sortimente de metale și aliaje, facilitând în acest fel aprovizionarea și unificarea diferitelor componente ale procesului de producție.

În general, pentru fabricarea pieselor pentru motoare cu ardere internă se utilizează următoarele materiale: oțeluri de construcție (aliate și nealiate); fontă turnată; aliaje ușoare; metale și aliaje grele neferoase; materiale compozite; materiale plastice, cauciuc, sticlă, etc.

OȘELURI DE CONSTRUCȚIE

Oșelurile sunt aliajele Fe-Fe₃C cu un conținut de carbon variabil. Se mai numesc oșeluri carbon și au în compoziția lor 0,04...1,7% C, la care, în cazul oșelurilor aliate se mai adaugă alte elemente numite de aliere: Cr, Ni, Mo, V, Mn, Si, W, Ti, etc.

Oșelurile de construcție constituie materialul cu cea mai largă utilizare în fabricarea automobilelor. La unele motoare, greutatea pieselor din oțel poate ajunge să depășească 40% din greutatea totală.

a) Oșeluri de construcție nealiate.

Oșelurile nealiate sunt oșeluri carbon. Acestea în afară de carbon, mai conțin și alte elemente dar într-un procentaj mai redus. În tabelul 3.2 sunt prezentate limitele elementelor de aliere din oșelurile carbon:

Tab. 3.2

LIMITELE ELEMENTELOR DE ALIERE DIN OȘELURI CARBON

Elementul	Oțel turnat	Oțel laminat de calitate
Mn, %	0,5...0,9	0,4...0,8
Si, %	max. 0,45	max. 0,37
S, %	max. 0,06	max. 0,05
P, %	max. 0,06	max. 0,04

Oșelurile nealiate se utilizează în construcția de automobile într-o proporție mai scăzută decât oșelurile aliate, din cauza proprietăților relativ inferioare. Ele prezintă avantajul unui preț de cost scăzut, iar în cazul în care conținutul de carbon nu depășește 0,3% au o bună sudabilitate.

Oșelurile nealiate pot fi grupate în: oșeluri carbon obișnuite (STAS 500/2-80), respectiv oșeluri carbon de calitate (STAS 880-82).

Oșelul carbon obișnuit este folosit în mod curent fără tratament termic, sau normalizat. Notarea acestui oțel se face prin simbolul OL urmat de două cifre care reprezintă rezistența minimă de rupere la tracțiune. Oșelurile din această categorie sunt folosite în mod curent pentru piese mai puțin solicitate. Din acest considerent, în mod curent ele nu se tratează termic, având la utilizare caracteristicile mecanice cu care sunt livrate de producător. Datorită acestui fapt se indică în simbol valoarea rezistenței la rupere, care este principala caracteristică mecanică.

Oșelurile carbon de calitate se notează prin simbolul OLC urmat de două cifre care simbolizează procentul conținutului de carbon 1/10000. Ele sunt elaborate mai îngrijit și au un conținut mai redus de elemente dăunătoare, în special de sulf și fosfor. Calitatea mai ridicată a acestor oșeluri le face apte pentru executarea de piese mai pretențioase, supuse la solicitări mai importante, inclusiv șocuri.

Oșelurile carbon de calitate cu conținut de carbon sub 0,3% (OLC 10...OLC 25) sunt indicate pentru sudură. Oșelurile carbon de calitate cu conținut de carbon cuprins

între 0,25 ...0,7% sunt oțeluri pentru îmbunătățire. La aceste oțeluri se poate obține o ameliorare remarcabilă a caracteristicilor mecanice prin tratamente termice de îmbunătățire, care constau dintr-o încălzire până deasupra punctului de transformare și o călire urmată de revenire.

Utilizare : oțelurile OLC 35 sunt utilizate pentru construcția arborilor cotiți, a bielor și a altor piese pentru motoarele lente. Calitățile OLC 45...OLC 65 constau într-o rezistență ridicată în miez și duritate mărită, ceea ce le face să fie indicate pentru roți dințate, mufe și cuplaje.

Pentru șuruburi, bolțuri mici și alte piese secundare mai puțin solicitate se utilizează oțeluri pentru automate. Ele au o rezistență de rupere de 40...60 kg/mm² și se caracterizează printr-o ușurință la așchiere datorită conținutului ridicat de sulf, care joacă rolul unor incluziuni nemetalice ce provoacă fărâmițarea așchiilor, permițând realizarea unor viteze mari de tăiere și un finisaj deosebit al suprafețelor.

b) Oțelurile de construcție aliate

Oțelurile aliate sunt oțeluri la care s-a adăugat în mod voit unul sau mai multe elemente de aliere pentru a le modifica sensibil proprietățile fizico-mecanice, chimice și tehnologice.

Oțelurile aliate pot fi ternare, când conțin un singur element de aliere (Cr, Ni, Mn, Si, etc.), cuaternare, când conțin două elemente de aliere (Cr-Ni, Cr-Mn, Cr-W, etc.) sau polinare, când conțin mai multe elemente de aliere (Cr-Ni-Mo, Cr-Mn-V, etc.).

Unele elemente insolubile sau foarte puțin solubile pot exista în oțel în stare liberă (Pb, Ag, Cu) pe când altele sunt legate sub formă de oxizi, sulfati, silicați (elemente care au o afinitate mai mare față de oxigen și sulf decât fierul); importanța și cantitatea admisă a acestor faze în oțel sunt foarte mici.

Elementele de aliere au o mare influență asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor. Ele pot să influențeze pozitiv sau negativ și asupra tratamentelor termice. Astfel: nichelul ca element de aliere favorizează pătrunderea în adâncime a tratamentelor termice de îmbunătățire; cromul împreună cu carbonul determină duritatea oțelului; molibdenul favorizează pătrunderea în adâncime a călirii, acțiune care până la anumite grosimi de piese echivalează cu cea a nichelului. Prețul ridicat al nichelului și greutatea în aprovizionare fac ca, adeseori oțelul crom-nichel să fie înlocuit cu oțel crom-molibden. Un alt avantaj al alierii cu molibden este ușurarea prelucrării mecanice ale oțelurilor în stare recoaptă; celelalte elemente de aliere ca wolframul, vanadiul, etc., dacă există, sporesc valorile rezistenței la rupere.

Manganul favorizează creșterea grăunților mărind sensibil tendința de supraîncălzire și fragilitatea oțelurilor. Alumiuniul în cantități foarte mici, până la 0,1%, favorizează obținerea unei structuri fine prin formarea unei pelicule submicroscopice de oxizi și nitruți de aluminiu, jucând rol de barieră mecanică; la cantități peste 1% Al, particulele de oxid de aluminiu se pot aglomera, nemaiercând acest rol.

În general, elementele de aliere manifestă o puternică influență asupra tendinței de creștere a grăunțului de austenită. Toate elementele de aliere, indiferent de raportul lor față de fier și carbon, micșorează tendința de creștere a grăunților în timpul încălzirii oțelurilor; excepție fac manganul și alumiuniul.

Elementele care se dizolvă în fier manifestă o influență pozitivă, dar relativ mai slabă, asupra creșterii grăunțului de austenită, în timp ce elementele care formează carburi au o influență pozitivă puternică, care crește cu creșterea termostabilității carburilor;

aceasta deoarece carburile se așează la limita grăunților de austenită constituind barierele mecanice care se opun unirii și dezvoltării grăunților respectivi.

În funcție de cantitatea elementelor de aliere oțelurile pot fi slab, mediu sau bogat aliate. În tabelul 3.3 sunt indicate conținuturile din fiecare element de aliere care determină încadrarea oțelului în categoria respectivă.

Tab. 3.3

**CONȚINUTURILE DIN FIECARE ELEMENT DE ALIERE ALE
OȚELURILOR ALIATE**

Elemente de aliere	Conținut [%] pe categorii de oțel		
	Slab aliat	Mediu aliat	Bogat aliat
Siliciul (Si)	0,5 ... 1,1	> 1,1 ... 6,0	> 6,0
Mangan (Mn)	0,8 ... 1,8	> 1,8 ... 6,0	> 6,0
Crom (Cr)	0,3 ... 0,5	> 0,5 ... 6,0	> 6,0
Nichel (Ni)	0,3 ... 0,5	> 0,5 ... 4,5	> 4,5
Molibden (Mo)	0,05 ... 0,1	> 0,1 ... 1,0	> 1,0
Vanadiu (V)	0,05 ... 0,1	> 0,1 ... 1,0	> 1,0
Titan (Ti)	> 0,04	> 0,04	> 0,04
Bor (B)	> 0,0005	> 0,0005	> 0,0005
Wolfram (W)	0,2 ... 0,3	> 0,3 ... 4,0	> 4,0
Cobalt (Co)	0,2 ... 0,3	> 0,3 ... 0,1	> 1,0
Aluminiu (Al)	--	> 0,30	> 0,30
Cupru (Cu)	--	> 0,40	> 0,40
Plumb (Pb)	--	> 0,40	> 0,40

Se consideră oțel slab aliat, acel oțel la care participarea totală a elementelor de aliere nu depășește 5 %, iar oțel bogat aliat dacă suma elementelor de aliere depășește 10 %.

Oțelurile aliate sunt simbolizate prin litere care indică elementul de aliere, urmate de un număr care exprimă conținutul mediu din elementul principal de aliere în zecimi de procent. Elementele de aliere se înscriu în simbol în ordinea crescătoare a conținutului lor. *Exemplu:* 13 CrNi 30 – oțel aliat cu crom și nichel având 0,13 % C și 3 % Ni, cromul participând sub 3 %.

Oțelurile aliate elaborate special se simbolizează în același mod adăugându-se în plus litera X (când se elaborează atât ca oțel de calitate cât și ca oțel superior, litera X se pune în paranteză).

Oțelurile aliate turnate în piese sunt simbolizate în același mod ca și cele deformabile, înscriindu-se în fața primului grup de cifre litera T. *Exemplu:* T35 SiCrMn11 – oțel turnat având conținutul mediu de carbon de 0,35 %, aliat cu Si, Cr și cu 1,1 % Mn.

După conținutul de carbon, oțelurile aliate pot fi: oțeluri aliate pentru îmbunătățire sau oțeluri aliate pentru cementare.

1. Oțelurile aliate pentru îmbunătățire sunt oțeluri cu un conținut de carbon mai mare de 0,2%. Elementele de aliere au procente de peste 0,8%, cu excepția V, Mo, Ti, etc., care intervin într-un procentaj mai mic.

Datorită tratamentului termic de îmbunătățire, aceste oțeluri cu caracteristici mecanice superioare, pot fi folosite pentru piese supuse unor solicitări importante. Dat fiind prezența elementelor de aliere, ferita care reduce limita de curgere și rezistența la oboseală lipsește, acest lucru conducând la obținerea unor indici foarte buni de rezistență la oboseală, încovoiere și torsiune.

O mare importanță o are reziliența oțelului. Din două oțeluri cu aceeași rezistență la oboseală, mai sigur este acela care are o valoare mai ridicată a rezilienței.

Cele mai utilizate oțeluri aliate pentru îmbunătățire sunt oțelurile Cr-Ni și Cr-Mo.

Oțeluri Cr-Ni pentru îmbunătățire

Oțelurile Cr-Ni pentru îmbunătățire se caracterizează printr-o bună compatibilitate la tratamentele termice, care au ca scop îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale acestora.

Pătrunderea în adâncime a tratamentelor termice este favorizată de conținutul de Ni, iar mărirea durtății este favorizată de conținutul de crom și de carbon.

O altă proprietate a acestor oțeluri este aceea că pentru reușita tratamentelor termice de îmbunătățire nu se impun condiții prea severe cu privire la limitele de temperatură.

Prin adaos de wolfram oțelurile Cr-Ni capătă o nouă sporire a caracteristicilor mecanice și în special a rezilienței odată cu eliminarea fragilității la revenire înaltă.

Utilizare: Pentru fabricarea arborilor cotiți ai unor motoare de automobile se utilizează un oțel Cr-Ni-W cu următoarea compoziție chimică procentuală: C = 0,35...0,45; Si = 0,25...0,35; Mn = 0,35...0,45; Ni = 4,0...4,5; Cr = 1,4...1,6; W = 0,8...1,0.

Oțeluri Cr-Mo pentru îmbunătățire

La aceste oțeluri Ni a fost înlocuit cu Mo din considerentele arătate anterior. Ele se caracterizează prin:

- mare adâncime de călire, favorizată de Mo, care până la o anumită adâncime este echivalentă cu cea a Ni;
- prelucrare prin aşchiere ușoară, de mare importanță pentru producția de serie;
- impune toleranțe mai restrânse de temperatură la efectuarea tratamentelor termice și o mai mare sensibilitate la supraîncălziri ceea ce face ca ele să necesite o deosebită grijă în stabilirea proceselor tehnologice ale tratamentelor termice.

Prin adăugarea de Ni la aceste oțeluri se poate obține o sporire și mai mare a rezistenței la rupere, fără diminuarea limitei de curgere, a alungirii și a rezilienței.

Utilizare: Oțelurile aliate Cr-Mo pentru îmbunătățire au o largă utilizare în fabricarea pieselor pentru motoarele de autoturisme: Astfel, oțelurile 36MoCN10, 34MoCN15 și 33MoC11 se folosesc pentru fabricarea bielor, capacelor de bielă.

2. Oțeluri aliate pentru cementare

Aceste oțeluri se întrebunțează pentru fabricarea pieselor care trebuie să aibă o suprafață dură, foarte rezistentă la uzare și un miez cu tenacitate ridicată pentru a putea rezista la șocuri.

Oțelurile aliate pentru cementare au un conținut redus de carbon (0,12...0,25%), ceea ce permite ca după îmbogățirea cu carbon a stratului superficial prin operația de carburare (cementare), să se obțină prin călire o durificare a acestui strat fără ca miezul piesei să se călească, păstrându-și astfel tenacitatea.

Adâncimea stratului carburat depinde de durata procesului de carburare și poate ajunge până la circa 1,5 mm. Prin carburare conținutul de carbon al stratului superficial ajunge la aprox. 1%, ceea ce permite ca prin călirea piesei, în apă sau ulei, duritatea acestui strat să atingă valori de 55...65 HRC. Prelucrarea finală a piesei după durificare se poate face prin rectificare. De aceea, înainte de cementare, piesele sunt prelucrate cu un adaos de 0,2...0,3 mm.

Cele mai utilizate oțeluri aliate pentru cementare sunt oțelurile Cr-Mn, Cr-Mo și Cr-Ni:

Oțeluri crom și crom-mangan pentru cementare

Cromul și magneziul fac ca aceste oțeluri să se caracterizeze prin: mare rezistență la uzare a stratului de cementare datorită carburilor de crom; miez tenace și cu structură fină; rezistență mecanică ridicată în miez, în cazul oțelului Cr-Mn, datorită prezenței manganului.

Oțeluri crom-molibden pentru cementare

Sunt oțeluri practic echivalente cu oțelurile crom-nichel, din punct de vedere al caracteristicilor de rezistență. Molibdenul are ca efect o îmbunătățire a caracteristicilor mecanice ale oțelului în miezul piesei.

Oțelurile Cr-Mo înlocuiesc adeseori oțelurile Cr-Ni în construcția automobilelor din cauza nichelului care este deficitar.

Oțeluri crom-nichel pentru cementare

Aceste oțeluri au proprietăți superioare: caracteristici mecanice bune; rezistență mare la uzare după cementare; se pot căli în ulei, ceea ce diminuează apariția tensiunilor interne, iar deformarea pieselor și fisurilor la călire se atenuază foarte mult. Se utilizează pentru fabricarea pieselor supuse la uzare și solicitări mecanice superioare.

Utilizare: Oțelurile aliate pentru cementare se utilizează pe scară largă în construcția motoarelor pentru automobile. Ele stau la baza fabricării: bolțurilor pentru pistoane, tacheților, arborilor cu came.

Principalele caracteristici și proprietăți mecanice ale acestor oțeluri sunt prezentate în anexele 1.2.

3. Oțeluri aliate pentru nitrurare

Oțelurile pentru nitrurare au proprietatea ca la temperaturi relativ scăzute (580...600 °C) să absoarbă azot prin difuzie. În acest caz la suprafața piesei se formează un compus fier-azot cu duritate mare care întrece pe cea a oțelului cementat. Stratul dur este însă foarte subțire, ceea ce limitează încărcarea piesei la presiuni specifice de 60...70 daN/cm².

Nitrurarea prezintă avantajul că din cauza temperaturii relativ scăzute, piesele supuse la nitrurare nu-și alterează tratamentul termic de îmbunătățire la care au fost supuse anterior.

De asemenea, durificarea superficială se obține fără să fie nevoie de călire (răcire bruscă), eliminându-se prin aceasta tensiunile interne și deformările.

Durificarea superficială prin nitrurare se aplică în unele cazuri destul de rare la cămășile de cilindri ale motoarelor de automobil în scopul măririi rezistenței la uzare.

Oțelurile indicate pentru nitrurare sunt oțelurile Cr-Al-Mo. Stratul nitrurat rezistă la temperaturi de până la circa 600°C, astfel încât bușile de cilindri nitrurate nu-și pierd duritatea pe parcursul funcționării. Datorită durității mari, apropiată de cea a diamantului, suprafața piesei este mai puțin sensibilă la rizuri și coroziuni.

Oțelurile inoxidabile

Oțelurile inoxidabile pot fi de două feluri, după elementele de aliere folosite: Oțeluri inoxidabile cu crom și oțeluri inoxidabile cu crom și nichel.

Oțeluri inoxidabile cu crom. Cromul conduce la starea inoxidabilă a oțelurilor la procente de peste 12%. Aceste oțeluri se elaborează cu 12...14% Cr, la un procent de carbon de 0,08...0,44; conform diagramei Guillet (figura 3.4), aceste oțeluri pot fi feritice, ferito-martensitice sau martensitice. Sunt magnetice și au o mare rezistență la coroziune în atmosferă cu vapori de apă, în apă și unii acizi (azotic, boric, acetic, etc.); nu rezistă în soluții de acid clorhidric sau sulfuric. Au proprietăți maxime după tratamentul termic de călire și revenire înaltă.

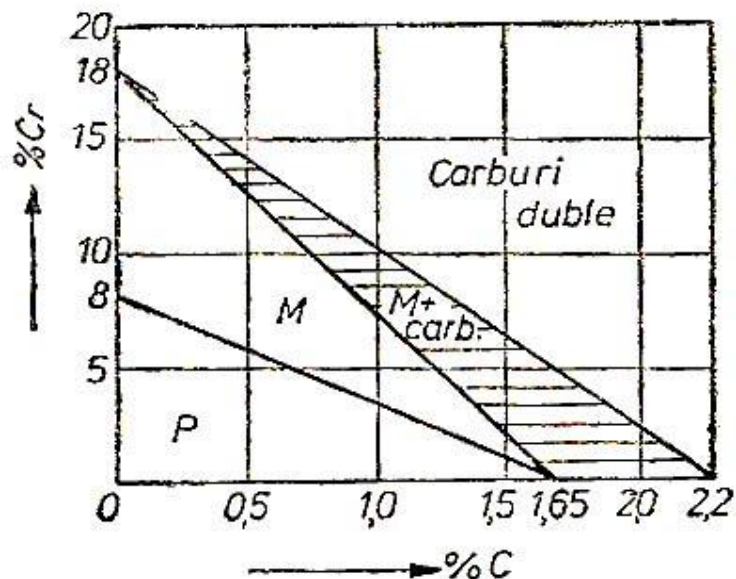


Fig. 3.4 Diagrama Guillet pentru oțeluri cu crom

Oțelurile inoxidabile feritice neavând transformări în stare solidă (figurile 3.5 și 3.6), nu pot fi normalizate. Au o accentuată tendință de supraîncălzire, ceea ce împiedică

încălzirea pentru prelucrări la temperaturi peste 850 °C. Tendința de supraîncălzire se combate prin adăugarea de 0,15...0,25% Mo sau Ti, măbind și refractibilitatea și sudabilitatea.

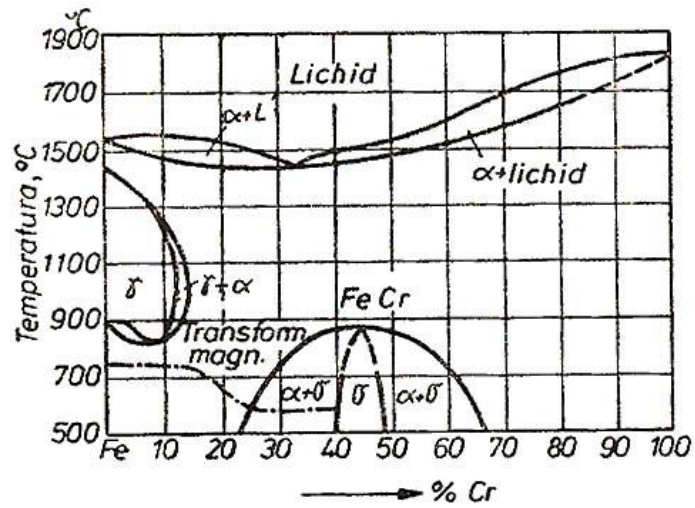


Fig. 3.5 Diagrama Fe-Cr

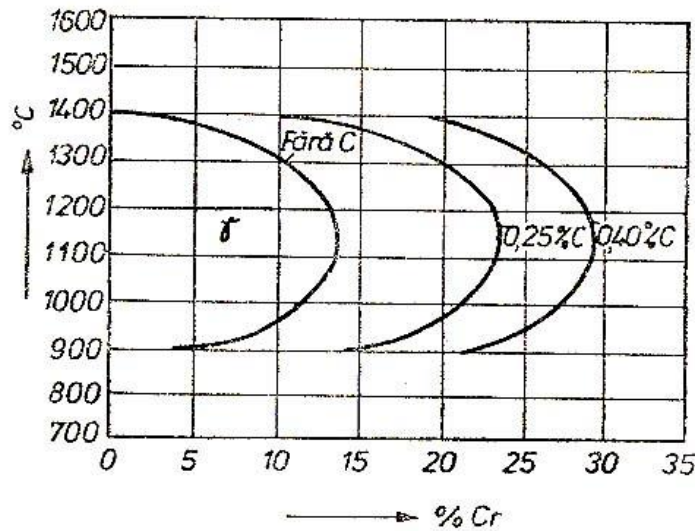


Fig. 3.6 Lărgirea domeniului gamma de către conținutul de carbon la oțelurile cu crom

Oțelurile inoxidabile cu crom sunt în același timp și refractare; ele încep să se oxideze intens abia la temperatura de 750 °C; pot lucra sub sarcină îndelungată la temperaturi de 500 °C. Ele se folosesc la fabricarea supapelor și scaunelor de supape la motoarele cu ardere internă, palete de turbine, recipiente în industria chimică, etc.

Oțelurile inoxidabile cu crom, cu conținut ridicat de carbon au o structură martensitică; devenind foarte dure după călire (500...550 HB) sunt folosite și pentru scule așchietoare sau instrumente chirurgicale.

Oțeluri inoxidabile cu crom și nichel. Nichelul introdus în oțeluri le conferă o structură austenitică, mărește rezistența la coroziune, la fluaj, ridică refractaritatea, rezistența mecanică, reziliența la temperaturi scăzute, dar ridică costul de șapte ori; sunt oțeluri magnetice, au o sudabilitate bună, dar prelucrabilitatea prin așchiere și prin deformare plastică la rece se înrăutățește datorită ecruisării puternice.

Cele mai răspândite sunt oțelurile cu 18% Cr și 8% Ni (oțeluri 18-8), de structură austenitică. În aliajele cu peste 0,4%C, la încălzirea peste 500 °C, se pot separa carburi $(CrFe)_4C$ în exces din austenita suprasaturată. Acest fapt reduce rezistența la coroziune, dând coroziune intercristalină. Aceasta se explică prin faptul că în urma precipitării carbunii, limitele grăunților devin mai sărace în crom (sub 12%Cr), deoarece difuzia cromului are loc mult mai lent decât cea a carbonului; ca urmare, procesul de coroziune est favorizat. Fenomenul poate fi redus prin adăugare de elemente care au o afinitate mai mare față de carbon decât cromul ($< 0,8\%$ Ti sau $< 1,3\%$ Nb, formându-se TiC și NbC); acestea sunt insolubile în austenită și nu se mai pot separa carburi de crom.

Deoarece Ni este un element scump și deficitar, de multe ori se apelează la oțeluri inoxidabile austenitice Cr-Mn; Cr-Mn-Ni sau Cr-Ni-N.

Oțelurile inoxidabile cu crom și nichel prezintă cea mai ridicată rezistență la coroziune, în cele mai variate medii, fiind și refractare. Sunt utilizate în industria petrolieră, chimică, alimentară, aeronautică, transporturi și pentru fabricarea obiectelor de uz casnic.

Principalele caracteristici fizico-mecanice și compoziția chimică ale unor oțeluri inoxidabile sunt prezentate în anexa 1.7.

Oțeluri rezistente la temperaturi înalte. Sunt oțeluri care prezintă stabilitate chimică ridicată (rezistență la oxidare) și rezistență mecanică ridicată la temperaturi înalte. Se mai numesc oțeluri refractare sau termostabile.

Stabilitatea la temperaturi ridicate rezultă din rezistența chimică la oxidare. Pentru obținerea de aliaje stabile la cald trebuie să se evite formarea FeO (wustitei) și să se favorizeze formarea Fe_2O_3 . Adăugarea de Al și Cr conduce la formarea de Al_2O_3 și Cr_2O_3 , care dizolvându-se în Fe_2O_3 împiedică formarea oxidului feros (FeO), asigurând formarea unei pelicule compacte și aderente, cu rol de protecție. Oțelurile rezistente la oxidare la temperaturi înalte se vor alia cu Al, Cr și Si.

Rezistența mecanică la temperaturi ridicate joacă un rol important cu deosebire pentru solicitările de durată (fluaj), mai ales dacă se ține seama că rezistența scade sensibil cu temperatura și durata solicitării. În acest scop se aliază suplimentar cu elemente care formează carburi stabile (Mo, W, V) și detrmină creșterea temperaturii de recristalizare peste pragul de utilizare.

Oțlurile refractare se pot grupa după temperatura necesară de funcționare și presiunea la care lucrează.

Pentru temperaturi de 300...350 °C se folosesc oțeluri feritice și perlitice, cu 0,3...0,5% C și conținuturi mari de Cr și Si (8...12% Cr, 2...4,5% Si) utilizate în construcția de cazane, turbine, supape de motoare cu ardere internă, etc.

Pentru temperaturi de 500...650 °C se folosesc oțeluri austenitice. Oțelurile cu 12...30% Ni, 15...25% Cr, 3% Si și adaosuri de Ti, Mo, Co, cu puțin carbon (0,1...0,2%

C) au o rezistență ridicată și sunt reprezentantele tipice ale acestei grupe. Structura lor este alcătuită din austenită și carburi. La temperaturi mari, carburile se dizolvă în austenită, la călire menținându-se în soluție. La temperaturile de lucru menționate are loc precipitarea fină a acestor carburi, însoțită de creșterea rezistenței și durității.

În această categorie intră și oțelurile austenitice Cr-Ni (18-8), cu rezistența mai mică, dar care pot fi îmbunătățite prin adăugare de Mo, Ti și Co. Oțelurile din această categorie sunt utilizate pentru supape, palete pentru turbine cu gaze, piese pentru motoarele cu reacție, etc.

Pentru temperaturi de 650...900°C se folosesc oțeluri cu conținut mare de Cr și Ni, dar mai ales aliaje speciale.

Oțelurile refractare, prin gradul înalt de aliere cu Cr și Ni sunt rezistente la coroziune.

5. Oțeluri aliate utilizate la automobile

Alegerea oțelurilor pentru fabricarea automobilelor trebuie să se facă ținând cont atât de condițiile de funcționare ale pieselor și subansamblurilor cât și de caracteristicile oțelurilor destinate confecționării acestora.

Condițiile de rupere la oboseală pun problema sensibilității diferitelor materiale la concentrarea tensiunilor.

Oțelurile folosite la fabricarea pieselor automobilelor care funcționează la temperaturi înalte trebuie să prezinte bune caracteristici mecanice, stabilitate și rezistență la coroziune, conductivitate termică, dilatație și modul de elasticitate de valori acceptabile precum și o limită ridicată la fluaj. În funcție de temperatura de exploatare și presiunile de lucru se utilizează în construcția automobilelor oțeluri aliate în special cu Cr, Mo sau Cr – Ni. Clasificarea acestor oțeluri se face în funcție de structură în trei clase:

Oțeluri ferito-perlitice sau bainitice, care pot fi oțeluri aliate cu Mo: Cr–Mo, Cr–Mo–V;

Oțeluri feritice și martensitice în a căror structură pot să apară și carburi ale elementelor de aliere, în special pe bază de Cr, dată fiind participarea acestui element de aliere în procent de 5 ... 30 %;

Oțeluri austenitice, în a căror structură apar și carburi ale lementelor de aliere (Cr, Mo, V, etc.) și a căror compoziție este formată în principal din Cr – Ni în proporție de 18...8, 25...20, 14...12, etc.

Dintre aceste categorii oțelurile feritice și martensitice sunt utilizate în special pentru fabricarea pieselor care lucrează la temperaturi de 700 – 750° C (923 – 1023 K) și presiuni de 150 daN/cm² (supapele motoarelor automobilelor).

Oțeluri pentru supape

Capul supapei și în special al supapei de evacuare este foarte solicitat la motoarele cu ardere internă, cu atât mai mult cu cât turația motorului este mai mare. Pentru a face față solicitărilor, materialul supapelor trebuie să îndeplinească condiții specifice cum ar fi: rezistența la coroziunea agenților chimici (gazele arse); rezistență mecanică bună la creșterea temperaturii (capul supapei nu trebuie să se deformeze prin lovire la temperatura de 800 - 850° C, iar tija nu trebuie să flambeze sau să piardă calitățile de alunecare); conductivitate termică suficient de mare pentru a asigura disiparea rapidă a

căldurii prin tija supapei; tenacitate atât la temperatura ambiantă cât și la temperaturi ridicate; o limită bună de fluaj și rezistență la oboseală la temperaturile din exploatare.

Concomitent cu sporirea turației motorului și a puterii acestuia (implicit și a puterii pe cilindru) temperaturile atinse sunt din ce în ce mai mari, ceea ce a condus la utilizarea pentru fabricarea supapelor motoarelor automobilelor a oțelurilor austenitice.

Primele oțeluri utilizate la cofecționarea supapelor și care sunt și în prezent utilizate la motoarele lente au fost oțelurile crom-nichel (35 CN 35). Pe măsura creșterii vitezei de rotație și a puterii pe cilindru, s-a ajuns la utilizarea de oțeluri crom cu 12...15% Cr și 1,5% C, ameliorate cu adaosuri de cobalt, molibden și wolfram. Aceste oțeluri posedă o bună conductibilitate termică, fiind în același timp și călibile.

În prezent, pentru motoarele de automobile se utilizează oțeluri crom-siliciu care sunt rezistente la oxidare până la temperaturi de circa 700 °C și călibile. Cromul și siliciul favorizează formarea unui strat de oxid la suprafața supapei, care în aceste condiții rezistă la acțiunea gazelor, chiar la incandescență. Aceste oțeluri prezintă avantajul prețului de cost redus față de oțelurile crom-nichel austenitice.

Pentru motoarele moderne, foarte solicitate, este necesar să se recurgă la oțeluri austenitice pentru supape, cu compoziție chimică între următoarele limite: 0,4...0,5% C; 0,8...1,5% Mn; 0,8...1,8% Si; 12...15% Cr; 12...15% Ni; 2,0...3,5% W.

Acest oțel, chiar la temperaturi de 900°, are rezistență mare la rupere și la oxidare. Conductibilitatea lui termică este mai mică, ceea ce impune ca interiorul tijei suapei să fie umplut cu sodiu. El nu este călibil, astfel că extremitatea tijei trebuie să fie prevăzută cu o plăcuță dură.

În cazul tehnologiilor moderne se recurge la turnarea supapelor din oțel austenitic. Aceste supape se toarnă în coji, calitatea suprafețelor și precizia dimensională a semifabricatului permit să se reducă toate operațiile finale la o singură rectificare.

Scaunele supapelor sunt și ele solicitate, în special în ceea ce privește rezistența la ciocnire. În cazul chiulaselor din fontă, scaunul de supapă demontabil se recomandă numai pentru supapa de evacuare. În cazul chiulaselor din aluminiu, scaunele demontabile se impun pentru ambele supape. Ca materiale pentru scaunele de supapă pot fi întrebuițate oțeluri carbon sau aliate, iar în unele cazuri chiar fontă aliată. În cazul scaunelor de supapă puternic solicitate, suprafața de etanșare a acestora poate fi acoperită cu un strat de stelit sau alt material dur.

Un oțel special pentru scaunele de supape este următorul: 0,3...0,4% C; 2% Cr; 8...10% W. Acest oțel poate să mai aibă și adaosuri de vanadiu-nichel și cobalt. El își păstrează duritatea la temperatură ridicată și devine pe timpul funcționării atât de dur datorită ciocnirilor încât scaunele supapelor nu mai pot fi rectificate decât cu mare greutate prin frezare.

FONTELE

Costul redus și ușurința de prelucrare au făcut ca fonta să se mențină în rândul materialelor utilizate pentru fabricarea unor repere pentru motoare, mai ales în cazul motoarelor mari. Totuși, domeniul lor de utilizare este restrâns din cauza caracteristicilor mecanice inferioare, lucru care conduce la mărirea dimensiunilor pieselor și prin aceasta la mărirea volumului și greutateii motoarelor. De aceea utilizarea lor este limitată la confecționarea prin turnare a pieselor cu forme complicate care nu sunt supuse la solicitări mari și la care greutatea specifică redusă nu este o condiție specială ca blocuri motoare și chiulase. Aceste piese, având forme complicate, turnarea lor din oțel este mult îngreunată și foarte costisitoare din cauza numărului mare de rebuturi la turnare.

Fontele sunt aliaje Fe – C, având conținutul de carbon cuprins între limitele 2,11% și 6,67% (practic, fontele utilizate în industrie conțin carbon între 2,5 și 4 %). Carbonul se poate găsi în fonte sub două forme:

- sub formă legată de compus chimic Fe_3C (*cementită*) – cazul fontelor albe;
- sub formă liberă, de *grafit* – fontele cenușii obișnuite, maleabile și nodulare.

Fonta utilizată în construcția de mașini și în special în fabricarea automobilelor este, exclusiv fonta cenușie denumită astfel deoarece în ruptură (secțiune de rupere) prezintă un aspect cenușiu închis, datorită prezenței carbonului sub formă liberă de grafit.

Separarea carbonului sub formă de grafit este favorizată de o răcire mai lentă a topiturii, prezența în topitură a unor elemente grafitizante ca Si, Al, Cu, precum și de un conținut mai ridicat de carbon.

În figura 3.7 este prezentată diagrama fier-grafit (aspectul stabil al diagramei Fe-C). Din compararea acestei diagrame cu diagrama Fe- Fe_3C , se constată că în locul cementitei apare grafitul. În locul eutecticului cu ledeburită apare eutecticul cu grafit, format din soluție solidă și grafit, iar în locul eutectoidului cu perlită apare eutectoidul cu grafit, format din ferită și grafit.

Prezența carbonului sub formă de grafit în aceste fonte influențează pozitiv o serie de proprietăți mecanice și tehnologice ale acestor aliaje, mărind în acest fel domeniul de utilizare a lor în construcția de mașini: proprietăți remarcabile antifricțiune, în cazul absenței ungerii; ușurința de prelucrare prin așchiere; fragilitate mai redusă decât a fontei albe.

Fontele cenușii se pot clasifica după masa metalică de bază, ca în figura 3.8.

Fonta cenușie perlito-cementitică se formează în cazul în care transformarea eutectoidă a avut loc după sistemul fier-cementită, iar cementita secundară nu a suferit descompunere sau a suferit doar o descompunere parțială. Având în compoziția ei și particule de cementită, această fontă posedă o duritate ridicată și o rezistență la uzare superficială, care o recomandă pentru piese solicitate la uzare, ca de exemplu segmentii de piston. Constituenții duri din structură trebuie să se găsească însă sub formă de incluziuni mărunte.

Fonta cenușie perlitică, rezultată în urma transformării eutectoide după sistemul fier-cementită, se remarcă printr-o rezistență foarte bună. Datorită proprietăților superioare ($R_m = 240 \text{ N/mm}^2$), aceste fonte se utilizează pentru executarea pistoanelor, cilindrilor și altor piese. Proprietățile mecanice ale acestui gen de fontă sunt cu atât mai ridicate cu cât perlita din structură este mai fină.

În categoria fontelor perlitice, unii autori includ și “ fontele oțelite “, obținute prin introducerea, la elaborarea fontei, de fier vechi în proporție de 20...30%. Introducerea fierului vechi în aceste fonte favorizează obținerea unui aliaj cu baza metalică de bază perlitică și cu conținut scăzut de carbon. Având un conținut scăzut de carbon, aceste fonte conțin o cantitate redusă de incluziuni de grafit în structură. Compoziția chimică a unei astfel de fonte este : 3...3,3% C ; 1,5...1,7% Si ; 1...1,2% Mn ; 0,3% P ; 0,1% S. Conținutul de Si trebuie să fie suficient de ridicat pentru a face imposibilă înălbirea la suprafață a acestor fonte

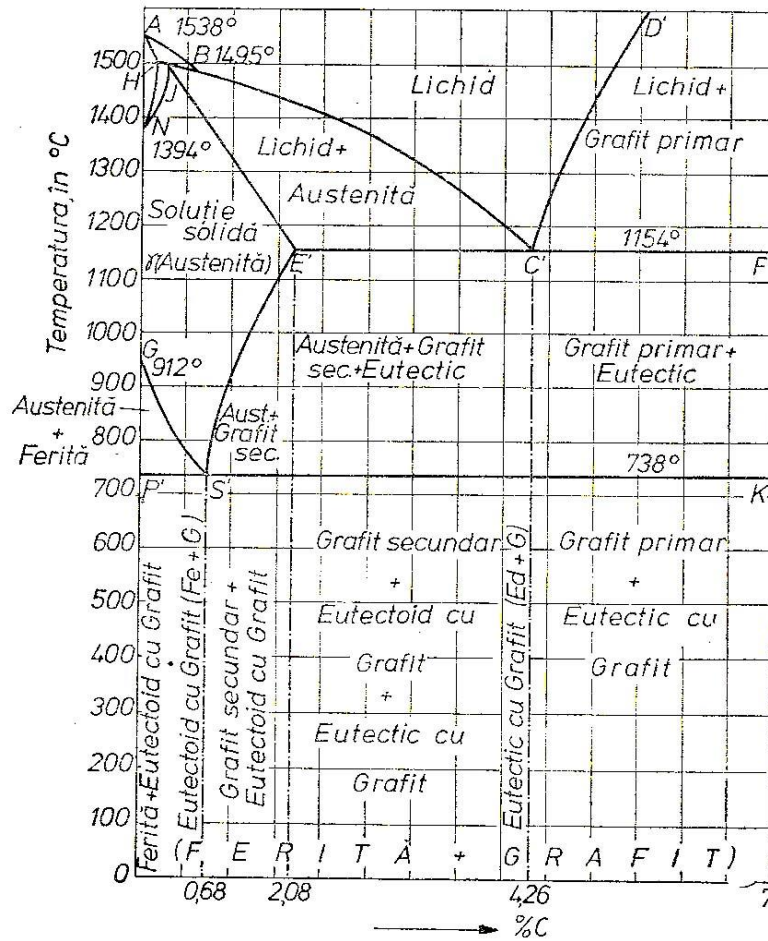


Fig. 3.7 Diagrama fier-grafit

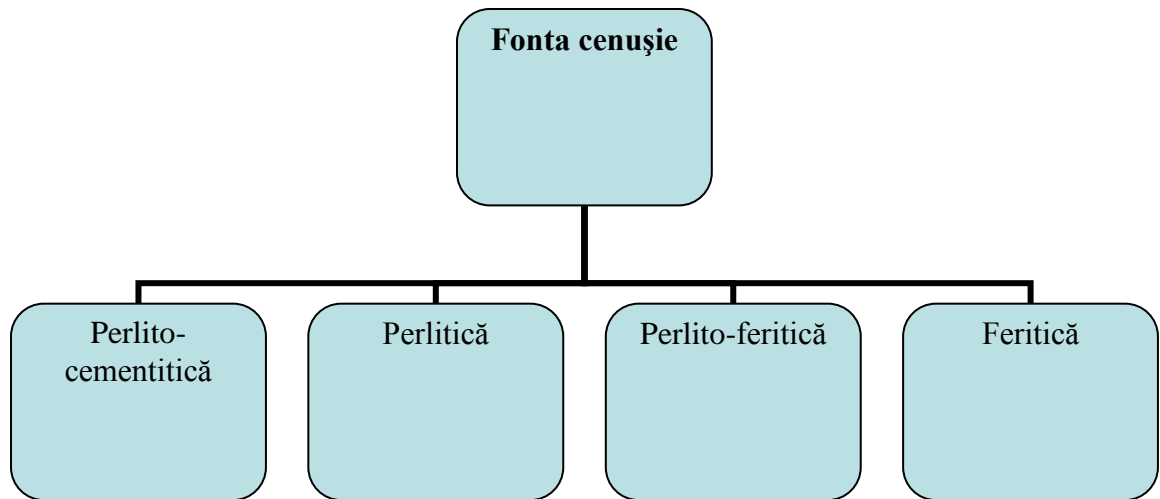


Fig. 3.8 Tipuri de fontă cenușie

Fonta cenușie ferito-perlitică este rezultat al descompunerii parțiale a cementitei din eutectoid. Are în structură, alături de ferită și constituentul mai dur și mai rezistent, perlita. Datorită acesteia posedă o rezistență și o duritate satisfăcătoare ($R_m = 120...180 \text{ N/mm}^2$).

Fonta cenușie feritică, obținută prin grafitizarea totală a cementitei din eutectoid, are masa metalică moale și plastică, prezentând o rezistență mai redusă ($R_m = 240 \text{ N/mm}^2$). Fontele feritice și ferito-perlitice se utilizează pentru fabricarea unor piese mai puțin solicitate în construcția de mașini.

Fonta cenușie are duritate mică, tenacitate mai mare decât fonta albă, se poate turna ușor în forme, de aceea se mai numește și fonta de turnătorie.

Ținând seama de faptul că piesele de automobile, din fontă cenușie, se obțin prin turnare, viteza de răcire este influențată direct de grosimea pereților piesei turnate fiind cu atât mai mare, cu cât grosimea pereților este mai mică.

Proprietățile mecanice ale fontelor cenușii depind de natura masei metalice și de forma și mărimea separărilor de grafit. Dacă masa metalică are cantități mari de cementită și perlită, fonta este greu prelucrabilă datorită durității ridicate. O fontă cu o masă metalică alcătuită din perlită și ferită este cu atât mai puțin dură cu cât cantitatea de ferită este mai mare (*fonte hipoeutectice*).

O influență deosebit de importantă asupra proprietăților fontei o are *grafitul*. Grafitul este o varietate de carbon cristalizat: este friabil, deci foarte fragil.

În funcție de forma pe care o are grafitul în matricea metalică, există trei categorii de fonte cenușii:

- *fonte cenușii obișnuite* – în care grafitul se găsește sub formă de lamele;
- *fonte cenușii nodulare* – grafitul se găsește sub forma unor mici sfere (noduli);
- *fonte maleabile* – care prezintă grafitul în cuiburi.

În mod obișnuit grafitul fontelor cenușii se prezintă sub forma unor lamele de unde și denumirea de *fonte cenușii cu grafit lamelar*, acordată acestor fonte. Aceste

lamele crează de fapt discontinuități în masa metalică, micșorează mult alungirea la rupere și reduc reziliența.

O fontă cenușie de bună calitate trebuie să conțină lamele de grafit cât mai fine și cât mai uniform dispersate. Pentru a obține o astfel de structură este necesară acțiunea asupra vitezei de răcire și incorporarea (introducerea) în fontă a unor elemente grafitizante.

Fonta cenușie obișnuită (cu grafit lamelar), printr-o elaborare îngrijită și un tratament termic adecvat, poate asigura o bună rezistență la uzare prin frecare, rezistență la coroziune, tenacitate și calitate bună a suprafețelor, adăugate la o bună prelucrabilitate prin așchiere. Datorită acestor proprietăți, unui cost de producție scăzut, fontele cenușii cu grafit lamelar sunt larg utilizate în construcția de automobile. Acest lucru se poate obține prin încălzirea la temperatură înaltă a fontei și menținerea timp mai îndelungat la această temperatură, ceea ce determină micșorarea cantității de grafit.

Fontele cenușii cu grafit lamelar prezintă dezavantajul că sunt fragile și nu suportă deformații plastice înainte de rupere; lamelele de grafit, care întrerup masa metalică de bază, sunt principala cauză a acestei stări de lucruri. Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice este necesară fie dispersarea grafitului în particule cât mai fine, fie reducerea secțiunii efective a particulelor de grafit prin aducerea lor la o formă cât mai apropiată de cea sferică. Fontele astfel obținute se numesc fonte modificate.

Unul din cele mai răspândite tipuri de fonte modificate este fonta cu grafit nodular. Proprietățile mecanice ale fontelor cu grafit nodular depind de alcătuirea masei metalice de bază și, în general, sunt net superioare proprietăților fontelor cenușii cu grafit lamelar. Datorită faptului că efectul de creșterea este minim, în fontele cu grafit nodular se ating rezistențe la rupere și alungiri la rupere, care reprezintă aproximativ două treimi din cele ale unei mase metalice lipsite complet de incluziuni de grafit.

Din cauza proprietăților mecanice ridicate, fontele cu grafit nodular au mai fost denumite și fonte suprarezistente cu grafit nodular.

Pentru obținerea fontelor cu grafit nodular se pornește de la fontele de compoziție eutectică sau hipereutectică, cărora li se aplică o modificare dublă.

Prima modificare se face cu ceriu sau magneziu în cantități de 0,03...0,07%. Ceriul fiind mai scump, cel mai des se utilizează magneziul. Influențând cristalizarea grafitului, el favorizează obținerea acestuia sub formă nodulară. Magneziul are însă și un efect antigrafitizant și, coborând temperatura transformării eutectice, favorizează obținerea unei structuri de fontă pestriță. Aceasta impune efectuarea celei de-a doua modificări, care are un rol grafitizant.

Postmodificarea se face cu ferosiliciu, Ba, Sr sau Ca. Deplasând din nou temperatura de transformare eutectică în domeniul stabil, ea determină obținerea unei structuri integrale de fontă cenușie. Drept elemente ajutoare, la elaborarea fontelor cu grafit nodular, se utilizează cuprul și nichelul.

Un rol deosebit de dăunător asupra formării grafitului nodular îl exercită S, Ti, Pb, Sn, As. Prezența simultană a două sau mai multe elemente din această categorie agravează caracterul lor dăunător. Caracterul dăunător în cazul modificării cu Mg poate fi contracarat prin introducerea de ceriu în cantități foarte mici.

Prelucrabilitatea prin așchiere a acestor fonte este excelentă. Piese de automobile fabricate din acest tip de fontă sunt: roți dințate, arbori cotiți, chiulase, etc.

De asemenea, îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale fontei cenușii se mai poate realiza prin utilizarea adaosurilor de aliere ca: nichel, crom, molibden, vanadiu, etc., al căror efect este acela de a favoriza separarea sorbitei și repartizarea grafitului în particule fine. În plus, alierea are ca efect omogenizarea structurii în toate regiunile piesei. Prin aliere se ajunge însă la scumpirea pieselor turnate cu până la 20%.

La fabricarea arborilor cotiți, din cauza solicitărilor dinamice la care aceștia sunt supuși, este nevoie să se utilizeze material cu vâscozitate ciclică ridicată. Prin aceasta se înțelege proprietatea materialelor de a absorbi energie fără transformarea ei în cazul solicitărilor vibratorii.

Vâscozitatea ciclică a fontei este de câteva ori mai mare decât a oțelului. Aceasta se datorește grafitului care face oficiul de tampon prin frânarea transmiterii oscilațiilor între grăunții metalici. Această caracteristică explică tendința de întrebunțare a fontei modificată la fabricarea arborilor cotiți și a altor piese ale motorului care lucrează sub solicitări oscilatorii.

Fontele antifricțiune. S-a constatat că proprietățile antifricțiune ale fontelor cenușii depind de cantitatea și forma incluziunilor de grafit, care au proprietatea de a absorbi lubrifiantul și a-l menține pe suprafețele în frecare, de raportul dintre ferită și perlită în masa metalică de bază, precum și de prezența eutecticului fosforos în structură.

Pentru lagăre care lucrează cu arbori netratați termic, se recomandă ca ponderea perlitei în masa metalică de bază să nu fie mai mică de 60%. Acest lucru se poate asigura prin utilizarea unei fonte având aproximativ următoarea compoziție chimică: 3,2...3,8% C; 1,7...2,6% Si; 0,4...0,7% Mn; 0,1% Ti și 0,3...0,5% Cu.

Pentru lagărele care lucrează în pereche cu arbori din oțel îmbunătățit sau normalizat, se recomandă ca ponderea perlitei în masa metalică de bază să nu coboare sub 85%.

Pentru segmentii pistoanelor din motoarele cu ardere internă, se recomandă o fontă cenușie cu conținut mai ridicat de fosfor (0,3...0,5% P), având în vedere faptul că fosforul ridică fluiditatea fontei și permite turnarea acesteia în piese cu pereți subțiri. Fosforul, aflat în cantități mai mari, determină apariția în structura acestor fonte a eutecticului fosforos. El este un eutectic ternar numit steadită, având drept constituenți ferită, cementită și fosfură de fier: Fe(C)-Fe₃C-Fe₃P. Steadita formează în masa fontei pentru segmentii incluziuni izolate dure, care contribuie la ridicarea rezistenței la uzare și a elasticității segmentilor.

Aflat sub formă de aglomerări mari, având în vedere faptul că este un constituent fragil, eutecticul fosforos duce la rebutarea segmentilor din cauza fragilității lor mărite.

Pentru asigurarea unei rezistențe la uzare ridicată, perlita trebuie să fie fină, iar eutecticul fosforos, uniform repartizat în masa metalică de perlită.

Fontele aliate sunt fonte în care s-au introdus în mod voit o serie de elemente de aliere în scopul modificării proprietăților fizico-chimice, mecanice și tehnologice ale acestora.

În cazul fontelor cenușii alierea influențează atât baza metalică, cât și procesul de grafitizare. Elementele solubile în fier: Si, Ni, Cu, Al favorizează grafitizarea, în timp ce elementele care formează carburi: Mn, Cr, W, Ti, V, Mo împiedică acest proces.

Influența elementelor de aliere se manifestă diferit: nichelul determină creșterea durității, a rezistenței la uzare și coroziune, a refractarității; cromul durifică fonta, măbind rezistența la coroziune, la uzare, refractaritatea; molibdenul favorizează obținerea unei

structuri perlitice foarte fine cu o mare rezistență la rupere și o bună reziliență; manganul mărește rezistența la uzare, elimină efectul negativ al sulfului și conduce la materiale nemagnetice; wolframul, prin combinațiile ce le formează, finisează structura, determină creșterea rezistenței la rupere, fără să micșoreze reziliența; titanul și zincroniul favorizează obținerea unui grafit fin și îmbunătățește prelucrabilitatea prin așchiere; vanadiul conduce la creșterea rezistenței la rupere prin tracțiune, a durității, rezilienței și îmbunătățește refractaritatea.

a) *Fontele cenușii aliate cu caracteristici mecanice superioare* sunt fonte cu destinație generală, folosite pentru turnarea organelor de mașini cu caracteristici superioare fontelor obișnuite. Sunt slab aliate cu Ni, Cr, Mo, V, Ti prezentând o structură perlitică fină și un grafit lamelar sau nodular foarte mărunț.

Ni și Cr folosite la aliere permit obținerea unei mase metalice de bază mai rezistentă, cu perlită sorbitică, alături de mici incluziuni de grafit. Posibilitatea reglării dimensiunilor formațiilor de grafit este condiționată de faptul că aceste elemente au influențe contrarii și în consecință, variind raportul dintre aceste elemente, se pot obține formațiunile de grafit dorite.

Pe lângă ridicarea rezistenței la rupere, elementele de aliere conduc și la ridicarea proprietăților de turnare, introducând o susceptibilitate redusă la variația grosimii pereților pieselor turnate, ceea ce permite obținerea unei structuri mai uniforme la piesele cu forme și dimensiuni variate.

Aceste fonte sunt utilizate pe scară largă în construcția de motoare cu ardere internă pentru cilindri, arbori cotiți, etc.

b) *Fonte rezistente la uzare.* Aceste fonte trebuie să aibă o duritate ridicată care se obține prin aliere cu elemente care ridică călibilitatea.

Fontele antifricțiune sunt folosite pentru lagăre de alunecare (bucșe, cuzineți). Sunt fonte aliate cu Cr, Ni, Cu, Ti, Si (fonte perlitice), cu Mn, Al (fonte austenitice) sau cu Pb și P. Pot fi fonte cu grafit lamelar, nodular sau maleabile. Toate conțin în structură steadită în cantități mari, fin și uniform distribuită în masa metalică.

c) *Fontele de fricțiune* sunt folosite pentru tamburi de franare la autovehicule. Ele au o structură perlito-sorbitică, bogată în steadită, fiind aliate cu Ni, Cr sau Mo. Pentru funcționarea la solicitări severe se aliază cu Ni în cantitate mai mare (3,5...6% Ni).

ALIAJELE DURE

Aliajele dure se utilizează la motoare în anumite situații pentru fabricarea supapelor, ca materiale rezistente la uzură adăugate la coada tijei supapei sau pe conul supapei.

Aliajele dure, utilizate în acest scop, fac parte din categoria aliajelor cobalt-crom-wolfram obținute prin topire sau din categoria aliajelor carbidice sinterizate. Prin topire, aceste elemente formează cu carbonul carburi metalice care sunt extrem de dure fără nici un alt tratament termic. Adăugarea materialului dur pe conul supapei sau la extremitatea tijei se face prin topirea lui cu suflaiul de sudură.

Aliajele dure din categoria aliajelor carbidice sinterizate se obțin din carburi metalice de wolfram amestecate cu aprox. 10% metale de legătură ca fier, cobalt sau nichel sub formă de pulberi. Amestecul de pulberi este apoi încălzit până ce metalul de legătură începe să se topească fără a se ajunge însă la topirea carburilor. Prin răcire,

amestecul se sinterizează, rezultând un produs extrem de dur care poate fi utilizat la supape sau pentru scule aşchiitoare.

METALE ŞI ALIAJE NEFEROASE UTILIZATE LA FABRICAREA AUTOMOBILELOR

Producţia mondială de oţel este de 20 ... 30 ori mai mare decât a tuturor celorlalte aliaje întrebuinţate în industria automobilelor (cu excepţia fontei). Această răspândire este datorată costului scăzut, asociat unor excelente proprietăţi mecanice şi tehnologice. Cu toate acestea aliajele feroase prezintă şi dezavantaje cum ar fi rezistenţa scăzută la coroziune, care n-a fost rezolvată integral prin introducerea (întrebuinţarea) oţelurilor aliate.

Metalele şi aliajele neferoase, în general, prezintă o bună rezistenţă la coroziune şi unele caracteristici fizice interesante: greutate specifică mică, conductibilitate termică şi electrică ridicate, etc.

Metalele neferoase cu răspândirea cea mai largă în industria automobilelor sunt: aluminiul, cuprul, magneziul, staniul, plumbul.

Pentru a oferi o gamă largă de proprietăţi, metalele neferoase se întrebuinţează sub formă de aliaje.

a) Aluminiul şi aliajele sale

1. Aluminiul

Aluminiul face parte din categoria materialelor uşoare, cu conductivitatea termică şi electrică ridicată şi cu plasticitate bună. Are densitate mică ($\gamma = 2,7 \text{ g/cm}^3$), temperatură joasă de topire ($T_t = 660^\circ \text{ C}$), rezistenţă mică la rupere ($R_m = 6 \text{ daN/mm}^2$), în schimb are o alungire la rupere foarte bună ($A_5 = 40\%$). Cristalizează în reţea cubică cu feţe centrate, microstructura fiind formată din poliedre fără macle.

Aluminiul se caracterizează prin plasticitate mare, rezistenţă satisfăcătoare la coroziune şi greutate specifică redusă.

În general, aluminiul folosit în tehnică are impurităţi până la maxim 1%, fiind standardizate 8 mărci de aluminiu primar: 99,80 % Al, 99,7 % Al, 99,6 % Al, 99,6 % Al, 99,5 % Al, 99,4 % Al, 99,3 % Al, aluminiu pentru electrotehnică, etc.

Aluminiul oxidează formând Al_2O_3 care formează o peliculă compactă ce izolează metalul de mediul exterior protejându-l împotriva coroziunii.

Utilizare: Aluminiul tehnic se foloseşte pentru fabricarea pieselor mai puţin solicitate şi care cer un material cu greutate specifică mică, conductibilitate termică ridicată, plasticitate, rezistenţă la coroziune, etc. Din aluminiu se pot fabrica o serie de piese ca: şaibe, garnituri, conductori electrici, diferite piese decorative, etc.

În fabricarea automobilelor, reperatele de aluminiu au o largă răspândire. Din aluminiu se fabrică chiulase, blocuri de cilindri şi cartere pentru diferite agregate. S-au realizat chiar şi caroserii din aluminiu.

Prin utilizarea aluminiului şi aliajelor sale în construcţia automobilelor, se poate reduce masa lui cu până la 25...30%.

2. Aliaje pe bază de aluminiu.

Datorită rezistenței reduse a aluminiului, pentru fabricarea reperelor de automobil se utilizează aliaje de aluminiu. Aceste aliaje se pot împărți în funcție de proprietățile fundamentale astfel:

- aliaje de aluminiu cu proprietăți mecanice superioare: Al-Cu-Mg-Mn (*duraluminiu*); Al-Zn-Mg; Al-Zn și Al-Cu, cu $R_m = 50 - 60 \text{ daN/mm}^2$;
- aliaje de aluminiu anticorozive: Al-Mn-Si; Al-Mg-Si;
- aliaje antifricțiune pe bază de aluminiu: Al-Sn-Pb; Al-Sn; Al-Cu-Si-Fe;
- aliaje de aluminiu rezistente la temperaturi ridicate: Al-Cu-Mg; Al-Cu-Mn; Al-Cu-Li;
- aliaje de aluminiu rezistente la temperaturi scăzute: Al-Cu-Mg-Si; Al-Zn-Mg-Cu; Al-Mg.

Utilizare: aliajele de aluminiu sunt utilizate pentru fabricarea unor piese importante ale motoarelor: pistoane, blocuri motor, chiulase, cilindri de lucru, etc.

Aliaje de aluminiu pentru pistoane

Materialul întrebunțat pentru confecționarea pistoanelor, dat fiind condițiile deosebite de lucru ale acestora, trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- conductibilitate termică ridicată pentru a asigura evacuarea căldurii primite de capul pistonului în timpul procesului de ardere, fără supraîncălzire;
- rezistență mecanică suficientă la temperaturi de aprox. 350° pentru a rezista eforturilor ce apar în timpul funcționării. O mare importanță o are rezistența la oboseală dat fiind prezența solicitărilor alternative ce rezultă din acțiunea presiunii gazelor și a forțelor de inerție;
- coeficient de dilatare termică mic, pentru ca jocul pistonului în interiorul cilindrului, atunci când motorul este rece, să poată fi cât mai redus, micșorând în acest fel uzura pistonului datorită “bătăii” în perioada de încălzire a motorului;
- greutate specifică mică pentru a micșora greutatea pistonului, și în consecință, forțele de inerție. Ca urmare a micșorării greutății și coeficientului de frecare al pistoanelor confecționate din aliaje de aluminiu, se poate mări mult puterea specifică a motoarelor;
- materialul trebuie să se toarne ușor și să nu prezinte dificultăți la prelucrarea prin așchiere.

Comparativ cu pistoanele din fontă, pistoanele din aliaje de aluminiu au un preț de cost mai ridicat, iar proprietățile mecanice scad cu creșterea temperaturii, în special la temperaturi ce depășesc 350° .

În figura 3.9 sunt prezentate câteva dintre proprietățile aliajelor de aluminiu în comparație cu aluminiul pur și cu fonta:

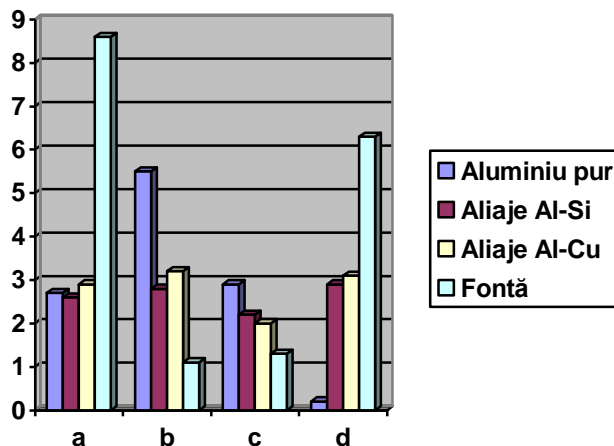


Fig. 3.9 Proprietăți ale unor metale
a-greutatea specifică; b-conductibilitatea termică; c-coeficient de dilatare; d-
duritate HB

Aliajele de aluminiu utilizate la confecționarea pistoanelor au o compoziție chimică foarte variată, cea mai mare răspândire având-o aliajele aluminiu-cupru și aluminiu-siliciu.

Aliajele aluminiu-cupru (Al-Cu). Aceste aliaje prezintă o structură microscopică formată dintr-o masă de bază, cu duritate mică, constituită din cristale primare de amestec de aluminiu saturate cu cupru. În această masă este înglobat eutecticul format din cristale de aluminiu saturate cu cupru și compusul chimic Al_2Cu . Cristalele eutectice, care sunt dure, constituie rețeaua de susținere a aliajului. Cu toate că, conductibilitatea termică a acestor cristale este redusă, conductibilitatea termică a aliajului rămâne ridicată datorită conținutului de cupru.

Pentru mărirea rezistenței la rupere și a durității, în compoziția chimică a acestor aliaje se introduce magneziu. Introducerea unor procentaje prea mari de magneziu conduce la micșorarea alungirii. Totodată prin introducerea magneziului crește rezistența aliajului la temperaturi ridicate, permițând turnarea pieselor puternic solicitate termic.

Aliajul cel mai întrebuițat din această categorie este cel cunoscut sub denumirea de aliaj "Y" purtând marca ATCu 4 Mg 2 Ni 2. Tratamentul termic al acestui aliaj constă dintr-o călire la 510...520 °C, cu răcirea în apă fierbinte, urmată de o îmbătrânire parțială la 210...220 °C în decurs de 2...4 ore. Se recomandă folosirea acestui aliaj pentru confecționarea pistoanelor care lucrează în condițiuni deosebit de grele.

Aliajele aluminiu-cupru prezintă mai multe dezavantaje: coeficient de dilatare mare; fluiditate mică și tendința de a fisura la cald.

Aliajele aluminiu-siliciu (Al-Si) au o largă utilizare datorită proprietăților bune de turnare, caracteristicilor mecanice superioare și o bună rezistență la uzură. Pe lângă aceste avantaje, aliajele Al-Si permit realizarea unor jocuri mici la montaj datorită coeficientului de dilatare relativ mic $D = (17...21) \cdot 10^{-6}$.

În fabricația curentă de pistoane se folosesc două tipuri de aliaje:

- aliaje eutectice cu conținut de 11...14% siliciu și adaosuri mici de cupru, nichel, magneziu, fier și alte metale;
- aliaje hipereutectice cu un conținut de 17...25% siliciu și adaosuri mici de cupru, nichel, magneziu, crom, mangan, fier și alte materiale.

Ca urmare a faptului că aliajele de aluminiu-siliciu au rezistență mică la temperaturi ridicate, grosimea pereților și a fundului pistonului trebuie să fie mare, iar în consecință piesele confecționate din acest material sunt mai grele. Acest fapt nu constituie un dezavantaj prea mare, deoarece greutatea specifică este mai mică față de cea a aliajelor "Y".

Pistoanele din aliaje de aluminiu se supun tratamentului termic, care constă în călire urmată de îmbătrânire artificială timp de 10...20 ore, la temperatura de 150...180°C.

Pentru îmbunătățirea condițiilor funcționale ale pistoanelor, se aplică unele mijloace de protecție a suprafețelor exterioare. Aceste acoperiri au drept scop mărirea rezistenței la uzare, iar în cazul frecării uscate, să înlocuiască pentru scurt timp lipsa uleiului.

Aliaje de aluminiu pentru turnarea blocurilor motor, chiulase și cilindri

Aliajele de aluminiu pot fi utilizate pentru confecționarea blocului motor, chiulasei și a cilindrilor.

Pentru turnarea blocurilor sub presiune se pot folosi aliaje cu următoarea compoziție chimică: 11,5...13% Si; 1,75...2,5% Cu; 1% Fe; 0,3% Mg; max. 0,5% Mn; max. 0,8% Sn, restul fiind aluminiu. Blocurile turnate din acest aliaj se supun unui proces de impregnare cu mase plastice termoreactive pentru a se asigura etanșeitatea.

În cazul producției de serie mică, blocurile se pot turna în cochilă sau în nisip, după care se supun unei căliri și îmbătrâniri artificiale. În această situație se recomandă a se folosi un aliaj cu 1,5...2,5% Si, 0,3...0,45% Mg, etc.

Utilizarea aliajelor de aluminiu pentru confecționarea chiulasei asigură o conductibilitate termică ridicată, permițând în acest fel raportul volumetric de compresie fără pericolul detonației; concomitent se micșorează și greutatea motorului.

Cilindrii de lucru turnați din aliaje de aluminiu prezintă avantajul unei bune conductibilități termice. În plus, se asigură același coeficient de dilatare liniară atât pentru piston cât și pentru cilindru, creind în acest fel posibilitatea realizării unor jocuri mici la montaj, ceea ce crează condiții favorabile pentru funcționarea motorului în condiții grele. Pentru micșorarea uzurii, suprafața interioară a cilindrilor este cromată. Prezența stratului de crom asigură o mărire considerabilă a rezistenței la coroziune și o micșorare a pierderilor prin frecare.

În tabelul 3.4 este prezentată contribuția aluminiului și aliajelor sale la masa totală a unor automobile:

Masa pieselor din aluminiu și aliaje de aluminiu la unele automobile Tab.3.4

Firma	Modelul automobilelor	Masa pieselor de Al, în kg sau [%]	Tipul	Modelul automobilelor	Masa pieselor de Al, în kg
Automobile românești			Automobile italiene		
S.C. Dacia	Dacia 1300	1...2%	Lancia	Thesis	68
S.C. ROCAR	Autobuze	8...11%		Phedra	81
	Autoutilitare	1,5%		Ypsilon	148
S.C. ARO	ARO-10	1...3%		Delta	212
Automobile italiene				Aurelia	98
Alfa Romeo	Brera	108	Automobile americane		
	Spix	116	Ford	Mondeo	48
Fiat	Linea	47	Chevrolet	Camaro	42
	Bravo	52	Pontiac	Solstice	45
	Stilo	54	Oldsmobil	Cutlas	38
	Punto	72	Buick	Blackhawk	64
	Doblo	76	Cadillac	Escalade	72

3. Materiale compozite cu aluminiu

Aluminiul, datorită densității sale reduse și a rezistenței mari la oxidare progresivă, este materialul care a căpătat cea mai mare extindere ca matrice a materialelor compozite utilizate în realizarea de reperi care intră în construcția unui autovehicul. În tabelul 3.5 sunt prezentate câteva materiale compozite cu aluminiu utilizate în fabricarea reperelor pentru automobile:

Compuși ai aluminiului și folosirea lor în industria de automobile Tab.3.5

Sistemul	Aplicații	Caracteristici speciale
Al/SiC	Pistoane, discuri de frână, cuzineți, arbori cotiți	Rezistența la rupere și la uzare, rigiditate
Al/Al ₂ O ₃	Componente pentru motor (scaune supape, opritori)	Rezistența la uzare
Al/TiC	Pistoane, biele	Rezistența la solicitări mecanice ciclice și la uzare
Al/Grafit	Piese pentru autovehicule	Proprietatea de autolubrifiere

Materialele Al/Al₂O₃ și Mg/ Al₂O₃ au o rigiditate și rezistență la uzare mari, cuplate cu o rezistență mare la temperaturi înalte, fiind aplicabile în realizarea unor componente pentru automobile. De altfel, în industria de autovehicule s-au impus materialele compozite metalice pentru fabricarea diverselor repere din cadrul motorului, suspensiilor, sistemelor de direcție și frânare. Aplicațiile se referă în special la echipamentul mobil (biele, pistoane, axul pistonului) și la piesele solicitate la oboseală termodinamică.

b) Aliajele cuprului

Cele mai răspândite aliaje ale cuprului sunt *alamele* și *bronzurile*.

1. Alamele sunt aliaje Cu-Zn, întrebuițate ca aliaje de turnătorie sau ca aliaje laminabile. În mod curent conținutul de cupru este de cel puțin 55% iar conținutul de zinc al unei alame este de circa 30 – 45%.

Alamele se caracterizează prin rezistență la coroziune și proprietăți tehnologice (prelucrabilitate prin așchiere, turnabilitate, plasticitate și sudabilitate) bune. Alamele speciale mai pot conține și alte elemente cum ar fi: Pb, Fe, Al, Si, Mn, Ni, etc., care asigură obținerea unor anumite proprietăți:

- Pb ușurează prelucrarea prin așchiere și micșorează coeficientul de frecare;
- Fe și Mn măresc rezistența la rupere;
- Al mărește duritatea și rezistența la rupere fără a micșora tenacitatea și sporește rezistența la coroziune și oxidare;
- Si mărește rezistența la rupere și rezistența la coroziune;
- Ni ameliorează rezistența la rupere, alungirea și rezistența la coroziune și temperaturi ridicate.

Utilizările cele mai frecvente ale alamelor obișnuite, în industria automobilelor, sunt următoarele:

- CuZn 41 T pentru colivii de rulmenți;
- CuZn 34 T pentru armături obișnuite, piese de ornament și diverse alte piese fără solicitări mecanice;
- CuZn 42, CuZn 40, CuZn 37, sunt alame care pot fi prelucrate prin presare la cald, tragere, ambutisare și prin așchiere, fiind utilizate pentru fabricarea diferitelor piese strunjite, șuruburi, răcitoare, piese electrotehnice, etc.;
- CuZn 30 , CuZn 28, CuZn 20, CuZn 15, CuZn 10, sunt alame care pot fi prelucrate la rece folosindu-se la executarea tablelor, benzilor, sârmelor, etc.

2. Bronzurile sunt aliaje ale cuprului cu staniu. Acestea se împart în *bronzuri obișnuite* și *bronzuri speciale*. *Bronzurile obișnuite* conțin numai cupru și staniu (în mod curent sub 20% Sn), au o culoare galben-roșiatică, densitatea de circa 8,8 kg/dm³ iar temperatura de topire de 900 ... 1000° C. Acestea se caracterizează printr-o mare rezistență la coroziune în aer și apă, o rezistență ridicată la uzare și o durificare importantă prin deformare la rece. Bronzurile cu peste 10% Sn nu se pot lamina, forja sau trefila datorită formării unui constituent structural (ϵ) de duritate și fragilitate ridicate. Din acest punct de vedere, bronzurile se împarte în două categorii:

- Laminabile cu Sn < 10%;
- Turnate în piese cu Sn > 10%.

Bronzurile speciale au importante adausuri de Zn, Pb, P, Al, Be, Ni, (65 – 90% Cu, 0 – 3% Sn, 2 – 15% Pb, 5 – 20% Mn, etc.), purtând denumirea după elementul de aliere suplimentar:

- Bronzurile cu Zn sunt ușor turnabile;
 - Bronzurile cu Pb sunt ușor prelucrabile, rezistă bine la frecare și au plasticitate ridicată;
 - Bronzurile cu Be prezintă caracteristici mecanice ridicate, rezistență mare la coroziune, sudabilitate bună și ușoară, prelucrabilitate prin așchiere și elasticitate ridicată;
 - Bronzurile fosforoase sunt lipsite de fragilitate și au duritate ridicată;
- Bronzurile cu aluminiu se prelucrează bine prin turnare și deformare plastică.

Bronzurile au o întrebuințare foarte largă în industria automobilelor: la fabricarea pieselor de frecare, în special a cuzineților, se utilizează bronzurile care au în structură 14 – 18% Sn; la fabricarea angrenajelor se utilizează bronzuri care au în structură 10% Sn.

c) Aliaje antifricțiune

Se numesc *aliaje antifricțiune* aliajele susceptibile de a rezista frecării. Rezistența la frecare depinde de un număr mare de factori: presiune, ungere, viteză de rotație, natura și structura aliajelor în contact. În general, *aliajul antifricțiune* este format din grăunți duri (metal pur, compus intermetalic), înglobați într-o masă metalică de bază plastică. Cele mai multe dintre aliajele antifricțiune sunt pe bază de staniu (80 – 90% Sn, 3 – 12% Sb și 3 – 10% Cu), plumb (5 – 14% Sn, 8 – 14% Sb și restul plumb) și aluminiu (STAS 202). Aceste aliaje posedă o bună tenacitate și o rezistență bună la uzare. Întrebuințările acestor aliaje în industria automobilelor sunt:

- Y – Sn 83, Y – Sn 80 pentru cuzineți la motoare cu ardere internă de turații mari și foarte mari, electromotoare, generatoare, etc.;
- Y – PbSn 10 la cuzineți de bielă;
- Y – PbSn 6 Sb 6 pentru cuzineți subțiri la autocamioane;
- Y – AlSb 5 pentru cuzineți la motoare diesel pentru autovehicule și tractoare;
- Y – AlSn 6 CuNi pentru cuzineți și bușe solicitate puternic prin frecare.

Aliajele antifricțiune pe bază de staniu se folosesc în cantități mari pentru confecționarea cuzineților pentru motoarele cu ardere internă. Familiile de aliaje antifricțiune pe bază de staniu sunt considerate printre cele mai bune materiale pentru confecționarea cuzineților, fiind caracterizate prin stabilitate înaltă la coroziunea diferitelor substanțe folosite la ungere, rezistență mare la gripare, temperatură mică de turnare, conductibilitate termică bună, prelucrabilitate bună prin așchiere, preț de cost redus.

Din familia aliajelor antifricțiune pe bază de staniu, cele mai utilizate sunt în prezent cele pe bază de Sn-Sb-Cu. Calitatea acestor aliaje a crescut continuu prin folosirea unor tehnologii noi de elaborare și turnare precum și prin introducerea unor elemente de aliere în compoziția acestora cum ar fi: As, Cd, Ni, Cr, Pb, Al, Mn, Te, Se, etc. Aceste elemente au rolul de a modifica structura în vederea îmbunătățirii proprietăților mecanice și tribologice ale acestor aliaje.

De remarcat faptul că unele dintre aceste elemente, cu toate că au o influență pozitivă asupra proprietăților mecanice și tribologice, s-au dovedit a fi foarte dăunătoare pentru sănătatea oamenilor, animalelor și solului. As și Cd sunt considerate în unanimitate de către specialiști ca fiind cancerigene. În cazul acestor aliaje, contaminarea se face cu vaporii de Cd și As în timpul elaborării.

3.2.2 Considerații tehnologice referitoare la prelucrarea reperelor motoarelor cu ardere internă

STRUCTURA ȘI CARACTERUL SISTEMELOR ȘI PROCESELOR DE PRODUCȚIE ALE AUTOVEHICULELOR

a) Procesul de producție

Noțiunea de producție este definită ca o sumă de procese de muncă, prin care forța de muncă transformă obiectul muncii în produse sau acționează asupra lui sub forma prestațiilor de servicii, cu ajutorul mijloacelor de muncă.

Ca element al întreprinderii industriale, producția este un subsistem al acesteia. Conexiunile sistemului de producție cu celelalte subsisteme sau activități ale întreprinderii se asigură și realizează prin activitatea de pregătire a producției (figura 3.13). Scopul principal al activității de pregătire a producției îl constituie elaborarea programului de lansare în execuție a produselor.

Se poate trage concluzia că sistemul de producție reprezintă ansamblul de factori productivi dependenți, condiționați în principal de: stabilirea în timp a producției, complexitatea constructivă și tehnologică a acesteia și de volumul de producție.

Sistemul de producție influențează toate aspectele producției: pregătire tehnică, structură, formele de organizare și programare, precum și economicitatea procesului de fabricare a autovehiculelor.

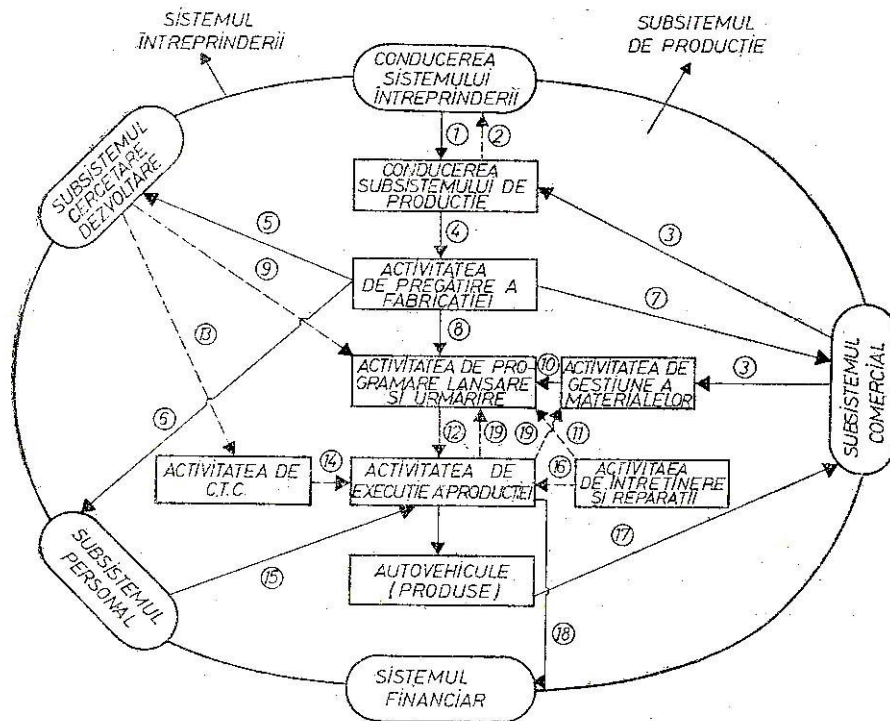


Fig. 3.13 Conexiunile subsistemului de producție

Procesul de producție dintr-o întreprindere de fabricație auto mai poate fi definit ca fiind totalitatea activităților desfășurate în mod organizat, cu ajutorul mijloacelor de muncă, în vederea obținerii produselor finite, care pot fi autovehicule sau componente pentru autovehicule care sunt utilizate în cadrul legăturilor de cooperare cu uzina coordonatoare a produsului autovehicul.

Caracteristicile principale ale sistemelor de producție specifice industriei autovehiculelor sunt prezentate în anexa 1.9.

Structura generală a procesului de producție dintr-o întreprindere cu profil de fabricare automobile este prezentat în figura 3.14.

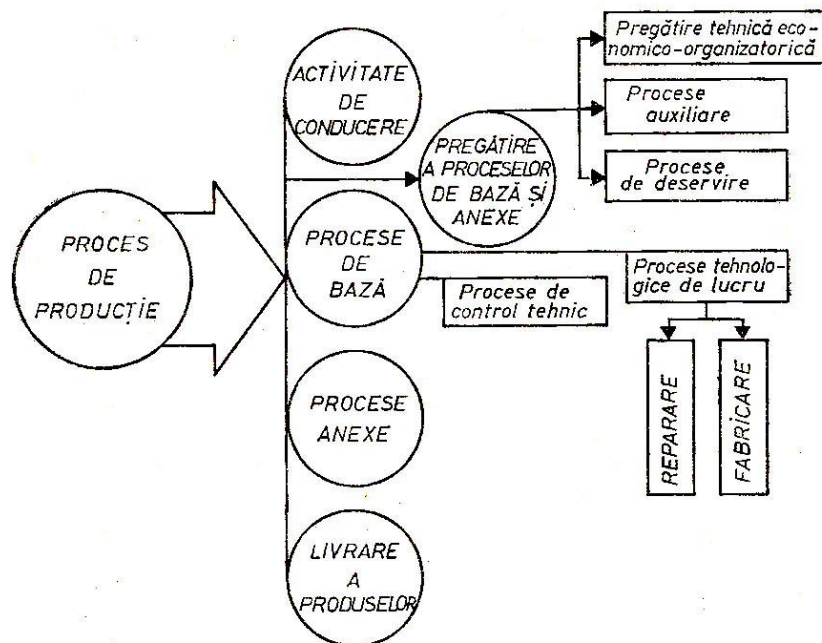


Fig. 3.14 Structura generală a procesului de producție

Procesele de bază cuprind ansamblul acțiunilor și activităților prin care se realizează fabricarea sau repararea autovehiculelor prin procesele tehnologice de lucru și control.

Procesele de pregătire a producției asigură posibilitatea desfășurării în condiții cât mai bune a proceselor de bază și anexe.

Procesele auxiliare sunt activități dirijate, care se desfășoară în paralel cu procesele de bază, însă nu iau parte direct la transformarea obiectelor muncii. Este cazul producerii energiei electrice, a aburului, a aerului comprimat, întreținerea și repararea utilajelor, etc.

Procesele de deservire reprezintă ansamblul activităților din întreprindere care asigură funcția de deservire a activităților desfășurate în secțiile productive: aprovizionare, transport intern, depozitare, etc.

Procesele anexe reprezintă o completare a activităților de bază și asigură prelucrarea și valorificarea unor deșeuri rezultate din procesele de bază și auxiliare.

Livrarea produselor către beneficiari reprezintă activitatea prin care se evidențiază valoarea de întrebuințare și gradul de utilitate al produsului.

b) Procese, metode și procedee tehnologice

Procesul tehnologic este acea parte a procesului de producție dintr-o întreprindere, care determină transformarea directă cantitativă și calitativă a obiectelor muncii prin modificarea proprietăților fizico-mecanice, formei, preciziei dimensionale și calității suprafețelor semifabricatelor, precum și a poziției relativ reciproce a pieselor finite din structura spațială a sistemului autovehicul. Procesele tehnologice se realizează prin aplicarea diferitelor metode și procedee tehnologice.

Metoda tehnologică este un mod sistematic și principial de executare a unei operații dintr-un proces tehnologic, comun din punct de vedere esențial pentru mai multe clase de procedee tehnologice. Dintre metodele frecvent utilizate în tehnologiile de fabricare a autovehiculelor se remarcă: turnarea, deformarea plastică, tratamentul termic, etc.

Procedeul tehnologic reprezintă mijloacele prin care se realizează o metodă tehnologică. Este cazul unui semifabricat plastic, care poate fi obținut prin forjare liberă sau matrișare, iar prelucrarea mecanică a suprafețelor se poate realiza prin așchiere. Adoptarea unei anumite variante de procedeu tehnologic depinde de: condițiile tehnice impuse piesei sau produsului, productivitatea necesară, proprietățile necesare la uzinarea piesei, efectul economic urmărit, condițiile tehnico-organizatorice din întreprindere.

Procesul de producție dintr-o întreprindere de fabricare a autovehiculelor cuprinde următoarele etape tehnologice mai importante: prelucrarea semifabricatelor; montarea subansamblelor, agregatelor sau sistemelor; încercarea și vopsirea, controlul tehnic, etc.

Principalele caracteristici ale liniilor tehnologice din secțiile de bază ale întreprinderilor producătoare de automobile sunt prezentate în tabelul 3.6.

Operația de muncă este acea parte a procesului de muncă de a cărei efectuare răspunde un executant, pe un anumit loc de muncă, prevăzut cu anumite utilaje și unelte de muncă. El acționează asupra unor anumite obiecte sau grupe de obiecte ale muncii în cadrul unei singure tehnologii.

Operația tehnologică este acea parte a procesului tehnologic care constă în transformarea cantitativă și calitativă a obiectului muncii într-un produs finit sau semifabricat cu anumite caracteristici măsurabile, realizate cu mijloace manuale, manual-mecanice sau mecanice.

Caracteristicile variabile ale operației sunt: locul de muncă, obiectul muncii, mijlocul de muncă folosit și caracterul lucrării. În activitatea de normare, planificare și organizare a muncii se impune descompunerea operației în elementele sale componente astfel încât să fie posibilă raționalizarea sistemului de lucru.

Operația se compune din elemente complementare: așezarea, poziția, faza, trecerea, mânuirea și mișcarea

Tipuri și caracteristici de linii tehnologice specifice industriei de automobile Tab. 3.6

Forma organizatorică a liniei tehnologice	Caracteristicile principale ale liniei	Domeniul de utilizare
Cu flux variabil	Piese se prelucrează pe loturi diferite; utilajele, echipate cu dispozitive universale, sunt dispuse în ordinea succesiunii operațiilor, în concordanță cu ritmul producției de piese	În producția de serie mică a pieselor pentru autovehicule
Multiplă, cu flux variabil	Piese prelucrate sunt asemănătoare din punct de vedere constructiv și tehnologic; mașinile-unelte de tip portal sau multi-ax permit prelucrarea simultană a pieselor de pe masă la același reglaj	În producția de serie mică și mijlocie a pieselor auto de tip carcasă
Unitară, cu flux continuu	O singură piesă se prelucrează în mod continuu, în ordinea succesiunii operațiilor; ritmul liniei este în concordanță cu ritmul producției ansamblului din care face parte piesa; transportul piesei poate fi mecanizat	În producția cu flux tehnologic de serie a pieselor pentru autovehicule
Automată (linii automate de prelucrare a blocului motor, chiulasei, arborelui cotit, bielei, etc.)	O singură piesă se prelucrează complet sau parțial, cu ciclul automat în ordinea succesiunii operațiilor; ciclul de lucru este în concordanță cu ritmul de producție al ansamblului; operațiile de control, transport, fixare și desprindere a pieselor din dispozitiv se face automat	În atelierele mecanice de prelucrare sau tratamente termice
Automată, complexă	O singură piesă se prelucrează în ciclul automat, de la intrarea materialului în uzină și până la ieșirea piesei finite din linie	În producția de masă a pistoanelor, șuruburilor, rulmenților, etc.

TEHNOLOGICITATEA CONSTRUCȚIEI AUTOVEHICULULUI

a) Analiza tehnologicității construcției autovehiculelor rutiere

Tehnologicitatea construcției exprimă corelația biunivocă care trebuie realizată între construcția pieselor sau agregatelor autovehiculelor și cerințele tehnologiei de fabricație ale acestora.

Practic, tehnologicitatea construcției este caracteristica complexă a fabricării piesei, subansamblului sau a autovehiculului în întregime, care asigură ca unitatea, subsistemul sau sistemul tehnologic considerat să se poată fabrica prin cele mai economice procese tehnologice, cu cheltuieli minime de forță de muncă, utilaje, materiale și energie; ea permite asimilarea rapidă în fabricație în condițiile asigurării performanțelor, eficienței și fiabilității maxime în exploatare.

Deoarece producției de autovehicule îi sunt specifice formele organizatorice de mare productivitate (producție de serie mare și de masă), importanța tehnologicității construcției acestor sisteme tehnice complexe sporește considerabil. În aceste condiții, tehnologicitatea construcției se evidențiază ca un criteriu fundamental de asigurare a unei importante economii la consumurile de materii prime și materiale, energie, forță de muncă și mijloace tehnice de producție. Se urmărește obținerea unui preț minim de fabricație și satisfacerea cerințelor de calitate, fiabilitate și mentenabilitate ale produsului realizat.

Este de remarcat obligativitatea ca în cadrul activității permanente de perfecționare a tehnologicității construcției autovehiculului să se ia în considerare caracterul producției; construcția unui produs, pe deplin tehnologică pentru producția de serie, poate fi complet netehnologică pentru producția de masă.

b) Asigurarea tehnologicității construcției autovehiculelor rutiere

Principalele modalități prin care poate fi influențată sporirea indicilor de tehnologicitate a ansamblului general și a subsistemelor componente sunt: unificarea constructivă și tehnologică; simplificarea schemei cinematice de transmitere a fluxului de putere la sistemul de propulsie al autovehiculului; reducerea greutateii produsului finit și a semifabricatelor utilizate, implicit a consumului de material și de muncă înglobate în acesta; optimizarea formei constructive a pieselor în concordanță strictă cu rolul funcțional îndeplinit, cu sistemul dinamic de solicitări precum și cu procedeele tehnologice optime.

Unificarea constructivă și tehnologică

Standardizarea este normalizarea realizată la scara unei ramuri industriale sau economii naționale și care se reflectă printr-o reglementare tehnică organizată a producției, prin specificare, tipizare și unificare, pentru a asigura calitatea produselor, economisirea de materiale și creșterea productivității muncii. Ea asigură interschimbabilitatea produselor.

Tipizarea reprezintă acțiunea de standardizare prin care, dintre mai multe produse destinate aceluiași scop, se elimină tipurile inutile, uneori depășite moral sau foarte asemănătoare, reținându-se numai cele folositoare și corespunzătoare scopului pentru a fi reproduse pe scară largă.

Unificarea constructivă a elementelor dimensionale, de precizie și calitate a suprafețelor, unificarea agregatelor și ansamblurilor de bază ale autovehiculelor, precum și unificarea materialelor utilizate asigură creșterea tehnologicității construcției. Extinderea unificării asigură reducerea simțitoare a volumului de muncă și prețului de cost prin posibilitatea utilizării unor metode de lucru în flux și a unor utilaje de mare

productivitate, chiar pentru un număr relativ redus de autovehicule. De asemenea se permite scurtarea duratei de asimilare în fabricație.

Programul de unificare constructivă și tehnologică a autovehiculelor și subsistemelor lor componente nu trebuie să limiteze posibilitățile de realizare a noi soluții constructive, cu calități tehnice și de exploatare superioare, de modernizare a schemelor cinematice uzate moral.

Căile principale de realizare a unificării constructive și tehnologice a producției de autovehicule sunt: extinderea utilizării ansamblurilor și pieselor interschimbabile, mai ales dacă acestea sunt supuse proceselor intense de uzare; utilizarea agregatelor interschimbabile sau tipizate; folosirea pe autovehiculele tipizate, care au caracteristici diferite, a motoarelor apropiate constructiv sau altor agregate.

Asigurarea concordanței dintre cerințele tehnologice și soluția constructivă

Forma constructivă a pieselor autovehiculelor precum și soluția constructivă a subansamblelor, trebuie să armonizeze cu tehnologiile de fabricație adoptate. Aceasta presupune că, la proiectare, cerințele tehnologice sunt impuse atât de particularitățile tehnologiei de obținere a semifabricatului din materiale cu caracteristici fizico-mecanice determinate, de trăsăturile specifice procedeele de prelucrare ulterioară cât și de caracteristicile determinate

Tehnologia construcției la prelucrarea mecanică. Pentru ca precizia dimensională a formei, a poziției reciproce și rugozitatea suprafețelor de lucru a pieselor auto să corespundă unor exigențe medii sau maxime, este obligatorie introducerea în ciclul de fabricație a reperelor a unor procedee de prelucrare mecanică a semifabricatelor.

Tendința actuală este de a se apropia cât mai mult forma și dimensiunile semifabricatului de dimensiunile pieselor finite, pentru a se micșora adaosurile de prelucrare mecanică. Mărirea preciziei de obținere a semifabricatelor este justificată în condițiile aplicării principiilor de organizare a producției de serie mare sau de masă.

Căile raționalizării formei constructiv-tehnologice a pieselor auto sunt completate și de măsurile de reducere a timpului efectiv de realizare a operației prin: utilizarea materialelor cu prelucrabilitate mecanică ridicată; mărirea rigidității piesei pentru a se lucra cu secțiuni mari de așchie; modificarea profilului piesei în scopul simplificării prelucrării, reducerii suprafețelor ce trebuie prelucrate, asigurării bazării stabile; micșorarea numărului de operații de prelucrare, etc.

Reducerea timpilor ajutători de prelucrare se poate realiza prin proiectarea formei constructive astfel încât să asigure: reducerea numărului de așezări ale piesei pe masa mașinii unelte; accesibilitatea sculelor și aparatelor de măsură la suprafețele supuse prelucrării și rigidizarea sculelor.

Tehnologicitatea construcției la asamblare. Soluțiile constructive adoptate trebuie să asigure utilizarea metodelor moderne de asamblare independentă în flux, fără ajustarea pieselor, agregatelor și ansamblurilor.

Dacă la proiectare se adoptă o schemă simplă de asamblare, cu cât mai puține elemente componente în lanțul de dimensiuni, soluția este tehnologică. Deci tehnologicitatea construcției agregatelor, la asamblare permite: scurtarea ciclului de asamblare; divizarea operațiilor și specializarea locurilor de muncă; reducerea volumului de muncă și scăderea nivelului de calificare cerută muncitorilor.

Asamblarea poate fi simplificată dacă în construcția pieselor de îmbinat sunt prevăzute teșituri sau zone de trecere.

Tehnologicitatea construcției la asamblare este cu atât mai bună, cu cât nivelul de interschimbabilitate a pieselor este mai înalt. Trebuie avut în vedere și caracterul producției, prin corelarea mărimii ritmului de producție cu tipul interschimbabilității acceptate. Un rol important în asigurarea tehnologicității construcției la asamblare îl are alegerea corectă a elementelor de asamblare. Se va ține seama de dimensiunile și forma constructivă a pieselor de asamblat, de tipul producției, de caracterul solicitării.

Tehnologicitatea semifabricatului. Pentru aprecierea tehnologicității construcției din punct de vedere al metodei și procedurii de obținere a semifabricatului, trebuie să se adopte semifabricatul pe baza coeficientului utilizării materialului. Proiectantul trebuie să adopte semifabricatul pe baza criteriului rolului funcțional al piesei, asigurând: concordanța deplină dintre forma constructivă a semifabricatului și procedeul de semifabricare; realizarea unui indice maxim de utilizare a materialului; eficiența economică a aplicării tehnologiei de semifabricare în corelație cu utilajul disponibil.

TEHNOLOGII DE FABRICARE A ARBORILOR COTIȚI ȘI ARBORILOR CU CAME

a) Tehnologii de fabricare a arborilor cotiți

Precizia dimensională și rugozitatea

Arborele cotit este o piesă spațială de maximă complexitate care reprezintă 25...28% din masa unui motor cu ardere internă. Toleranțele suprafeței cu precizia dimensională cea mai mare sunt ale fusurilor paliere și manetoane. Pentru motoarele de turații mari, în cazul fusurilor arborelui cotit se alege de regulă clasele 5...6 ISO, iar pentru motoarele lente se alege clasa 7 ISO. Toate abaterile de la aceste suprafețe (conicitate, circularitate) trebuie să fie mai mici de 0,75 μm ; rugozitatea suprafețelor respective $R_a = (0,1...0,4) \mu\text{m}$, deci fusurile paliere și manetoane vor fi superfinisate prin vibronetezire.

De asemenea, la arborii cotiți se impune un grad ridicat de precizie dimensională de poziție reciprocă a diferitelor părți componente.

Principalele condiții referitoare la forma fusurilor și locașurilor pentru lagăre sunt evidențiate în tabelul 3.7.

Duritatea pentru toate suprafețele fusurilor paliere și manetoane ale tuturor categoriilor de piese din această clasă se înscrie între limitele 52...62 HRC indiferent de tipul materialului, caracteristică obținută prin tratament termic de îmbunătățire. După efectuarea ultimei operații de finisare trebuie să rămână un strat călit de minim 1 mm.

b) Structura procesului tehnologic de prelucrări mecanice și de control

Obținerea semifabricatului. Față de materialul arborelui cotit se impun următoarele cerințe: mare rezistență la oboseală, posibilitatea obținerii unei durități ridicate a suprafeței fusurilor, bună prelucrabilitate, ușurința obținerii semifabricatului. Pentru a se realiza aceste cerințe, arborele cotit se execută din fonte sau oțeluri.

Ca fonte se utilizează fonte maleabile (perlitice), fonte aliate cu Cr, Ni, Mb și fonte cu grafit nodular Fgn-700-3 (Anexa 1.8). În aceste cazuri, semifabricatul se obține prin turnare, cel mai utilizat procedeu fiind turnarea în coji de bachelită.

Tab. 3.7

Abaterile permise față de geometria nominală

Organul	Abaterrea geometrică	Relația de calcul	Unitatea de măsură
Fus	Ondulații ale suprafeței de lucru	-	h [□m]
	Conicitate	$(D_1-D_2)_{\max} = 0,2 L$	Conicitatea [□m] D ₁ , D ₂ , L [mm]
	Ovalitate	$(D-d)_{\max} = 0,1 D$	Ovalitatea [□m] D,d [mm]
	Concavitate și convexitate	$(D_1-D_2)_{\max} = 0,2 L$	Concavitatea și convexitatea [□m] D ₁ , D ₂ , L [mm]
	Bătaia frontală a suprafeței axiale	$b_{f \max} = 0,6 D$	b _f [□m] D [mm]
	Deformarea arborelui cotit sprijinit liber	$f_{\max} = 0,4 D$	f _{max} [□m] D [mm]
Locaș	Poziția capacelor de lagăre	$q_{\max} = 0,012$	[□m]
	Conicitate	$(D_2-D_1)_{\max} = 0,2 L$	Conicitatea [□m] D ₁ , D ₂ , L [mm]
	Ovalitate	$(D-d)_{\max} = 0,1 D$	Ovalitatea [□m] D,d [mm]
	Coaxialitatea a două locașuri vecine	$K_{\max} 0 0,1 L$	K _{max} [□m] L [mm]

Turnarea în coji este o turnare de precizie. Prin acest procedeu se pot obține semifabricate turnate cu pereți groși de minim 3...5 mm, în clasele de precizie 6...8 ISO și cu rugozitatea suprafețelor $R_a = 12,5...25 \mu\text{m}$; greutatea semifabricatelor obținute este de 2,5...100 kg. Pentru a se evita anumite defecte, arborii mai mici se toarnă în poziție verticală.

Formele cojii sunt amestecuri de nisip cuarțos 92...95% și o rășină termoreactivă (fenol-formaldehidică), pulverulentă care policondensează la circa 250...350 °C și se întărește definitiv. În figura 3.15 este prezentat un semifabricat de arbore cotit, obținut prin turnarea în forme coji.

Dintre oțeluri se utilizează oțeluri carbon de calitate de construcție specială OLC 45X sau OLC 65X. Pentru arborii puternic solicitați se utilizează oțeluri aliate: 33 Mo Cr 11 sau 15 Si Ni Cr 20. Semifabricatul se obține prin matrițare în mai multe etape (se

execută matrișări de profilare și calibrare). Proprietățile acestor oțeluri sunt prezentate în anexa 1.1.

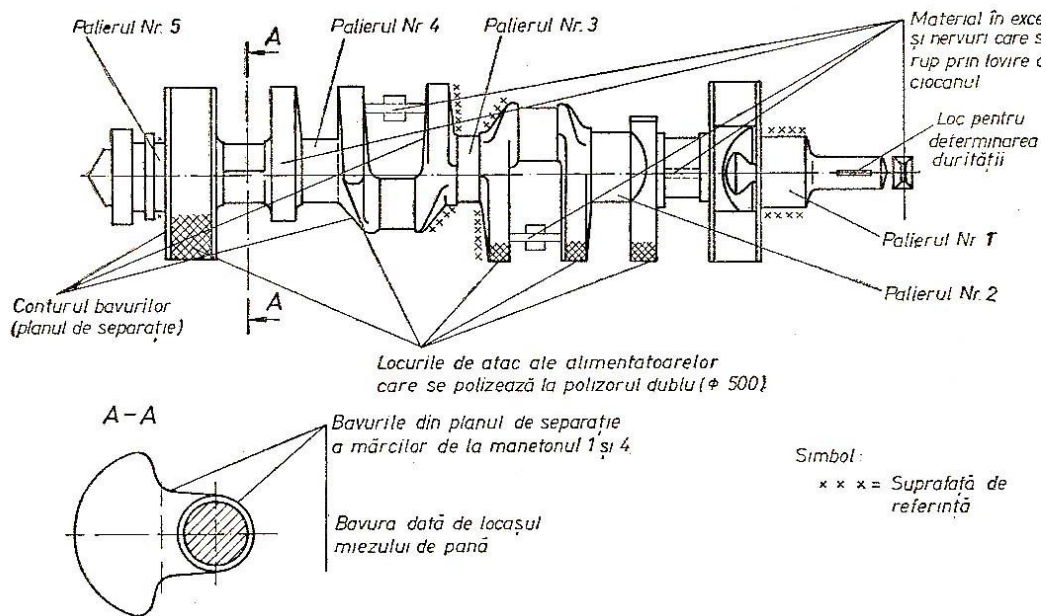


Fig. 3.15 Condiții tehnice la turnarea în forme coji a unui arbore cotit din fontă cu grafit nodular

Forjarea se efectuează în matrițe pentru asigurarea unei precizii dimensionale a semifabricatului, orientarea fibrei materialului și obținerea unei importante economii de material. Toate acestea asigură amortizarea cheltuielilor cu matrițele și presele de 2000 t, chiar la producție de serie mică.

După matrișare, semifabricatul este trecut la tratamentul termic de normalizare, redresare și în final, la sablare.

Tendențele actuale constau în modernizarea secțiilor de forjă din întreprinderile de profil auto prin: utilizarea automatelor de matrișare, care includ într-un singur ciclu de lucru încălzirea, matrișarea, tratamentul termic, sablarea și redresarea pieselor; utilizarea mașinilor orizontale de forjare cu dublu efect care micșorează deformația totală a semifabricatului și consumul de energie la matrișare; încălzirea materialului prin CIF și eliminarea țunderului; introducerea automatelor electrice de matrișare în linia tehnologică de prelucrare mecanică (figura 3.16).

Pregătirea semifabricatului pentru prelucrarea mecanică

După obținerea semifabricatului, acesta trebuie supus următorului ciclu de operații: curățirea semifabricatului, îndreptarea și tăierea lui, tratamentul termic și vopsirea de protecție împotriva coroziunii și acțiunii lichidelor de răcire-spălare, utilizate la prelucrările mecanice.

Curățirea semifabricatelor se face în două etape: curățirea brută, constând în îndepărtarea bavurilor, maselotelor și neregularităților cu utilaje mecanizate (prese,

polizoare portabile sau fixe, fierăstraie, dălți pneumatice), și curățirea fină constând din netezire și decapare. Netezirea se execută prin sablare cu jet de alicie sau electrocorindon, polizare sau prelucrare cu scule de mână. Decaparea se execută în instalații de decapare, automatizate sau mecanizate.

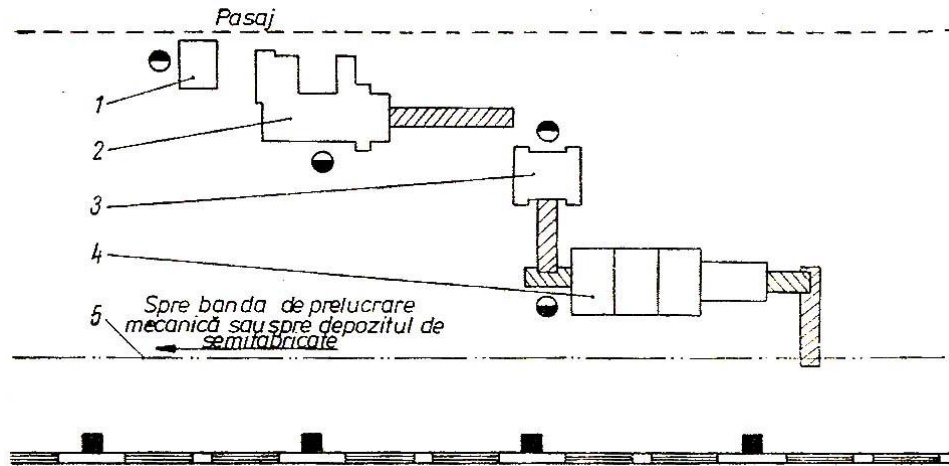


Fig. 3.16 Schema unei linii tehnologice de matrișare în flux
1-semifabricat de pornire; 2-presă mecanică cu sursă CIF; 3-presă de debavurat;
4-agregat de tratament termic; 5-transportor suspendat

Îndreptarea semifabricatelor de tip arbore, pentru prelucrarea pe mașini-unelte automate sau semiautomate, se execută cu prese excentrice cu șurub sau pe mașini de îndreptat și calibrat specializate.

Prelucrarea mecanică.

Primul grup de operații îl constituie *prelucrarea bazelor tehnologice*. Bazarea se face pe prisme, așezând fusurile paliere din capete. Se utilizează baze tehnologice unghiulare pe brațe și contragreutăți pentru a efectua bazarea arborelui cotit la prelucrarea manetoanelor. Bazele de referință pentru prelucrarea unui arbore cotit sunt prezentate în figura 3.17. Aceste baze pot fi constructive (BC_i), tehnologice (BT), de orientare (BO), auxiliare (B_a sau BTA) și de asamblare sau montaj (BA).

Pentru prelucrarea bazelor tehnologice se utilizează mașini bilaterale de frezat-centruit cu așezarea fusurilor extreme pe prisme. Rigiditatea necesară pe timpul prelucrării se asigură alegând drept bază suplimentară fusul palier din mijloc (sau fusurile paliere din mijloc pentru arborii lungi). Pentru aceasta fusul (fusurile) se strunjesc și eventual se rectifică.

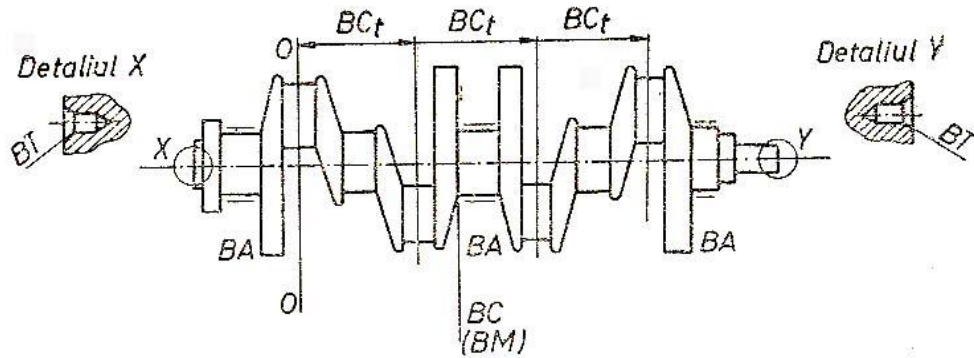


Fig. 3.17 Bazele constructive, tehnologice, auxiliare și de asamblare pentru arborii cotiți

Prelucrarea fusurilor paliere se face cu baze între vârfuri pe strunguri cu cuțite multiple cu antrenare și/sau sprijinire pe fusul palier central. Se efectuează astfel degroșarea și semifinisarea, prelucrându-se fusurile și racordările.

Prelucrarea fusului maneton se poate face cu dispozitiv de antrenare a fusului maneton sau pe mașini de strunjit speciale. În ultima variantă, pe arborii etalon sunt montate cărucioare cu o mișcare plan-paralelă coaxială. Cele două cuțite sunt unul de degroșare și unul de semifinisare.

Se poate aplica și prelucrarea prin frezare la care fusul se uzinează cu niște freze cu dantură interioară care au o mișcare planetară.

Găuriri, frezări, filetări

Găurirea canalelor de ungere se efectuează pe mașini multiax în două etape: se prelucrează întâi zona de intrare a burghiului cu o sculă și apoi gaura propriu-zisă. În continuare se execută alezajul de la capătul dinspre volant, găurile filetate pentru fixarea volantului, frezarea canalului de pană cu freză disc și canelurile pentru montarea dispozitivului de amortizare a oscilațiilor.

Finisarea se execută în două etape: degroșare și finisarea propriu-zisă executată prin rectificare de finisare a fusurilor paliere prin prindere între vârfuri, iar a fusurilor manetoane prin folosirea dispozitivului de aducere a axului manetoanelor pe axa mașinii de rectificat. Rectificarea se face cu un dispozitiv de control automat al cotei de rectificat. Pietrele de rectificat au o mișcare alternativ-laterală, pentru mărirea calității rectificării.

Tratamentul termic, în cazul în care arborele este confecționat din oțel de cementare, nitrurare sau de îmbunătățire, caz în care tratamentul termic constă în călire C.I.F. (calire cu înaltă frecvență) la 10 kHz într-un ciclu de 10...15 s încălzire, 10...15 s răcire cu aer, 10...15 s răcire în apă. Se mai pot efectua durificări suplimentare ale unor suprafețe din zonele de racordare ale fusului, prin roluire la aprox. 25000 N. Prin această operație se mărește rezistența la oboseală cu aprox. 40% la arborii cotiți din oțel și cu până la 90% la arborii cotiți din fontă.

Echilibrarea arborilor cotiți se face pe mașini de echilibrat cu comandă manuală sau mecanică. Conform normelor ISO, arborii cotiți pentru motoare cu ardere internă, trebuie să satisfacă condițiile tehnice de calitate privind echilibrarea dinamică corespunzător clasei de precizie a echilibrării:

G 16 pentru $e_{\omega} = 16 \text{ mm.rad/s}$;

G 6,3 pentru $e_{\omega} = 6,3 \text{ mm.rad/s}$;

G 2,5 pentru $e_{\omega} = 2,5 \text{ mm.rad/s}$.

Pentru arborii cotiți ai motoarelor rapide, care au turații de 5000...7500 rot/min, se impune norma ISO G 6,3;

Pentru arborii cotiți ai motoarelor de performanță, care au turații de 7500...8000 rot/min, se impune norma ISO G 2,5;

Pentru arborii cotiți ai motoarelor lente, care au turații sub 2000 rot/min, se impune norma ISO G 16.

Momentul de dezechilibrare dinamică al arborelui cotit în faza de semifabricat este de 20...30 de ori mai mare decât cel al piesei finite.

Superfinisarea fusurilor se realizează prin: vibronetezire cu benzi abrazive sau cu paste abrazive și curele din piele. În cazul vibronetezirii, pe suprafața fusului sunt aplicate segmente abrazive cu granulație foarte fină, în prezența unui mediu foarte fluid, fiind mișcate cu frecvență foarte mare pe suprafața fusului, care are o ușoară mișcare de avans.

Operațiuni de control. Controlul fisurilor se face cu ultrasunete, care constă din aplicarea pastilei de emisie și celei de recepție pe direcții diametral-opuse, urmată de citirea pe un ecran a distribuției în adâncime a defectului, după control realizându-se demagnetizarea arborelui cotit.

Controlul dimensional se face prin mijloace de control speciale sau cu dispozitive complexe.

b) Tehnologii de fabricare a arborilor cu came

Precizia dimensională și rugozitatea

La prelucrarea arborelui cu came se impun cerințe riguroase la execuția camelor, fusurilor, calitatea suprafețelor prelucrate și duritatea acestora.

Principalele condiții tehnice referitoare la arborele cu came sunt evidențiate în tabelul 3.8.

Condiții tehnice pentru arborele cu came

Tab.3.8

La execuția camelor	Se admit abateri de: 0,04...0,05 mm pe porțiunea cilindrică; 0,02...0,05 mm pe profil; 0,1...0,12 mm pe înălțime. Abaterea referitor la poziția unghiulară 1...2°.
La execuția fusurilor	Se admit abateri de maxim 0,01...0,02 mm la conicitate și ovalitate. Abaterea de la coaxialitatea fusurilor să nu depășească 0,04...0,08 mm. Excentricitatea fusurilor intermediare în raport cu cele extreme se limitează la 0,015...0,04 mm.
Calitatea și duritatea suprafețelor	Pentru came și fusurile de sprijin se prevede rugozitatea $R_a = 0,4...0,8 \mu\text{m}$, iar pentru suprafețele pe care se presează roți de acționare $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Pe suprafețele de lucru ale camelor și fusurilor se cere o duritate de 54...62 HRC

Duritatea de 52...62 HRC poate fi obținută prin tratament termic de îmbunătățire. După efectuarea ultimei operații de finisare trebuie să rămână un strat călit de minim 1 mm.

c) Structura procesului tehnologic de prelucrări mecanice și de control

Obținerea semifabricatului. În concordanță cu condițiile funcționale, materialul trebuie să asigure în urma prelucrării și tratamentului termic aplicat rigiditate suficientă și o înaltă rezistență la uzură a camelor și fusurilor de sprijin. Pentru a se realiza aceste cerințe, arborele cotit se execută din fonte speciale sau oțeluri.

Ca fonte se utilizează: fontă cenușie aliată turnată în cochilie sau în coji de bachelită; fontă specială sau fontă cu grafit nodular.

La turnare, prin includerea în forme a unor răcitoare metalice în zona camelor și a fusurilor, fonta se răcește mai repede formând o crustă albă cu mare duritate.

Turnarea arborelui cu came prezintă avantajul că semifabricatul se poate obține la o formă apropiată de piesa finită, reducându-se consumul de material și durata execuției prin eliminarea prelucrării porțiunilor dintre came și posibilitatea prelucrării direct, prin rectificarea camelor și fusurilor cu o duritate superficială ridicată.

Procedeul prezintă dezavantajul unui procent ridicat de sufluri, rupturi și deformații.

Dintre oțeluri se utilizează oțeluri carbon de calitate de tipul C 10 sau C 15 sau oțeluri de îmbunătățire de tipul C45X, C55. Pentru arborii puternic solicitați se utilizează oțeluri aliate: 15C08, 18MC10, 45C 10 sau 31M14. Semifabricatul se obține prin matrițare.

Forjarea se efectuează în matrițe închise cu locașuri multiple, în următoarea succesiune a fazelor principale: debitare, forjare în matrițe închise (în două etape: matrițarea prealabilă și matrițarea finală), debavurare, tratament termic de normalizare; curățire prin sablare sau decapare; îndreptarea la rece (figura 3.18).

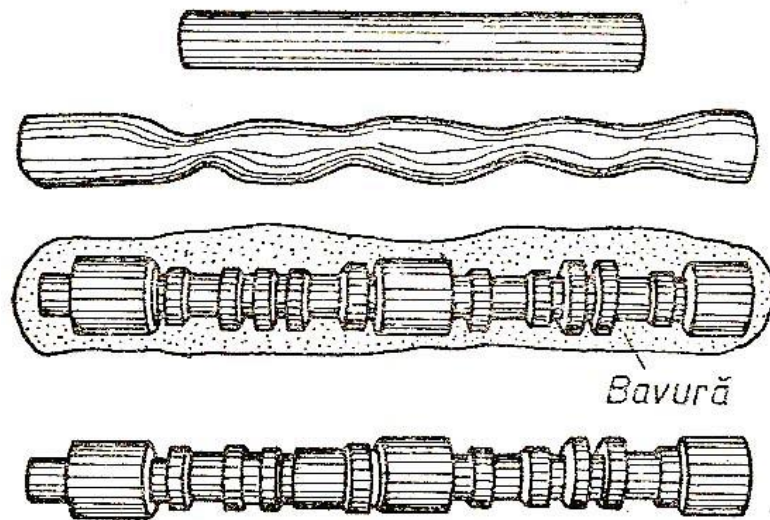


Fig. 3.18 Succesiunea principalelor operații la matrițarea arborelui cu came

Precizia semifabricatelor forjate trebuie să se încadreze în clasele 12...13; adaosurile de prelucrare se recomandă a fi de max. 1,5...2,6 mm pe rază.

Pregătirea semifabricatului pentru prelucrarea mecanică constă din aceleași operațiuni ca și la arborele cotit al motorului.

Prelucrarea mecanică.

La executarea arborelui cu came, indiferent de varianta constructivă, trebuie prelucrate camele, fusurile de sprijin, precum și unele elemente secundare (roata dințată, excentric, etc.). Deoarece raportul dintre lungimea și diametrul arborelui este mare, rigiditatea lui este mică, din care cauză la prelucrare trebuie să fie sprijinit suplimentar.

Pentru a evita torsionarea arborelui pe timpul prelucrării, este recomandat ca antrenarea să se facă central sau bilateral. Deoarece în cursul prelucrării rezultă deformații inevitabile, se prevăd operații de îndreptare pe prese.

Camele se prelucrează prin copiere după șablon sau arbori cu came etalon pe mașini specializate, executându-se operațiile de strunjire, rectificare și superfinisare. În cazul unor semifabricate precise, prelucrarea camelor se face direct prin rectificare.

Alegerea și prelucrarea bazelor de așezare. Arborele cu came se prelucrează cu prindere între vârfuri și sprijinire radială suplimentară în linete deschise. Pentru execuția găurilor de centrare se utilizează mașini bilaterale de frezat și centruit specializate.

După executarea găurilor de centrare se strunjesc și eventual se rectifică fusurile în vederea așezării în linete. Aceste operațiuni se execută cu așezarea arborilor între vârfuri și se combină cu prelucrarea altor suprafețe.

Strunjirea suprafețelor cilindrice, suprafețelor frontale și a camelor. Strunjirea fusurilor, a spațiilor dintre came, a fețelor frontale ale fusurilor și ale camelor se execută pe strunguri semiautomate cu două sănii, cu multe cuțite. Arborele se prinde între vârfuri și se așează în linete pe fusurile prelucrate. Deoarece strunjirea simultană a acestor suprafețe ar putea provoca deformații ale arborelui cu came, se separă în operații sau faze distincte. În acest fel se rezolvă și problema montării unui număr mare de cuțite la distanțe reduse.

Camele se strunjesc în două treceri: de degroșare și finisare. Strunjirea camelor (și eventual a excentricului pompei de benzină) se execută simultan pe strunguri semiautomate de copiat, prin două metode, determinate de înălțimea camei: prin copiere, cu poziția unghiulară a cuțitului constantă sau prin copiere cu portcuțite oscilante, când înălțimea camei nu depășește 6 mm (figura 3.19).

În primul caz, unghiurile de așezare ale cuțitelor trebuie să fie foarte mari (40...50°) pentru a se evita dispariția unghiului de așezare α .

În al doilea caz, se aplică schema de funcționare a strungului semiautomat prezentată în figura 3.19. Pentru orientarea unghiulară a arborelui cu came în raport cu cama etalon servește canalul de pană de pe fusul pe care se fixează roata de antrenare, sau un orificiu ce se execută pe o suprafață frontală în acest scop.

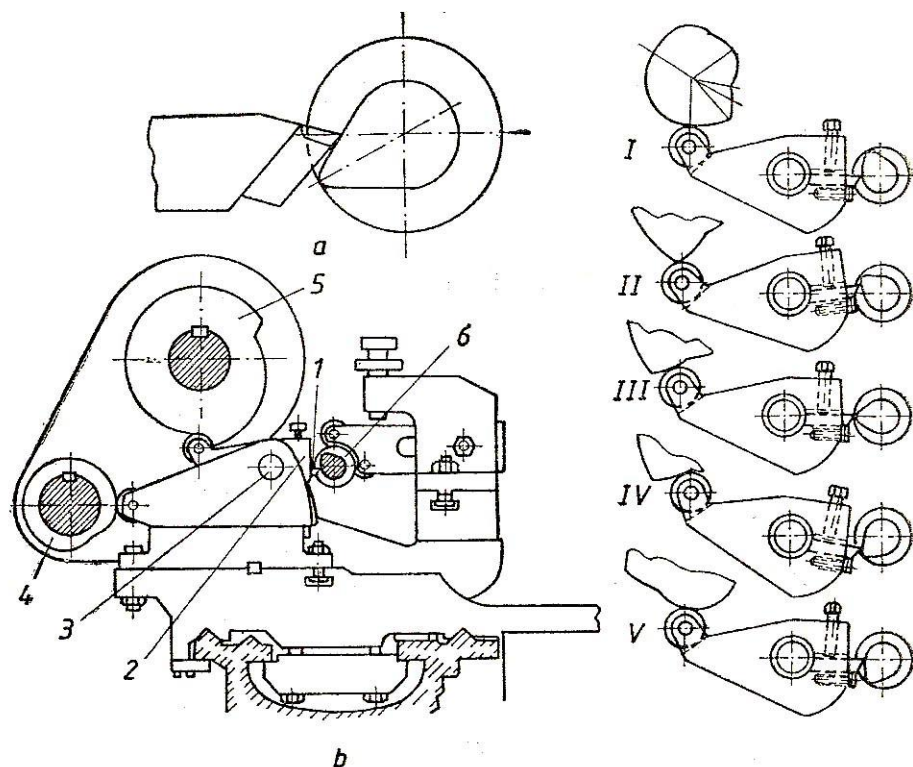


Fig. 3.19 Schema de principiu privind strunjirea camelor a-cuțite cu poziție unghiulară constantă; b-portcuțite oscilante; I..V-diferite poziții ale cuțitului pe timpul strunjirii

Rectificarea. Fusurile arborelui cu came se rectifică pe mașini de rectificat rotund cu prindere între vârfuri, executându-se de regulă două treceri: de semifinisare și finisare.

Camele se rectifică prin copiere după șabloane, pe mașini de rectificat semiautomate specializate. Camele se rectifică succesiv, după un ciclu automat care asigură mișcările necesare și avansurile corespunzătoare. După tratamentul termic are loc rectificarea de finisare.

Pentru a se asigura o rugozitate bună a suprafețelor, prelucrarea se face cu avans radial și cu mișcare oscilantă axială a discului abraziv.

Pentru a se asigura precizia profilului camelor la rectificare, arborele se rigidizează, prin fixarea la capete în mandrine speciale cu bușe elastice sau între vârfuri și sprijinirea fusurilor prelucrate pe linete.

Camele și fusurile arborelui se mai pot lustrui sau superfinisa. Lustruirea se face cu bandă de hârtie sau de pânză la mașini speciale. Superfinisarea se poate executa cu ajutorul unui dispozitiv cu role sau cu bile.

Controlul arborelui cu came. Controlul constă în special în verificarea preciziei de execuție a camelor. Se verifică înălțimea lor, dispunerea unghiulară și conicitatea cu un dispozitiv pe bază de fantă de lumină. Periodic se execută verificarea profilului camei pe divizorul optic sau comparativ cu came etalon.

La controlul final se mai verifică: precizia dimensională a formei și excentricității fusurilor, abaterea de la poziția canalului de pană, rugozitatea și duritatea camelor și fusurilor. Vizual se verifică suprafețele prelucrate, lipsa fisurilor, a porilor, precum și eventualele regiuni oxidate, în mod deosebit pe came.

Concluzii

Fiabilitatea a devenit în ultimul timp un indicator de performanță pentru autovehicul, alături de performanțele dinamice, de consum, de poluare sau de securitate, datorită faptului că ea este una din componentele importante ale calității, cu efecte considerabile asupra costului global de posesie.

Datorită faptului că un produs nu poate fi realizat totalmente fiabil, a apărut necesitatea de a considera împreună fiabilitatea și mentenabilitatea ca parametri ai produsului care urmează a fi proiectat și realizat.

De asemenea trebuie stabilită o legătură între fiabilitate și defecțiuni. Defecțiunea este o noțiune foarte importantă pentru fiabilitate, deoarece numai pe baza ei se pot calcula indicatorii de fiabilitate. Exprimarea probabilistică a fiabilității implică faptul că momentul apariției unei defecțiuni nu poate fi stabilit cu certitudine, ci numai sub forma unei probabilități careia i se poate asocia un nivel sau un interval de încredere.

Pentru producătorii de autovehicule, fiabilitatea a devenit un criteriu de performanță, o condiție de supraviețuire pe o piață în care se desfășoară o luptă acerbă. Pentru evaluarea criteriilor de fiabilitate în domeniul auto, există o serie de indicatori specifici cu ajutorul cărora se poate urmări îndeplinirea performanțelor planificate de către automobilele fabricate și pe această bază se pot lua măsuri de remediere a situațiilor defavorizante.

Prin alegerea judicioasă a materialelor utilizate în construcția automobilelor și a componentelor acestora precum și prin alegerea tehnologiilor adecvate se pot îmbunătăți calitățile constructive și funcționale ale autovehiculelor.

**Cap. 4 ROLUL TRATAMENTELOR TERMICE ȘI
TERMOCHIMICE ÎN CREȘTEREA FIABILITĂȚII UNOR
REPERE ALE AUTOTURISMELOR**

4.1 GENERALITĂȚI

4.1.1 Parametrii de bază și scopul tratamentelor termice

Pentru obținerea unor proprietăți superioare de rezistență se caută aducerea aliajelor în stări în afara echilibrului. Modificările de structură se obțin prin operații de încălzire și răcire, după un anumit ciclu termic, funcție de natura constituențului structural ce urmează a se obține.

Altfel spus, tratamentul termic este un proces tehnologic complex prin care se urmărește obținerea anumitor constituenți structurali care induc proprietățile de exploatare dorite.

Deși diagramele de echilibru sunt valabile numai pentru condiții de echilibru, ele sunt utile deoarece precizează dacă un anumit aliaj poate sau nu să fie tratat termic și ce anume tratamente termice pot fi aplicate unui anumit aliaj metalic. Cel mai simplu tratament termic constă dintr-o succesiune de operații tehnologice distincte, așa cum se evidențiază în figura 4.1.

Aceste operații sunt: încălzirea, menținerea și răcirea și constituie operațiile de bază ale ciclului elementar de tratament termic. Fiecare operație este caracterizată de parametrii tehnologici care determină rezultatul tratamentului termic: temperatura de încălzire T_i , durata de încălzire t_i , viteza de încălzire v_i , natura mediului de încălzire (în cazul încălzirii), durata de menținere t_m și natura mediului (în cazul menținerii), respectiv durata de răcire t_r , viteza de răcire v_r și mediul de răcire (în cazul răcirii).

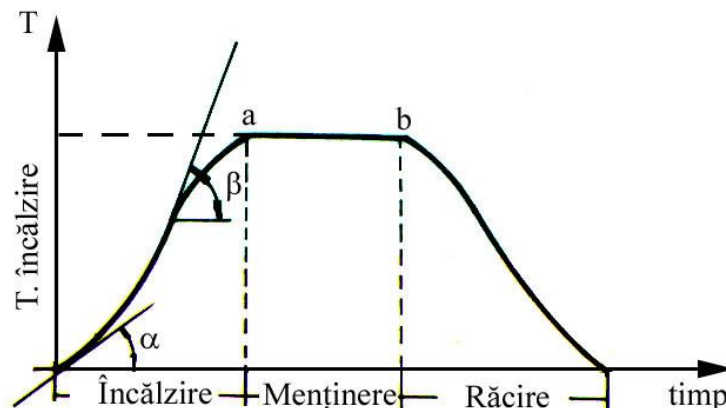


Fig.4.1 Ciclograma tratamentului termic

Complexitatea solicitărilor la care sunt supuse materialele în timpul exploatării, impune ca acestea să aibă structuri care să confere proprietăți mecanice corespunzătoare și o fiabilitate mare.

Rezolvarea acestui ansamblu de probleme necesită aplicarea unor tratamente termice specifice. Tratatamentul termic primar se aplică în scopul unor structuri favorabile pentru asigurarea unei mai bune prelucrabilități, tratamentelor termice secundare, iar tratamentul termic secundar se aplică în scopul realizării de proprietăți mecanice și fizice cerute de utilizare. Tipul tratamentului termic și natura materialului determină alegerea T_i , t_m și v_r .

La *tratamentele termice primare*, prin care se urmărește omogenizarea chimică și structurală, viteza de încălzire are valori mici, în scopul realizării, după caz a proceselor de difuzie sau a reducerii tensiunilor remanente. La *tratamentele termice secundare*, viteza de încălzire este funcție de proprietățile mecanice și fizice ce urmează a fi obținute. Temperatura de încălzire se alege după tipul tratamentului termic și natura materialului, cu scopul de a se asigura punerea în soluție a componentelor sau de a activa procesele de difuzie. La fiecare tip de tratament termic, temperatura de încălzire trebuie să asigure obținerea unor structuri favorabile, ținând cont de compoziția chimică a materialului.

Parametrii de bază ai tratamentului termic sunt: temperatura, viteza și durata de încălzire, durata de menținere, durata de răcire, viteza de răcire și natura mediului de încălzire.

4.1.2 Clasificarea tratamentelor termice

Datorită influenței foarte mari a tratamentelor termice asupra proprietăților aliajelor, în practica industrială se utilizează un număr foarte mare de tratamente termice. Pentru a se facilita orientarea în multitudinea tratamentelor termice, se impune o clasificare a lor după anumite criterii: natura constituenților structurali, modul de încălzire, modul de răcire, etc. (figura 4.2).

Tratamentele termice cu încălzire volumică sunt recoaceri, căliri, reveniri, ș.a. în regim izoterm sau anizoterm;

Tratamente termice cu încălziri de suprafață, sunt tratamentele prin care se realizează modificarea structurii pe o anumită adâncime prestabilită (căliri superficiale, durificări structurale ș.a.); *Tratamentele termochimice cu încălziri* de obicei volumice, dar în unele cazuri și de suprafață, folosesc un mediu convenabil ales pentru a modifica compoziția chimică și microstructura straturilor superficiale pe adâncimi prestabilite (carburări, nitrurări, sulfizări, borizări, cromizări, ș.a.);

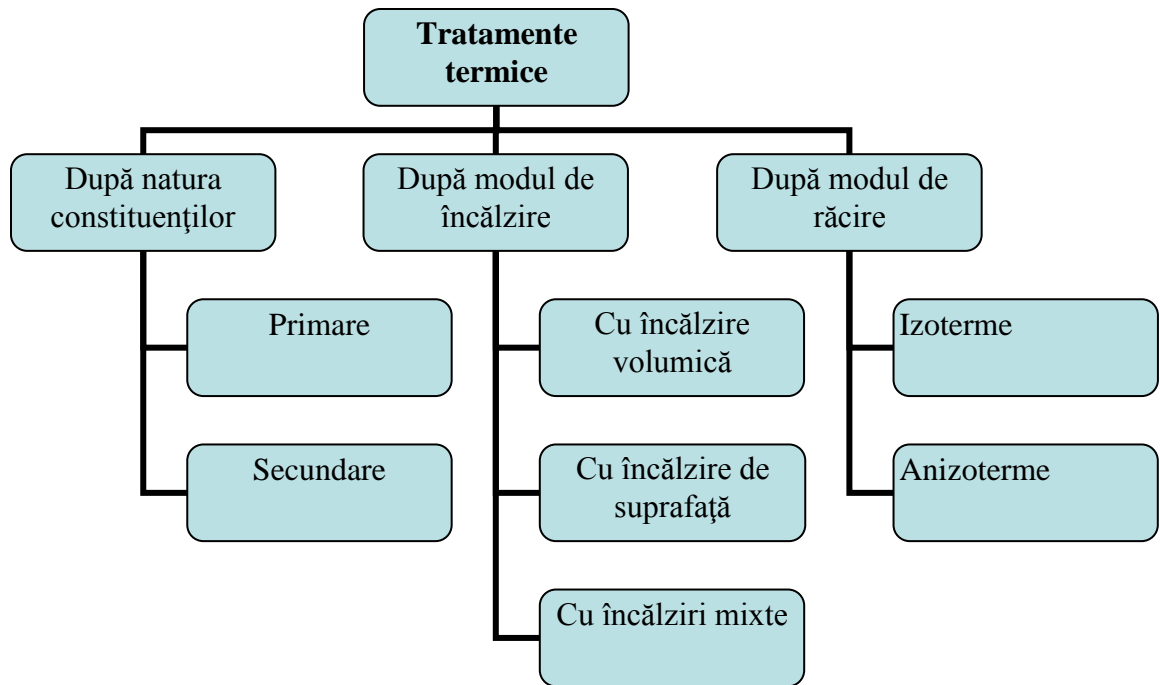


Fig.4.2 Clasificarea tratamentelor termice

4.1.3 Transformările care au loc în timpul încălzirii oțelurilor

În general, la tratamentele termice faza de încălzire urmărește formarea structurii austenitice. Practic, această transformare se declanșează la depășirea punctului critic A_1 (727°C) și se accelerează continuu, odată cu creșterea temperaturii. Transformarea are loc după relația:



Transformarea la încălzire a perlitei în austenită este determinată de variațiile energiei libere a austenitei și perlitei, în funcție de temperatură. După cum se observă din figura 4.3 la temperaturi inferioare punctului critic A_{r1} perlita posedă energie liberă mai mica decât a austenitei, în timp ce la temperaturi superioare acestui punct austenita are energie liberă mai mica.

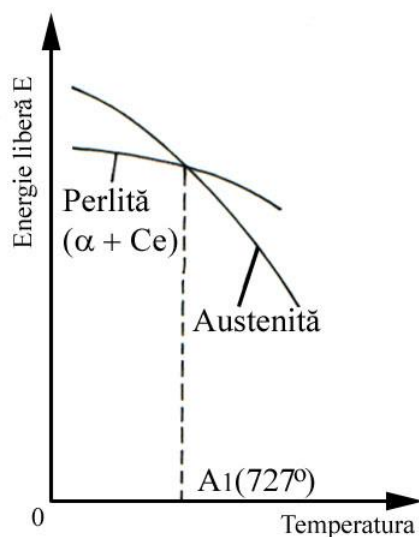


Fig. 4.3 Variația energiei libere a perlitului și austenitei

Transformarea perlitului în austenită necesită o supraîncălzire astfel încât să apară o diferență între energiile libere ale perlitului și austenitei.

Procesul de transformare începe prin apariția de germeni de reclistare austenitici la temperatura critică A_1 . Germinarea cristalelor de austenită se produce de preferință la marginile de separație a particulelor de cementită și ferită care constituie perlita (figura 4.4). Numărul acestor germeni este mai mare dacă conținutul de carbon este mai ridicat, dacă particulele de cementită sunt mai dispersate în masa de ferită sau dacă perlita este lamelară cu lamele fine. Dimensiunile inițiale ale acestor grăunți sunt reduse: 500...1000 μm^2 .

Continuarea procesului de încălzire duce la creșterea grăunților de austenită fie prin contopirea grăunților mici în grăunți mari, fie prin migrarea limitei grăunților. Procesul de contopire are loc la temperaturi cuprinse între 900...1000°C în timp ce migrarea are loc la temperaturi peste 1000°C asigurând o relativă uniformitate dimensională a grăunților.

Creșterea grăunțului de austenită la încălzire prezintă o mare importanță practică deoarece determină granulația obținută după tratamentul termic.

Astfel, la oțelurile cu grăunte ereditar mare se pot obține structuri fine dacă încălzirea se face la temperaturi apropiate de temperatura critică A_1 în timp ce la oțelurile cu grăunte ereditar mic se pot obține structuri fine în intervalul de temperatură 900...1000°C.

Cinetica transformării perlitului în austenită poate fi studiată fie la încălziri izoterme, fie la încălziri continue, cu viteze diferite.

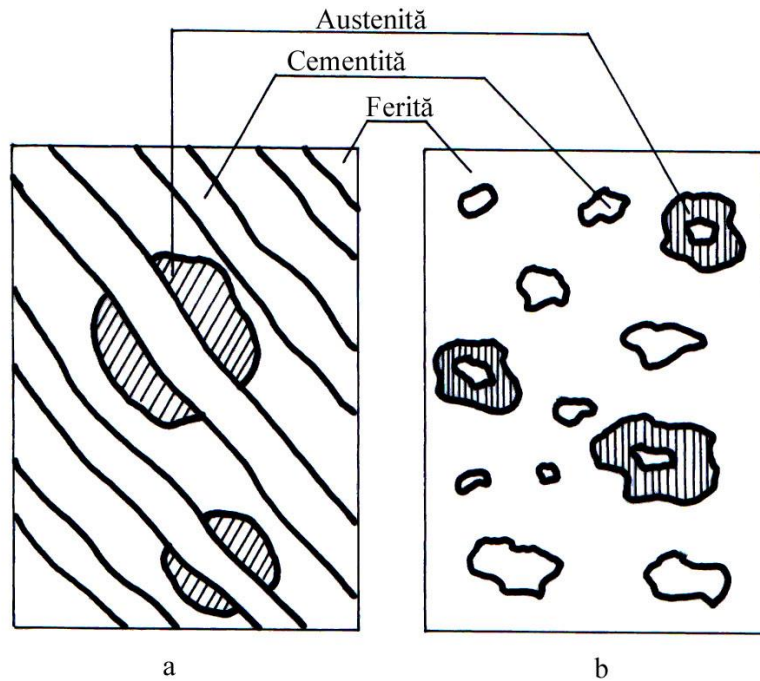


Fig. 4.4 Schema trecerii succesive a amestecului ferită-cementită în austenită la ridicarea temperaturii

a) În cazul transformării izoterme, pe baza curbelor cinetice care prezintă cantitatea de austenită formată în funcție de timp se poate trasa diagrama transformării izoterme a perlitului în austenită ($P \rightarrow A$), așa cum este prezentată în figura 4.5.

Din studiul acestei diagrame rezultă următoarele observații:

- durata transformării este cu atât mai mică, cu cât temperatura sistemului este mai înaltă, deoarece viteza de difuziune și posibilitatea de formare a germenilor de austenită sunt mai mari;

- temperatura sfârșitului transformării se deplasează spre valori cu atât mai înalte cu cât crește viteza de încălzire a sistemului.

Dizolvarea particulelor de cementită fiind un proces posibil numai prin difuziune, după terminarea acesteia, austenita rezultată nu este omogenă chimic, concentrația în carbon fiind mai mare în regiunile în care au existat anterior particule de cementită. Etapa următoare o constituie omogenizarea compoziției chimice a austenitei, proces a cărui durată este cu atât mai mică cu cât crește temperatura de încălzire (figura 4.5).

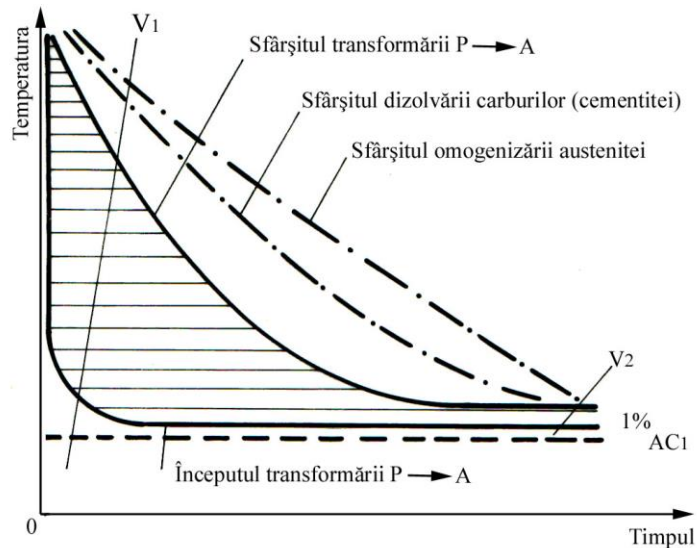


Fig.4.5 Diagrama transformării izoterme a perlitului în austenită

b) În cazul transformării prin încălzire continuă, condițiile termodinamice și mecanismul transformării sunt similare celor de la transformarea izotermă.

În figura 4.6 sunt prezentate curbele cinetice la încălzirea cu viteze diferite. Din figură se observă că începutul transformării are loc la aceeași temperatură, indiferent de viteza de încălzire, dar sfârșitul transformării se deplasează spre temperaturi tot mai înalte, pe măsura creșterii vitezei de încălzire.

S-a constatat experimental că pe măsura creșterii conținutului de carbon, pentru o aceeași temperatură de încălzire, transformarea perlitului în austenită decurge mai rapid datorită creșterii cantității particulelor de cementită, fapt care mărește suprafața de separare interfazică între ferită și cementita perlitului.

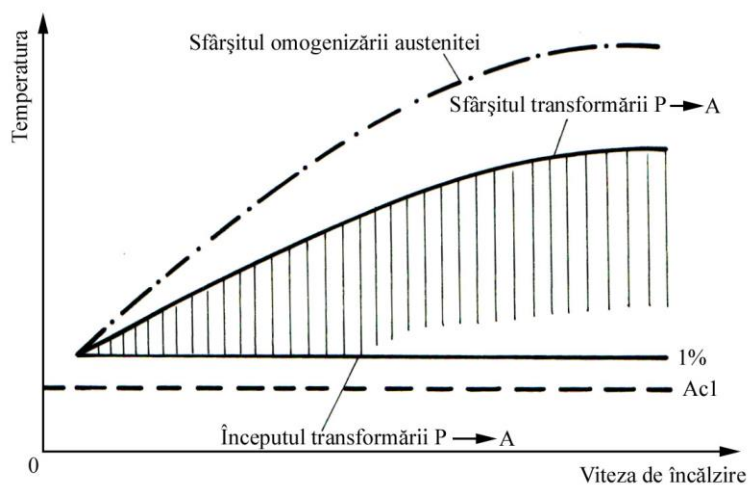


Fig. 4.6 Diagrama transformării perlitului în austenită la încălzire continuă, în oțeluri cu diferite conținuturi de carbon

În caz de supraîncălzire (depășire a temperaturii de încălzire pentru transformarea austenitică) există posibilitatea apariției structurii Widmannstatten. Aceasta apare la oțelurile hipoeutectoide sau hipereutectoide, în timpul răcirii de la temperatura de încălzire, când ferita, respectiv cementita se separă sub formă de lamele sau ace lungi de culoare deschisă care străpung grăunții de perlită. Defectul de supraîncălzire apare mai ales la oțelurile cu grăunte ereditar mare, la care creșterea grăuntelui de austenită începe imediat peste punctul critic A_1 . La oțelurile cu grăunte ereditar mic, supraîncălzirea apare numai peste 1000°C . Acest defect poate fi corectat printr-un tratament ulterior de normalizare.

Viteza de încălzire are o influență foarte mare asupra transformărilor structurale care au loc. Astfel, la viteze mari de încălzire:

- crește temperatura la care se încheie procesul de formare a austenitei;
- austenita rezultată nu este omogenă din punctul de vedere al conținutului de carbon și al elementelor de aliere. Neomogenitatea se datorește desfășurării incomplete a procesului de difuzie ;
- are loc o creștere a vitezei de germinare, obținându-se austenita cu granulație foarte fină;
- austenita obținută este mai puțin stabilă tocmai datorită neomogenității chimice și granulației fine.

Pe timpul încălzirii pieselor în vederea executării tratamentului termic, au loc o serie de reacții chimice între suprafața metalului încălzit și mediul de încălzire, dintre care cele mai dăunătoare sunt reacțiile de oxidare și decarburare.

Oxidarea este rezultatul acțiunii oxigenului asupra stratului superficial de metal și formarea oxizilor:



Decarburarea constă în diminuarea, de regula, prin arderea carbonului din stratul superficial și reducerea din aceasta cauză, a durității și rezistenței acestui strat, care devine feritic:



Pentru combaterea influenței gazelor din mediul de lucru s-au adoptat diferite procedee de lucru: folosirea atmosferelor neutre sau controlate, folosirea stratului fluidizant sau încălzirea în băi de săruri topite, ultimul procedeu fiind tot mai rar folosit în prezent.

4.1.4 Transformările care au loc pe timpul răcirii

Pe timpul răcirii, deoarece austenita are energie liberă mai mare decât perlita, are loc transformarea austenitei în eutectoid după relația:



Fazele rezultate în urma descompunerii având conținuturi de carbon diferite, procesul descompunerii va fi însoțit de difuzie și în consecință, influențat de temperatură și timp. Procesul are loc prin transformarea rețelei fierului γ în fier α și redistribuția prin difuzie a concentrației de carbon între faze, fenomen care limitează viteza de transformare.

La suprarăcirii mari există posibilitatea ca să nu se execute difuzia atomilor de carbon, aceștia fiind reținuți în rețeaua fierului, rezultând transformarea martensitică.

Coeficientul de difuzie scade și la creșterea gradului de subrăcire (micșorarea temperaturii efective de transformare). În această situație viteza de transformare are un maxim care pentru oțelurile carbon corespunde unei temperaturi de aproximativ 550°C (subrăcire de aproximativ 150°C), așa cum rezultă din figura 4.7.

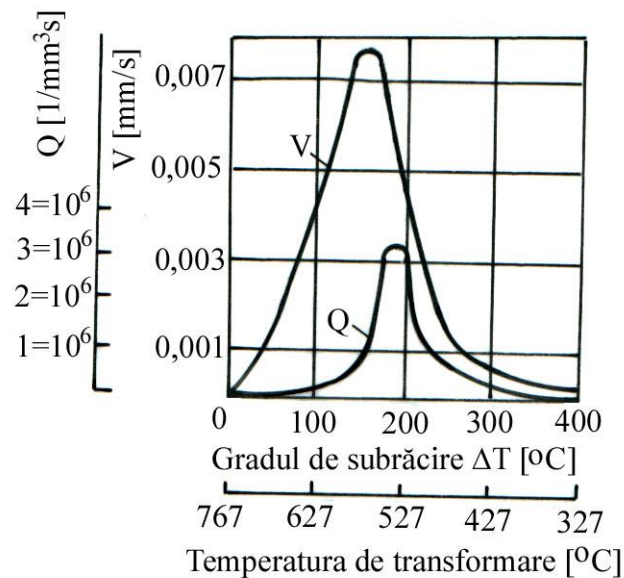


Figura 4.7 Viteza de descompunere a austenitei în funcție de gradul de subrăcire

Transformarea eutectoidă a austenitei poate să se producă fie la o răcire continuă, fie izoterm, prin subrăcirea austenitei la o temperatură $T < A_1$ și menținerea ei la această temperatură. La oțelurile hipoeutectoide transformarea este precedată de separarea feritei, iar la cele hipereutectoide de separare cimentitei secundare.

Indiferent de compoziția inițială a austenitei, transformarea perlitică începe numai când austenita a ajuns la compoziția eutectoidă ($0,77\%C$).

Transformarea austenitei în perlită este o transformare cu difuzie prin germinare și creștere, transformarea producându-se pe cale discontinuă. Germinarea este etrogenă și se produce atât la limita cât și în interiorul grăunților.

a) În cazul răcirii continue rezultatul transformării depinde puternic de viteza de răcire. Viteza de răcire mare conduce la mărirea gradului de subrăcire cu consecințele arătate mai sus (figura 4.8)

De asemenea, viteza de răcire mare determină creșterea gradului de dispersie a perlitei, obținându-se structuri perlitice cu lamele din ce în ce mai fine (perlita sorbitică de călire) iar viteza de răcire foarte mare conduce la obținerea perlitei cu distribuție în rozete (perlita nodulară, perlita troostitică).

Deci perlita, sorbita și troostita sunt structuri de aceeași natură, perlitică, care se deosebesc numai prin gradul de dispersie al feritei și cementitei, grad de dispersie care influențează și proprietățile fizico-mecanice ale structurilor respective. Cu cât gradul de dispersie este mai înalt, cu atât amestecul mecanic ferito-cementita are duritatea mai mare.

La viteze de răcire foarte mari, datorită coborârii punctului A_1 la 500...600°C, numai o parte din austenită se transformă în perlită, restul transformându-se la temperaturi mai joase fără difuzie a carbonului sau a fierului (transformarea martensitică).

Martensita este o soluție suprasaturată de carbon în fier α , care conține tot carbonul rezultat din austenită. Temperatura la care începe transformarea martensitică A_r' (figura 4.8) nu depinde de viteza de răcire. Viteza de răcire la care începe transformarea martensitică se numește viteza critică inferioară v_{cr} iar viteza la care nu se mai produce transformarea perlitică, austenita transformându-se numai pe cale martensitică se numește viteza critică superioară v_{cs} (viteza critică de călire).

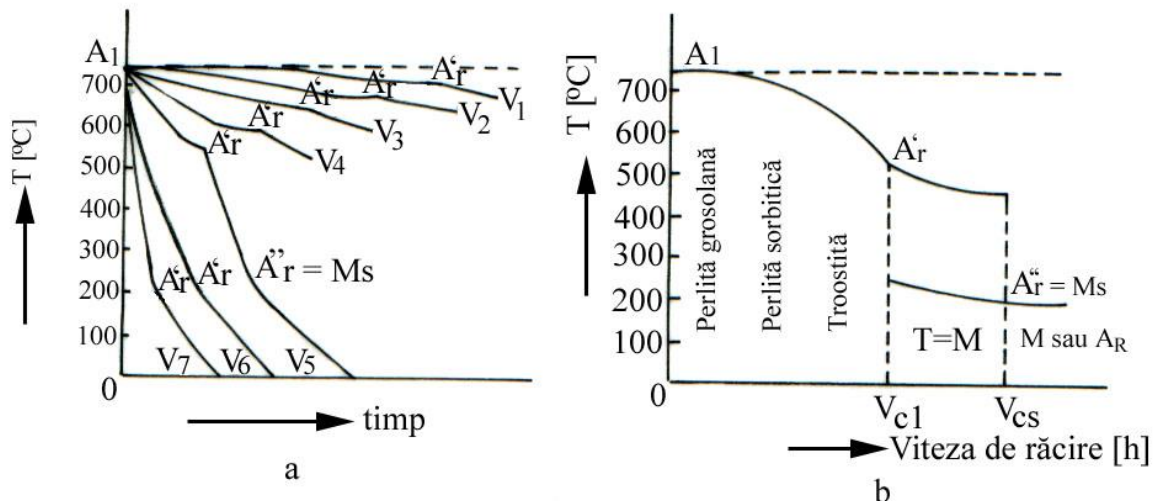


Fig. 4.8 Influența vitezei de răcire asupra punctelor critice

b) În cazul transformării izoterme, admitând că viteza de germinare v_g și capacitatea de creștere v_c sunt constante, procentul de austenită transformată în perlită este:

$$A_{\text{transf}} = 1 - e^{-\tau \cdot v_g \cdot v_c / 3} \quad (4.6)$$

unde τ reprezintă timpul.

Pentru valori bine determinate ale lui v_g și v_c se obține curba de transformare a austenitei în perlită (figura 4.9).

Determinând o serie de curbe de transformare izotermă a austenitei pentru diferite temperaturi de transformare se poate construi diagrama de transformare a austenitei subracită, diagrama TTT (timp, temperatură, transformare) – figura 4.10.

Din această figură se observă o analogie între efectul subrăcirii în cazul transformării izoterme și vitezei de răcire în cazul transformării cu răcire continuă în ceea ce privește constituienții obținuți (perlită, sorbită, troostită, martensită).

Creșterea stabilității austenitei la suprarăcirii mari sub valoarea maximului cinetic se explică prin reducerea vitezei de formare și de creșterea fazei noi, ca urmare a micșorării difuziei. La suprarăcirii foarte mari sub temperatura punctului M_s difuzia nu mai are loc și austenita se transformă în martensită.

Vitezele cu care se desfășoară procesele de transformare din diferite intervale de temperatură variază în limite largi în funcție de o serie de factori: compoziție chimică, granulație și gradul de omogenitate a austenitei, temperatura de austenitizare, prezența incluziunilor nemetalice, etc..

Ca urmare a influenței acestor factori există mai multe variante de curbe TTT încadrate în câteva grupe tipice. Astfel, pentru oțelurile carbon diagramele sunt alcătuite dintr-o singură familie de curbe care prezintă un singur maxim cinetic. Influența carbonului se manifestă prin deplasarea spre dreapta a curbelor de transformare, precum și de separarea feritei (oțeluri hipoeutectoide) respectiv cementitei (oțeluri hipereutectoide).

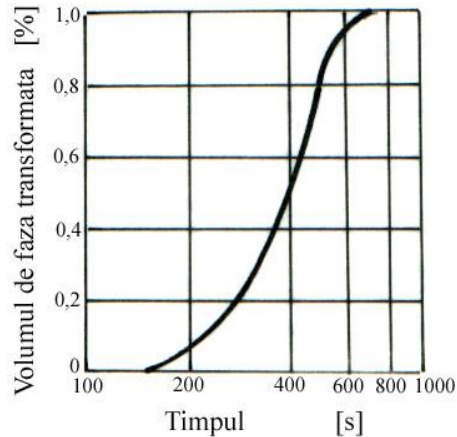


Fig. 4.9 Curba cinetica de transformare a austenitei în perlită.

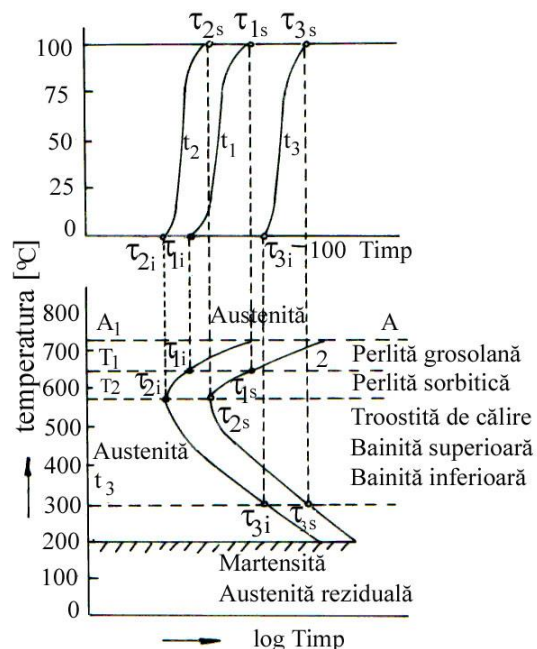


Fig. 4.10 Curbele cinetice de transformare a austenitei suprarăcite pentru diferite grade de suprarăcire și construcția diagramei TTT izoterme

Diagramele TTT izoterme sunt folosite la autorizarea tratamentelor izoterme care cuprind o răcire rapidă și menținere izotermă.

Pentru analiza transformărilor de fază care apar în cazul răcirii continue, diagrama TTT poate fi folosită pentru aprecieri calitative. Prin suprapunerea curbelor de răcire pe diagrama TTT se poate determina suprarăcirea la care are loc transformarea austenitei și în consecință structura obținută (figura 4.11).

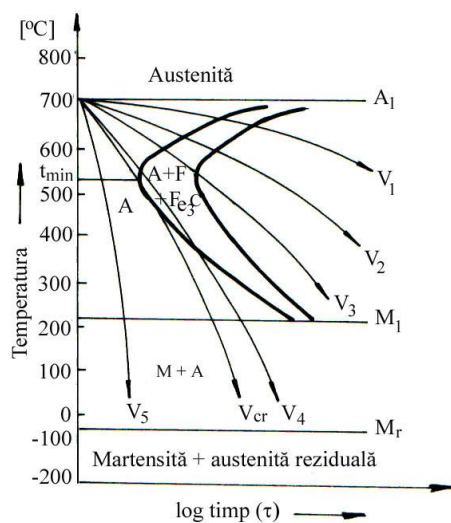


Fig. 4.11. Suprapunerea curbelor de răcire pe diagrama TTT izotermică

Transformarea bainitică (intermediară) se desfășoară în domeniul temperaturilor de transformare intermediară (la circa 400 °C), unde se află punctul Ms al zonelor de austenită sărăcită în carbon și are loc după un proces asemănător transformării martensitice. Formarea bainitei are loc la răcire, în condițiile separării feritei, respectiv cementitei sub formă de lamele sau ace (structura Windmanstatten). În mod obișnuit se disting două tipuri de bainite: bainita superioară care se formează la temperaturi de subrăcire cuprinse între 500...350°C și bainita inferioară care apare la temperaturi cuprinse între 350°C și Ms și are un aspect acicular, asemănător martensitei.

Bainita superioară are un volum mai mare decât perlita și prezintă o reziliență scăzută, fiind dură și fragilă. Bainita inferioară are de asemenea un volum mai mare decât perlita dar, deși duritatea ei se apropie de cea a martensitei, este mai plastică decât aceasta.

Cu cât temperatura de formare a bainitei este mai scăzută cu atât viteza de difuziune a carbonului în ferită va fi mai redusă și cu atât devin mai fine carburile separate. Carburile care se formează în intervalul bainitic superior sunt mai grosolane decât cele care se formează în partea inferioară a intervalului perlitic astfel că bainita superioară poate fi mai moale decât troostita cu care se asociază deseori în structură.

Transformarea austenitei în bainită nu se produce complet, rămânând o anumită cantitate de austenită netransformată care trece ulterior în perlită sau martensită, în funcție de viteza de răcire .

Transformarea martensitică se produce fără difuziune, printr-o mișcare de forfecare a cristalelor de austenită, într-un mod coordonat, pe o fracțiune de distanță atomică, formându-se rețeaua de ferită. Martensita se formează cu plăci în legătură cu anumite plane ale austenitei.

Densitatea înaltă a martensitei este legată de tensiunile foarte mari legate de menținerea în soluție a carbonului. Elementele de aliere, care în general formează soluții solide de substituție în martensită nu produc o durificare apreciabilă, dar prezența austenitei reziduale scade apreciabil duritatea oțelurilor cu conținut ridicat de carbon.

Principalele caracteristici ale transformării martensitei sunt:

- transformarea se produce fără difuziune, fapt demonstrat și de faptul că martensita prezintă un conținut de carbon egal cu al austenitei din care provine;
- viteza de creștere a cristalelor de martensită este foarte mare (1000...5000 m/s) și nu depinde de temperatură;
- procesul decurge într-un interval de temperaturi și încetează în momentul în care temperatura devine constantă, astfel încât pentru continuarea transformării se impune răcirea continuă. Transformarea izotermă se produce numai în condiții deosebite și are ca rezultat doar o mică cantitate de martensită;
- transformarea nu este totală și deci, în structură rămâne o anumită cantitate de austenita reziduală.

Temperatura la care apar primele lamele de martensită constituie punctul de început al transformării notat prin Ms (figura 4.12), iar temperatura la care transformarea ia practic sfârșit s-a notat cu Mf. Poziția punctelor Ms și Mf nu depinde de viteza de răcire, dar este influențată de compoziția oțelului. Creșterea conținutului de carbon și de elemente de

aliere, cu excepția Al și Co provoacă coborârea punctelor de transformare martensitică. Astfel, oțelurile carbon cu un conținut de peste 0,6%C au punctul M_f situat sub 0°C .

La oțelurile cu conținut de carbon sub 0,3% are loc o revenire parțială a martensitei datorită temperaturii relativ înalte corespunzătoare punctului M_s și creșterii vitezei de descompunere a martensitei cu temperatura. Procesul de transformare martensitică este astfel dublat de un proces de descompunere care are ca rezultat obținerea unei martensite autorevenite.

Cu excepția cementitei, martensita este constituintul cel mai dur al oțelurilor (62...66 HRC), tipic pentru tratamentul termic de călire. Duritatea mare a martensitei se datorește deformării rețelei cristaline, volumul specific al martensitei fiind mai mare decât volumul specific al austenitei. Volumul specific maxim după călire se obține la oțelul cu compoziție eutectoidă.

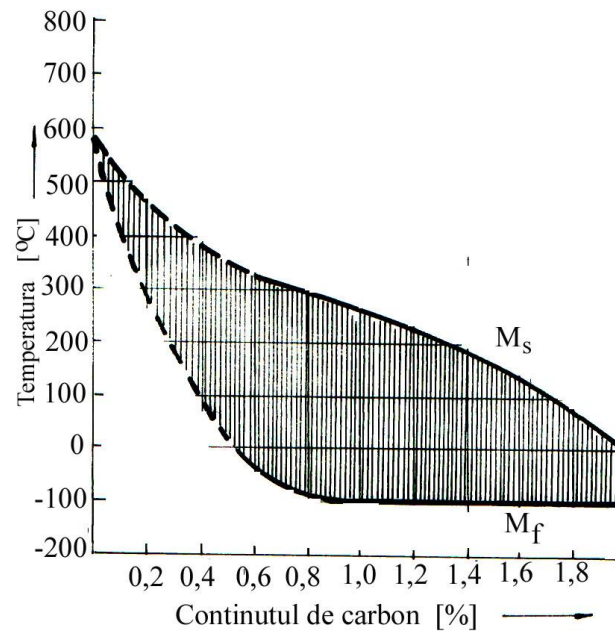


Fig. 4.12. Curba martensitică

Diferența de volum specific între martensită și austenită, cu atât mai accentuată cu cât conținutul de carbon este mai mare, conduce la o puternică tensionare a structurii, cu provocarea de fisuri și crăpături.

Martensita este foarte fragilă, plasticitatea ei fiind practic nulă. Ea este însă rezistentă la coroziune și are bune proprietăți magnetice utilizate pentru determinările cantitative ale transformării.

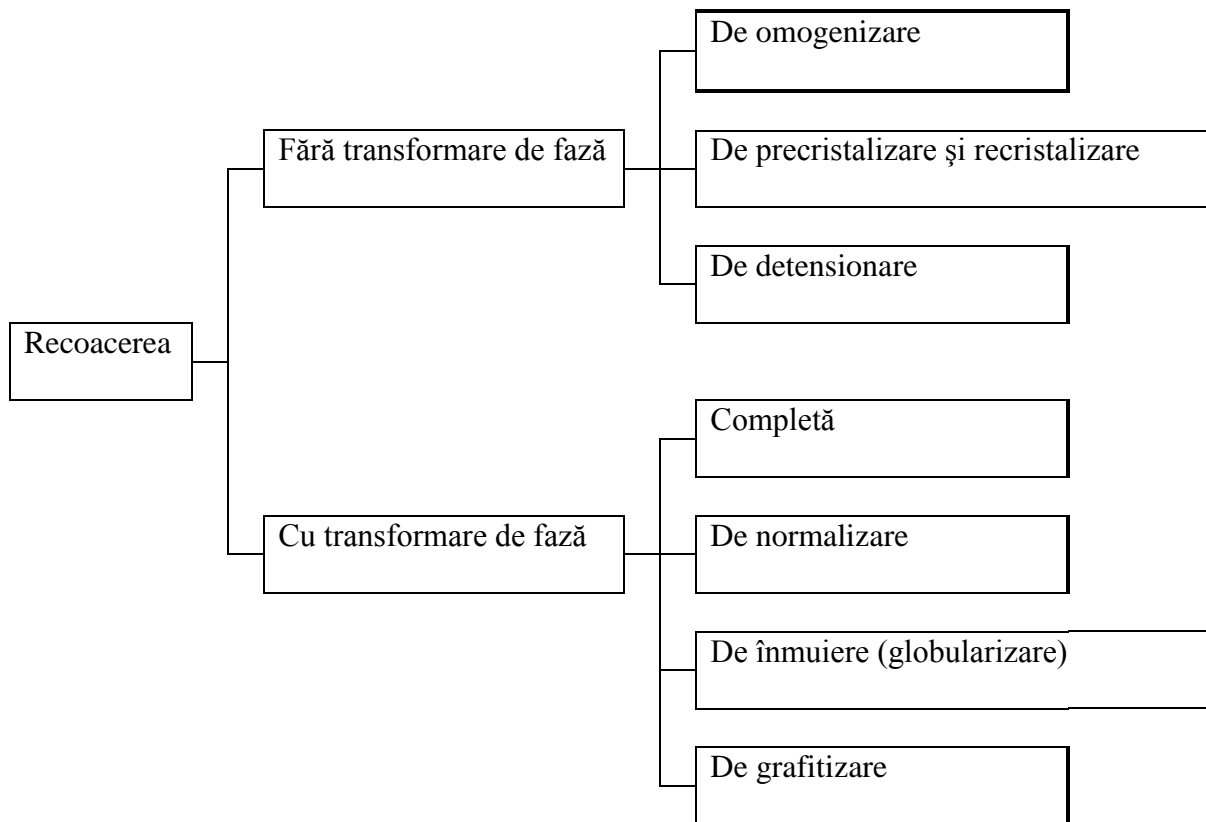
4.2 TRATAMENTE TERMICE PRIMARE

Așa cum s-a arătat anterior, tratamentele termice primare (preliminare) au ca scop obținerea unor constituenți de echilibru fazic, care induc unele proprietăți tehnologice sau pregătesc structurile necesare tratamentului termic final. Din această categorie fac parte recoacerea și normalizarea.

4.2.1 Recoacerea oțelurilor

Recoacerea reprezintă tratamentul termic care are ca scop aducerea structurii aliajului în stare de echilibru fizic, chimic sau structural, după caz. În funcție de scopul urmărit, temperatura de încălzire poate fi sub cea critică, când se numește recoacere fără transformare de fază, sau dimpotrivă, cu modificarea de fază când încălzirea este la o temperatură superioară punctului critic.

După transformările care se produc la recoacere, acestea se clasifică conform schemei din figura 4.13.



Recocerea se efectuează în următoarele scopuri:

- aducerea aliajului într-o stare de echilibru fizico-chimic și structural;
- omogenizarea și finisarea structurii, îmbunătățirea proprietăților mecanice prin recristalizarea secundară a unor structuri rezultate în urma supraîncălzirii sau deformării la cald;
- înlăturarea efectelor rezultate prin deformarea la rece și la cald (eliminarea tensiunilor interne, creșterea plasticității, scăderea durtății în scopul îmbunătățirii prelucrabilității);
- îmbunătățirea structurii oțelurilor în scopul executării unor tratamente termice ulterioare.

Încălzirea se efectuează cu viteze mici (20...60°C/h) pentru a se evita creșterea tensiunilor interne, iar menținerea depinde de timpul necesar pentru uniformizarea încălzirii și desfășurarea proceselor de difuziune. Răcirea se execută cu viteze relativ mici, în aer, în cuptor, sub strat de cenușă sau nisip.

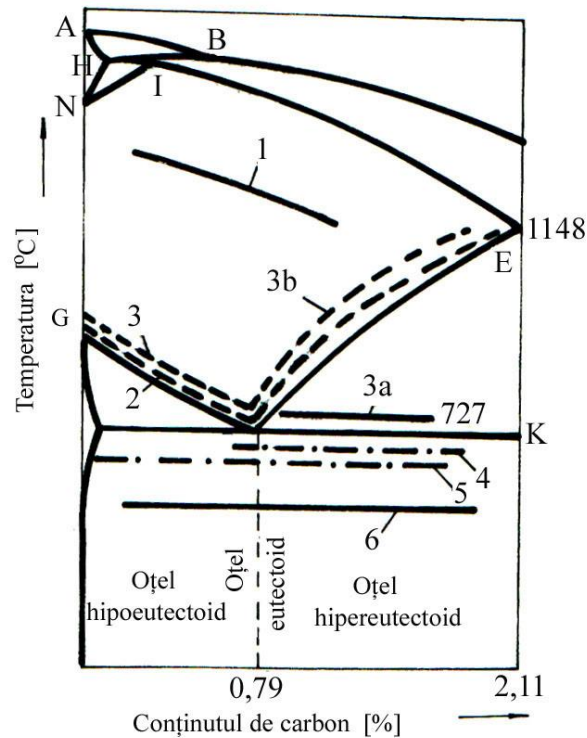


Fig. 4.13. Clasificarea tratamentelor termice de recocere

RECOACERI FĂRĂ TRANSFORMARE DE FAZĂ

a) Recoacerea de omogenizare este folosită pentru eliminarea segregățiilor dendritice aparute la turnare și uniformizarea compoziției chimice a lingourilor și pieselor de dimensiuni mari turnate din oțel.

Recoacerea de omogenizare, în cazurile oțelurilor, se efectuează la temperaturi de 1050...1200°C cu durata de menținere de zeci de ore pentru a favoriza difuziunea. Răcirea se face lent, de obicei în cuptor cu viteze de 30...60°C/h, până sub punctele critice inferioare, apoi în aer.

Recoacerea de omogenizare are un efect favorabil important asupra proprietăților de tenacitate, reziliență și oboseală a oțelului laminat, deoarece elimină posibilitatea ca fazele segregate fragile să fie distribuite în direcția deformării plastice. Rolul omogenizării este important pentru piesele turnate, deoarece acestea nu pot fi deformate plastic pentru afânarea structurii.

Recoacerea de omogenizare nu poate elimina complet efectul structurii inițiale; cu cât însă vor fi mai mici dimensiunile celulelor dendritice în aliajul turnat, cu atât vor fi mai ridicați indicii de tenacitate după omogenizare.

Recoacerea de omogenizare este o operație care necesită un timp îndelungat și consumă o cantitate mare de combustibil sau energie electrică, ceea ce impune o analiză temeinică înainte de aplicarea acestui tratament termic.

Datorită condițiilor de executare a recoacerii de omogenizare, după răcire se obține un grăunte grosolan, pentru finisarea căruia se recomandă fie folosirea unui tratament ulterior de recoacere completă pentru piese turnate, fie prin deformare plastică la cald (laminare, forjare) în cazul lingourilor.

b) Recoacerea de precrystalizare și recristalizare este un tratament termic ulterior deformării plastice la rece a semifabricatelor și urmărește înlăturarea efectelor negative ale ecruisării rezultate în urma acestor procese (figura 4.14):

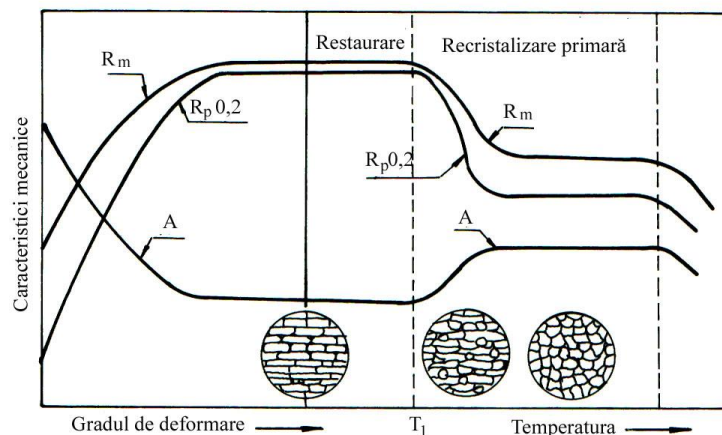


Fig. 4.14 Variația unor caracteristici mecanice cu gradul de deformare la rece și cu temperatura de recristalizare

Deformarea plastică la rece a metalelor conduce la creșterea rezistenței de rupere la tracțiune, a limitei de curgere și a durtității, în timp ce proprietățile de tenacitate sunt reduse.

Deoarece materialul metalic ecruisat se află într-o stare energetică ridicată, el va fi într-un echilibru mecanic metastabil din care poate fi scos dacă se conferă o anumită energie de activare. Cu cât energia de activare este mai mare, cu atât materialul revine mai ușor în starea de echilibru, respectiv la structura și proprietățile inițiale.

Energia de activare necesară se conferă materialului ecruisant prin încălzire peste temperatura de recristalizare care se exprima în funcție de temperatura de topire:

$$T_{\text{recr}} = (0,35 \dots 0,50) T_{\text{top}} \quad [^{\circ}\text{k}] \quad (4.7)$$

Dacă metalul deformat plastic la rece este încălzit la o temperatură mai mică decât 1/3 din temperatura absolută de topire a metalului, atunci se constată unele modificări ale proprietăților fizico-chimice, iar tratamentul se numește recoacere de precristalizare.

Începând de la această temperatură, structura fibroasă este înlocuită cu o structură de grăunți fini, echiaxiali, eliminându-se ecruisarea și micșorându-se pericolul de fisurare la sudare.

În cazul particular al oțelurilor regimul termic se alege în funcție de compoziția chimică a oțelului, puritatea acestuia și gradul de deformare. Încălzirea pentru oțelurile carbon și slab aliate se face între 400...500°C, pentru oțelurile înalt aliate feritice și semiferitice între 550...650 C, iar pentru oțelurile austenitice între 600...800°C.

Durata de recoacere este de 30...60 minute pentru oțelurile moi și 1...2 ore pentru oțelurile cu conținut ridicat de carbon. Răcirea pieselor se efectuează în aer.

Recoacerea de recristalizare se practică pentru mărirea proprietăților plastice ale metalelor care au fost deformate plastic la rece. Recoacerea de precristalizare poate avea drept efect înmuierea sau durificarea materialului.

Precristalizarea de înmuiere este procedeul folosit pentru creșterea ductilității metalului cu reținerea parțială a efectului ecruisării. Ea este folosită ca operație finală care conduce la combinația dorită de rezistență și tenacitate și mai rar ca operație intermediară pentru eliminarea efectului ecruisării între două operații de deformare la rece.

Precristalizarea de durificare este folosită pentru creșterea proprietăților elastice a arcurilor și membranelor. Temperatura optimă de recoacere se determină experimental.

Recoacerea de recristalizare este folosită ca operație preliminară deformării plastice la rece, ca operație intermediară între două deformări plastice la rece sau ca operație finală pentru obținerea proprietăților dorite. Recoacerea de recristalizare se aplică după deformarea la rece a tablelor, benzilor și foilor, țevilor trase la rece, a sârmelor, produselor ștanțate, etc.

În unele cazuri, recoacerea de recristalizare se aplică imediat după deformarea la cald, deoarece procesul lent de recristalizare la sfârșitul deformării la cald nu permite eliminarea efectului de durificare.

c) Recoacerea de detensionare are ca scop diminuarea tensiunilor interne care rămân după prelucrări anterioare legate de procese de încălzire și răcire care, nefiind uniforme pe întreaga secțiune a piesei, creează un gradient de temperatură ce face ca variațiile de volum pe întreaga secțiune a piesei să fie inegale. Tensiunile reziduale sunt

periculoase deoarece ele se însumează cu forțele externe care acționează asupra pieselor, provocând distrugerea prematură a acestora.

Recoacerea de detensionare urmărește reducerea acestor tensiuni prin încălzirea pieselor la temperaturi care să asigure fie coborârea tensiunii critice de alunecare sau a limitei de curgere sub nivelul corespunzător tensiunilor interne din piesă, fie producerea curgerii plastice prin difuziune atomică, fie combinarea acestor două procese.

Temperatura maximă pentru recoacerea de detensionare este determinată de posibilele modificări structurale care înrăutățesc proprietățile mecanice. De exemplu, pentru oțel temperatura este în jur de 600°C .

Durata de menținere pentru detensionare variază de asemenea, în funcție de temperatura de încălzire, dimensiunile produsului, starea și natura materialului, etc. În cazul oțelului menținerea este de 1h/25 mm de grosime a secțiunii, dar nu mai puțin de o oră.

Încălzirea și răcirea se execută cu viteze mici pentru a se evita formarea de noi tensiuni termice, cu excepția răcirilor mai mici de $150\text{...}300^{\circ}\text{C}$ care se pot executa în aer.

RECOACERILE CU TRANSFORMARE DE FAZĂ

Recoacerile cu transformare de fază se aplică materialelor metalice care prezintă astfel de transformări în stare solidă. Ele constau dintr-o încălzire și o menținere deasupra sau sub punctul critic, urmate de răcire lentă.

d) Recoacerea completă are ca scop realizarea unui echilibru fizico-chimic și structural complet prin încălzirea și menținerea piesei la o temperatură deasupra temperaturii de transformare, urmată de o răcire lentă în cuptor sau alt mediu care să asigure o viteză mică de răcire.

În cazul oțelurilor, mărimea grăuntelui austenitic crește exponențial cu temperatura peste punctul critic A_1 , astfel că la temperaturile înalte la care s-a executat deformarea plastică sau tratamentul termic se obține de regulă o granulație grosolană (figura 4.15).

Răcirea ulterioară cu viteze relativ mari conduce la formarea în grăuntele grosolană a unei structuri defectuoase de tip Widmannstätten, la oțelurile cu conținut redus în C, cu proprietăți tehnologice și de exploatare necorespunzătoare.

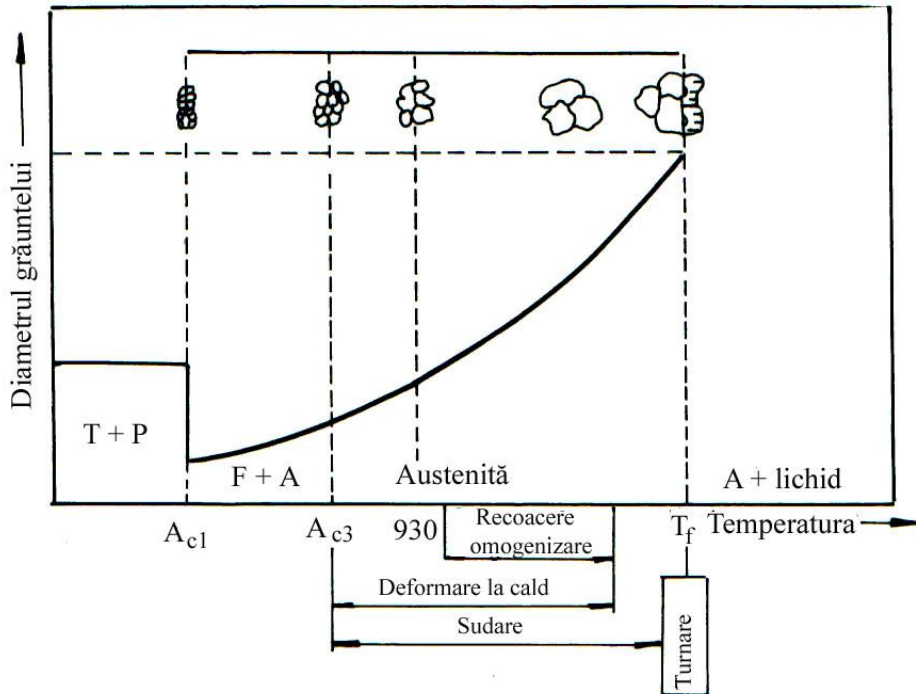


Fig. 4.15 Efectul temperaturii de încălzire asupra creșterii grăuntelui austenitic la un oțel hipoeutectoid

Tratamentul de recoacere pentru regenerare presupune o reaustenizare corectă a oțelului, la temperaturi și cu durate care urmează să asigure obținerea unei granulații austenitice fină și uniformă, urmată de o răcire lentă care să conducă la o structura de echilibru sau apropiată de echilibru.

Tratamentul constă în încălzirea oțelului cu $20...30^{\circ}\text{C}$ peste A_{c3} , menținerea pentru omogenizarea austenitei și răcire cu viteze relativ mici ($30...50^{\circ}\text{C/h}$), odată cu cuptorul, până la temperatura de 400°C și apoi în aer. Durata de încălzire-menținere se stabilesc prin calcul.

O variantă a acestui tratament care se execută izoterm o constituie patentarea. Ea se aplică în tehnologia de fabricare a arcurilor și a sârmelor. Oțelul cu conținut de $0,4...0,8\% \text{C}$ este încălzit la o temperatură cu $30...50^{\circ}\text{C}$ peste punctul critic A_3 , răcit până la 500°C și menținut izotermic la această temperatură.

Dacă recoacerea are loc între punctele critice A_1 și A_{c3} atunci ea se numește *recoacere incompletă*. Se practică pentru înmuierea oțelului înaintea prelucrării deoarece în acest caz în urma transformării eutectoide se formează o perlită moale. În același scop se poate efectua și o *recoacere izotermică* (figura 4.16).

Această recoacere se realizează prin răcire rapidă și menținere izotermică în domeniul transformării perlitice. Timpul de menținere izotermică se determină cu diagrama TTT.

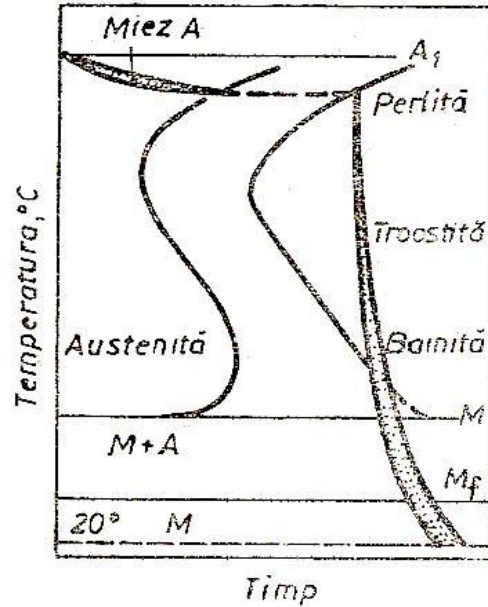


Fig. 4.16 Recoacerea izotermică a oțelului

e) Recoacerea de înmuiere (globulizare) se aplică oțelurilor hipereutectoide la care recoacerea completă este insuficientă pentru reducerea durității în vederea prelucrării mecanice din cauza cantității mari de cementită și la oțelurile aliate care, în urma prelucrării prin deformare plastică la cald au o granulație fină dar conțin constituenți de călire cu riscuri mari de fisurare la sudare.

Scopul recoacerii de înmuiere, îl constituie obținerea perlitei globulare din cementita conținută de perlita lamelară .

Procedeul utilizat cel mai frecvent îl constituie recoacerea pendulară care constă în încălziri și răciri alternative la 10...20°C în jurul punctului critic A_1 (figura 4.17). Se obțin oțeluri caracterizate printr-o rezistență și duritate mai scăzută și o tenacitate mai ridicată în comparație cu același oțel care după recoacerea completă conține carburi lamelare.

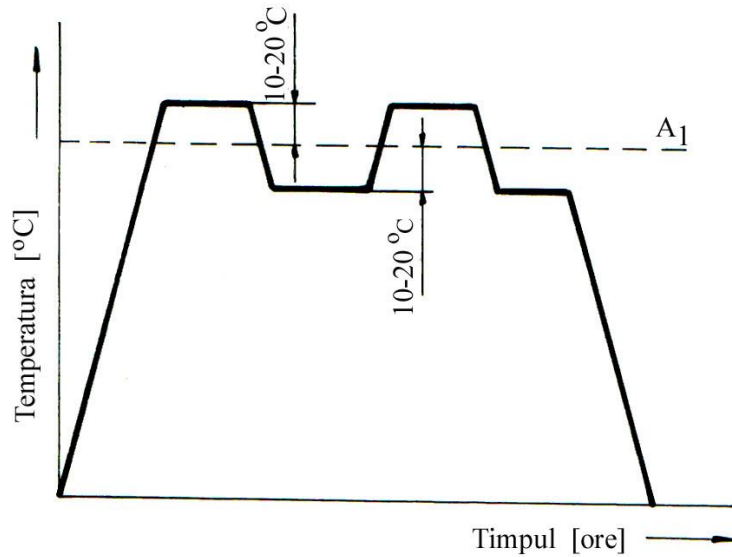


Fig. 4.17 Ciclu termic al recoacerii pendulare

4.2.2 Normalizarea

Normalizarea are ca scop finisarea granulației și structurii (îmbunătățirii proprietăților mecanice) și se aplică pieselor turnate și semifabricatelor din oțeluri laminate ca tratament termic preliminar sau în unele cazuri ca tratament termic final (oțeluri cu conținut mediu de carbon).

Procedeul este asemănător recoacerii complete (figura 4.18), cu deosebirea că la normalizare răcirea se execută în aer cu viteze de răcire mai mari ($100...200^{\circ}\text{C}/\text{h}$). Datorită răcirii mai rapide, transformarea austenitei are loc la o suprarăcire mai mare și în consecință are o structură perlitică mai fină. Totodată are loc și suprimarea separării feritei sau cementitei proeutectoide obținându-se o structură cvasieutectoidă. În consecință, oțelul normalizat are rezistență și duritate ridicate.

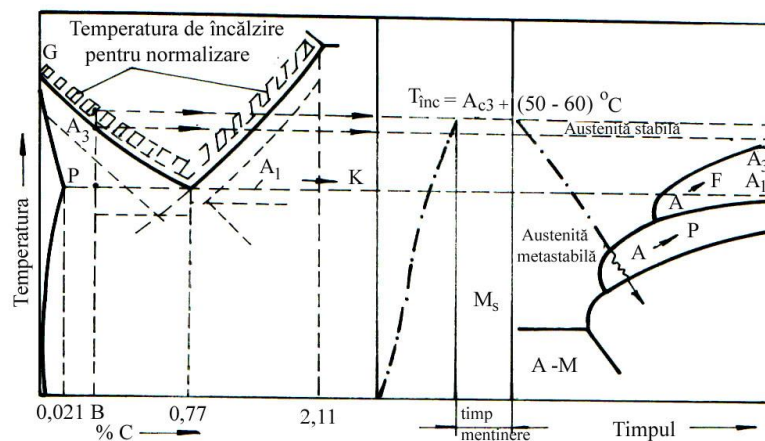


Fig. 4.18 Ciclograma tratamentului termic pentru normalizare

În cazul oțelurilor hipereutectoide a căror structură nu prezintă cementită în rețea, normalizarea se face prin încălzire peste A_1 , menținere și răcire în aer.

Normalizarea este folosită ca operație intermediară de înmuiere a oțelului înaintea prelucrării prin așchiere, eliminarea defectelor de structură și îmbunătățirea structurii înaintea călirii.

4.3 TRATAMENTE TERMICE SECUNDARE

Tratamentele termice secundare asigură obținerea unor constituenți structurali ce conferă proprietăți de exploatare materialului metalic. Din această categorie fac parte îmbunătățirea (călirea și revenirea înaltă), precum și călirile superficiale.

4.3.1 Călirea

Călirea este tratamentul termic final care constă din încălzirea materialului metalic la o temperatură în domeniul austenitic, menținerea la aceasta temperatură un timp suficient pentru austenitizarea completă, urmată de o răcire rapidă în scopul obținerii structurii martensitice. Viteza trebuie să fie suficient de mare pentru a evita transformarea de fază reversibilă (descompunerea eutectoidă, precipitarea unei faze în exces din soluția solidă).

Tratamentul de călire se aplică oțelurilor carbon și aliate cu conținut de carbon peste 0,30%.

Scopurile călirii:

- ridicarea durității materialului metalic prin obținerea martensitei ca și constituenț principal;
- favorizarea asocierii unei durități moderate cu tenacitate înaltă, prin obținerea unei structuri corespunzătoare (bainită, troostită).

Compoziția chimică, starea structurală și dimensiunile materialului sunt principalii factori care determină alegerea parametrilor procesului de călire. În figura 4.19 se prezintă intervalele temperaturilor de încălzire pentru călirea oțelurilor carbon.

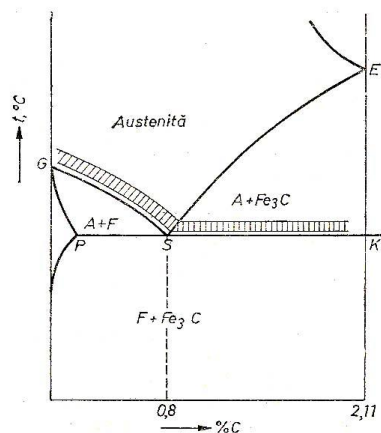


Fig. 4.19 Temperaturile de încălzire a oțelurilor carbon în vederea călirii

Pentru oțelurile aliate, temperatura de încălzire se stabilește în funcție de poziția punctelor critice de transformare și de diagramele de variație ale durtății cu temperatura.

Durata menținerii oțelului la temperatura de încălzire trebuie să asigure uniformizarea temperaturii în secțiunea piesei, omogenizarea austenitei. Ea se stabilește pe baza formei și dimensiunii piesei, compoziției chimice a materialului și condițiilor de încălzire.

Deosebit de importantă este alegerea vitezei de răcire în intervale. Viteza de răcire trebuie să fie mare în primul interval – pentru a se evita transformarea austenitei în structuri perlitice – dar suficient de lentă în cel de-al doilea interval pentru a nu favoriza tensionarea bruscă la transformarea martensitică. Din tabelul 4.1 se observă că apa răcește cu viteza mare în ambele intervale iar uleiul răcește mult mai lent în cel de-al doilea.

Rezultă că mediul ideal pentru răcire îl constituie apa în primul interval, respectiv uleiul pentru cel de-al doilea interval.

Temperatura de fierbere și viteza de răcire a diferitelor medii de răcire Tab 4.1.

Mediul de călire	Temperatura de fierbere cu bule [°C]	Viteza de răcire [°C/s] la	
		400°	200°
Apă la 20° C (liniștită)	400	200	700
Apă la 40° C (liniștită)	350	100	550
Apă la 80° C (liniștită)	250	30	200
Apă la 98,5° C (liniștită)	200	20	20
Apă la 20° C (cu recirculare)	400	350	700
Apă distilată	350	150	700
Emulsii în apă	300	100...200	500...700
Soluție de 1% NaCl în apă la 20° C	500	1200	700
Soluție de 10% NaCl în apă la 20° C	650	2200	700
Soluție de 5-30% NaOH în apă la 20° C	650	1800	200
Soluție de 50% NaOH în apă la 20° C	650	1100	100
Soluție de 50% NaOH în apă la 70° C	650	800	100
Soluție de 50% NaOH în apă la 96° C	650	500	100
Ulei mineral la 20° C	600	60	10

PROCEDEE DE CĂLIRE

Marea diversitate a materialelor metalice care se supun tratamentului termic de călire precum și necesitatea obținerii unor proprietăți cât mai adecvate unor anumite

scopuri au impus utilizarea diferitelor procedee de călire, așa cum rezultă din schema prezentată în figura 4.20.

a) Călire obișnuită (călire într-un singur mediu) constă în introducerea piesei încălzite la temperatura de călire într-un mediu de răcire în care se menține până la răcirea completă. Mediul utilizat trebuie să asigure o viteză de răcire mai mare decât cea critică pentru materialul respectiv și în acest scop se utilizează de regulă apa pentru oțelurile carbon și uleiul pentru oțelurile aliate. Procedeeul prezintă dezavantajul că din cauza vitezei de răcire prea mari în intervalul martensitic se favorizează apariția defectelor de călire (fisuri, deformații). Din această cauză procedeul se aplică în general doar pieselor de dimensiuni mai mici sau celor de importanță mai redusă.

b) Călire întreruptă se realizează în două etape. Piesele se răcesc până la o temperatură cu $20...30^{\circ}$ deasupra punctului M_s într-un mediu cu capacitate mare de răcire (apă sau soluție apoasă de săruri) care asigură o viteză de răcire mai mare decât cea critică după care se trec într-un alt mediu cu capacitate de răcire mai mică în intervalul martensitic (ulei, aer), evitându-se astfel formarea tensiunilor interne mari. Dificultatea în folosirea acestui procedee constă în stabilirea momentului optim de trecere a piesei dintr-un mediu în celalalt, ceea ce necesită muncitori cu o mare experiență. Se utilizează la călire sculelor din oțel carbon de scule.

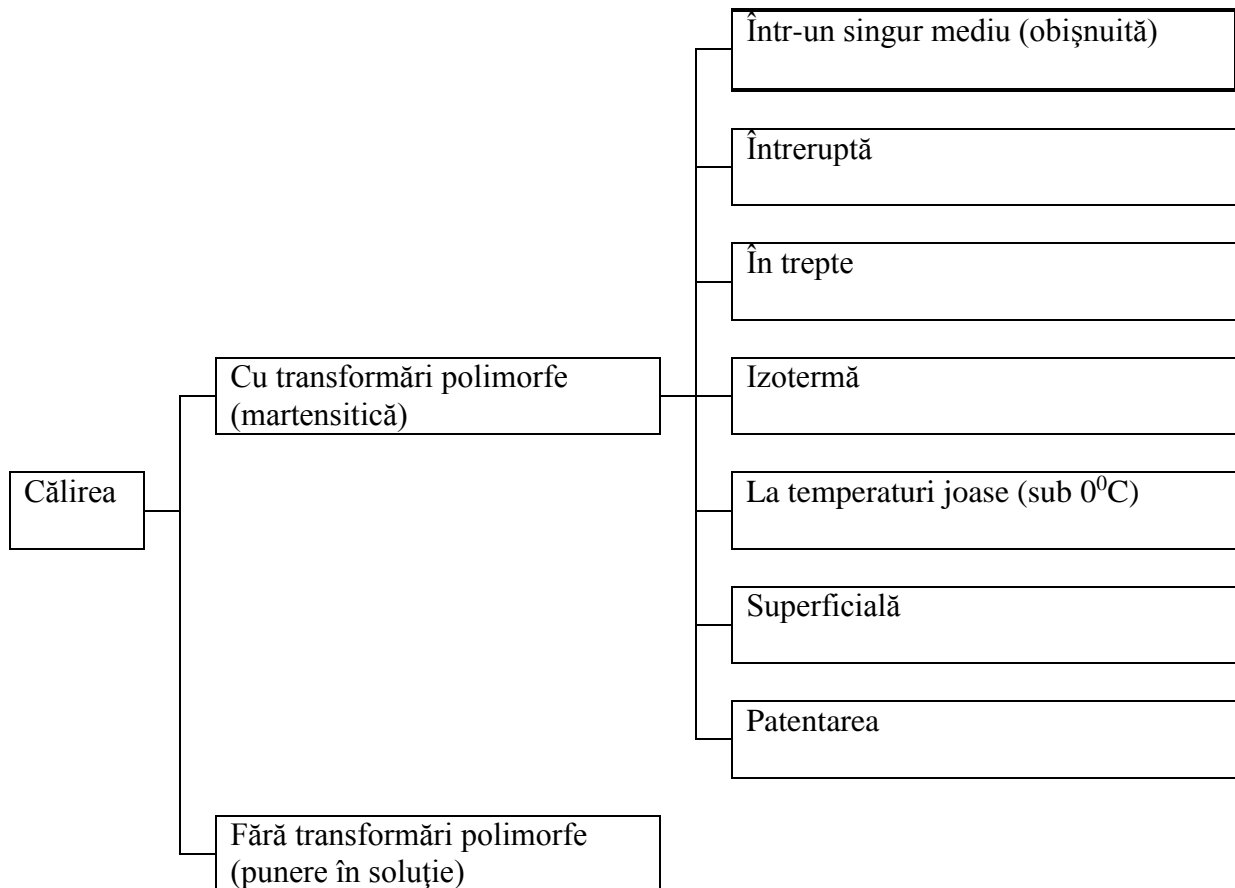


Fig. 4.20 Tipuri de călire

c) Călirea în trepte, constă în încălzirea urmată de o primă răcire a piesei până deasupra punctului martensitic, de menținere la aceasta temperatură și de a doua răcire până la temperatura finală.

Procedeul se aplică pieselor din oțeluri carbon și slab aliate cu o bună călibilitate și având dimensiuni mici și medii care să asigure miezului pieselor o viteză de răcire superioară celei critice. Dezavantajul constă în dificultatea de stabilire exactă a duratei de menținere în primul mediu de răcire astfel ca să evite atingerea curbei de transformare a austenitei în bainită. Mediul de răcire folosit în ambele trepte îl constituie sărurile topite.

d) Călire izotermă constă în încălzirea piesei urmată de o răcire cu menținerea la temperatură constantă ($300\text{...}400^{\circ}\text{C}$) un timp îndelungat până la terminarea transformării izoterme a austenitei. În această situație transformarea martensitică este înlocuită de transformarea bainitică, care conferă caracteristici mecanice apropiate de cele obținute prin călire martensitică și revenire ulterioară la o temperatură egală cu cea de menținere izotermă, nivelul tensiunilor de călire fiind extrem de redus.

Procedeul se aplică la piese subțiri din oțel carbon și oțel aliat, la călire fierăstraiele, matrițelor, sculelor, arcurilor.

În scopul de a reduce durata procedurii se recurge uneori la întreruperea transformării bainitice și continuarea răcirii în aer, obținându-se astfel o structura mixtă de bainită, martensită și austenită reziduală cu caracteristici mecanice intermediare între cele corespunzătoare bainitei și martensitei.

În tabelul 4.2. se prezintă caracteristicile mecanice ale unui oțel carbon de scule ($0,74\%C$).

Caracteristicile mecanice ale unui oțel carbon de scule Tab 4.2.

Felul călirii	Caracteristicile mecanice		
	R_m N/mm^2	A %	HRC
Călire izotermă la 365°C	1930	1,9	50,4
Călire clasică în ulei și revenire	1976	0,3	50,2

e) Călire la temperaturi joase (sub 0°C) se aplică oțelurilor cu conținut mare de carbon (peste $0,6\%$) și unor oțeluri aliate care au punctul M_f situat la temperaturi sub 0°C . Acest procedeu reprezintă o continuare a călirii deoarece, prin răcirea piesei la o temperatură cât mai apropiată de M_f , o parte din austenita reziduală se transformă în martensită. Cu cât punctul M_f este situat la temperaturi mai joase, cu atât tratamentul termic este mai eficient (figura 4.21)

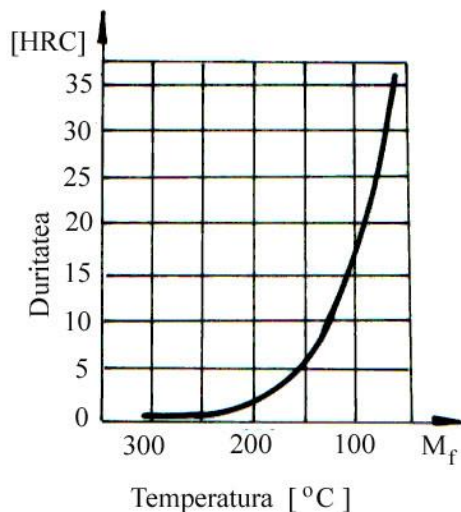


Fig.4.8 Variatia duritatii in functie de temperatura

Pentru executarea tratamentului, după călirea obișnuită piesele se introduc în amestecuri refrigerante (tabelul 4.3) alese astfel încât temperatura lor să fie apropiată sau sub punctul critic M_f al aliajului.

Amestecuri refrigerante

Tab.4.3

Compoziția amestecului	Temperatura minimă [°C]
Zăpadă carbonică + alcool	-7
Zăpadă carbonică + azot lichid	-150
Aer lichid	-173
Oxigen lichid	-183
Azot lichid	-196

Efectul călirii sub 0°C constă în creșterea durității cu 2...10 HRC și o mărire a volumului prin transformarea austenitei reziduale în martensită, astfel că dimensiunile piesei se stabilizează și nu vor mai varia prin eventuale transformări ulterioare. Se recomandă ca procedeul să se aplice imediat după călirea obișnuită (circa 1...2 ore) pentru a se evita stabilizarea austenitei.

f) Călirea superficială constă în încălzirea în domeniul austenitic numai a unui strat superficial al piesei urmată de racirea sa rapidă, astfel încât austenita să se transforme în martensită numai în acest strat.

Scopul aplicării călirii superficiale îl constituie creșterea durității, a rezistenței la uzare, a rezistenței la oboseală, datorită formării unor tensiuni de compresiune și a rezistenței la pitting a suprafeței pieselor și păstrarea totodată a proprietății ridicate la plasticitate în miezul necălit al acestora.

Oțelurile folosite pentru călirea superficială conțin între 0,3...0,5%C. Oțelurile cu conținut mai ridicat de carbon nu sunt recomandate, deoarece crește sensibilitatea la fisurare și crește cantitatea de austenită reziduală.

Durata de menținere în amestecul refrigerent este de circa 1 min/mm grosime maximă a piesei.

În funcție de sursa de încălzire utilizată există mai multe procedee de călire superficială (figura 4.22).

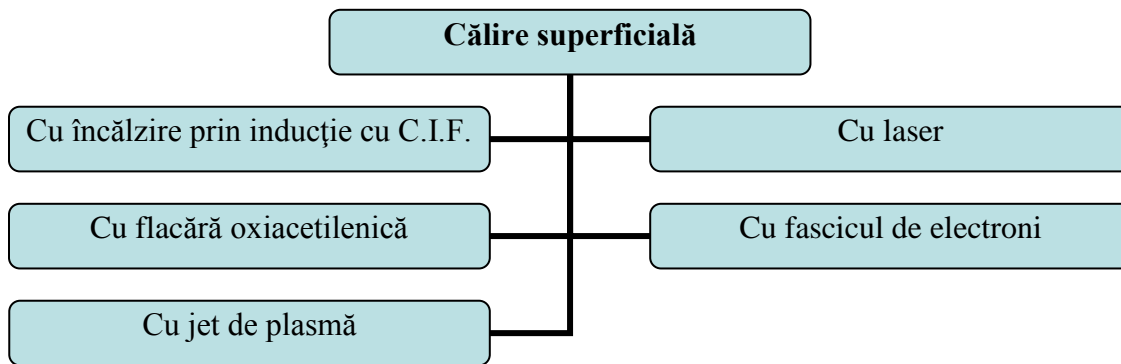


Fig. 4.22 Tipuri de călire superficială

Călirea prin încălzire cu flacără se realizează cu arzatoare speciale, adecvate formei și dimensiunilor piesei, și care concentrează puternic căldura produsă prin arderea unui amestec de gaz combustibil și oxigen. Prin această concentrare de căldură se asigură o încălzire rapidă a stratului superficial, iar printr-o răcire energetică se realizează călirea de suprafață.

La piesele de importanță deosebită sau care se supun ulterior unor prelucrări prin rectificare se recomandă după ca după călirea superficială să se aplice o revenire joasă la 150...220°C, în funcție de duritatea dorită.

Călirea prin inducție este procedeul de călire superficială cel mai mult utilizat deoarece asigură o calitate deosebită și o mare productivitate. Se bazează pe fenomene de inducție a unor curenți turbionari (Foucault) în piesa aflată într-un solenoid străbătut de un curent electric alternativ.

Adâncimea de pătrundere a curenților induși în piesă reprezintă adâncimea de încălzire, respectiv de călire după răcirea energetică a stratului încălzit.

Deoarece frecvențele curentului utilizat la acest procedeu sunt relativ înalte, călirea prin inducție se mai numește călire prin curenți de înaltă frecvență (C.I.F.).

Călirea cu încălzire prin inducție poate fi automatizată și permite reglarea ușoară și precisă a temperaturii și adâncimii stratului încălzit. Se aplică la piesele supuse la solicitări de încovoiere, răscucire și presiuni de contact unde solicitările sunt maxime la suprafață. Se apreciază că aproximativ 3% din numărul de piese ce intră în componența autovehiculelor se supun călirii superficiale.

Călirea cu laser constă în încălzirea rapidă și locală a suprafeței unui material la o temperatură superioară temperaturii de austenitizare, fără a ajunge la temperatura de topire a materialului. Această încălzire este generată prin iradiere laser. Viteza de deplasare piesă-laser este de 3...10 mm/s, iar timpul de interacțiune fascicul-material este de ordinul secundelor. Răcirea se face prin conducție termică având loc o autocălire. Vitezele de răcire, superioare vitezelor critice de călire, permit obținerea de structuri martensitice fine dar neomogene. Zona tratată are o lățime de 10...15 mm și o adâncime de 2 mm. Stratul obținut are duritatea 600...800 HV în funcție de calitatea materialelor. Structura este formată din martensită.

Călirea cu fascicul de electroni se bazează pe transformarea energiei cinetice a electronilor accelerați, în energie calorică, în condițiile interacțiunii cu suprafața piesei.

Transformarea energiei cinetice în energie calorică are loc într-un strat cu adâncimea de câțiva microni.

Adâncimea stratului de absorbție este proporțională cu energia cinetică pe care o au electronii și scade proporțional cu densitatea materialului.

Această adâncime este de 1...2 mm pentru oțeluri.

Stratul obținut are structura formată din martensită foarte fină cu mici cantități de austenită reziduală. Dacă temperatura de încălzire sau durata de acțiune a fasciculului sunt mari, la suprafață se obține austenită globulară. Grosimea stratului călit variază între 10 μ m...2mm, în funcție de calitatea oțelului.

Călirea cu jet de plasmă constă în încălzirea rapidă a suprafeței piesei de tratat la o temperatură superioară temperaturii de austenitizare și inferioară temperaturii de topire. Răcirea se face prin conducție termică (autocălire) sau cu apă.

Generatoarele utilizate pot fi cu jet de plasmă, cu arc de plasmă transferat sau de înaltă frecvență.

Temperatura plasmei este de 10000...20000⁰C, iar timpul de menținere câteva milisecunde.

Structura obținută este formată din martensită fină care asigură stratului superficial o duritate situată în jurul a 600 HV. Grosimea stratului călit este 0,05...12 mm.

g) Călirea prin punere în soluție se aplică aliajelor cu transformări în stare solidă datorită solubilității variabile a componentilor (figura 4.23).

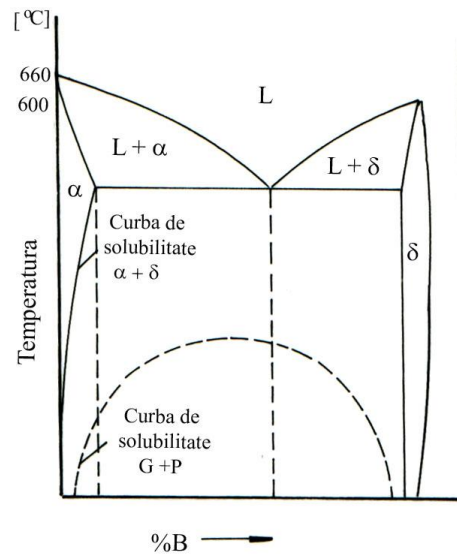


Fig. 4.23 Diagrama de echilibru cu limita de solubilitate

Practic, călirea de punere în soluție constă în fixarea la temperatură scăzută a structurilor de la temperaturi înalte. Ea conduce la obținerea unei soluții solide suprasaturate cu proprietăți plastice.

În cazul oțelurilor, pentru a deosebi acest tratament de cel aplicat aliajelor neferoase la care se execută și îmbătrânire, acest procedeu mai este denumit hipercălire.

Se executa o preîncălzire de 1...2 h la o temperatură de 600°C după care o încălzire rapidă la 1000...1100°C pentru oțelurile nestabilizate, respectiv 1050...1150°C pentru oțelurile stabilizate cu Ti sau Nb. Durata de menținere este în funcție de grosimea piesei. Pentru a menține dizolvate carbonul și elementele de aliere, răcirea trebuie efectuată cu viteză mare; astfel, la grosimi sub 10 mm se va utiliza aerul, între 10...20 mm uleiul iar la grosimi mai mari răcirea se face în apă.

După tratamentul de hipercălire se execută recoacere pentru stabilizare și recoacere pentru detensionare.

4.3.2 Revenirea

Revenirea este tratamentul termic care constă în încălzirea oțelurilor călite mastensitic la o temperatură inferioară temperaturii A_{c1} , menținerea la această temperatură un timp determinat și apoi răcirea.

Întrucât structura oțelurilor după călire este formată din martensită și austenită reziduală, martensita fiind foarte dură și fragilă este necesar un tratament termic care să aducă materialul dintr-o stare de soluție solidă suprasaturată într-o stare apropiată de cea de echilibru. Rezultă structuri care conferă materialului valori ridicate ale rezistenței de rupere, asociată cu o bună plasticitate. Transformările structurale, respectiv proprietățile mecanice sunt în funcție de temperatură, de durata de menținere, de viteza de încălzire și de viteza de răcire.

Revenirea se practică pentru a provoca o întoarcere incompletă spre starea de echilibru, corespunzătoare temperaturii ambiante. Se bazează pe precipitarea de faze noi printr-o reîncălzire, în condiții speciale, pentru a atinge gradul de restabilire corespunzătoare proprietăților urmărite.

Transformările care se produc pot fi puse în evidență cu ajutorul curbelor dilatometrice care redau variația corespunzătoare transformărilor structurale, scăzându-se dilatarea termică. Din studiul acestora rezultă că în urma acestei transformări martensita tetragonală devine cubică.

După intervalele de temperatură la care se face încălzirea, în practică se deosebesc trei tipuri de tratament de revenire:

a) Revenirea joasă are loc la 150...200°C și se aplică după călirea sculelor sau călirea superficială și are scop transformarea martensitei tetragonale în martensită cubică. Astfel, structura devine mai stabilă și se elimină o mare parte din tensiunile interne provocate de transformarea austenitei în martensită tetragonală, obținându-se o detensionare a pieselor călite.

La aceste temperaturi, pe suprafața prelucrată a pieselor se formează oxizi superficiali de diferite grosimi și culori, fapt ce permite aprecierea temperaturii de revenire.

Revenirea joasă cu menținerea mai îndelungată (20...50 h) elimină posibilitatea transformării ulterioare a martensitei și deci posibilitatea modificării în timp a dimensiunilor. Se aplică în cazul sculelor de măsurat, calibrelor, roloilor și bilelor de rulmenți.

b) Revenirea medie se realizează între 200...550°C. Se aplică pieselor la care se impune o tenacitate mai bună, fără a se reduce prea mult duritatea sau elasticitatea, ca de exemplu la arcuri și la alte piese din construcția de mașini. Se obțin următoarele structuri fine:

- între 200...300°C un amestec de martensită cubică și troostită de revenire;
- între 350...450°C troostită de revenire;
- între 450...550°C sorbită de revenire.

Revenirea medie se realizează în băi de săruri sau în cuptoare cu circulație forțată de aer.

c) Revenirea înaltă între (550...650°C) se caracterizează prin structuri globulare de maximă plasticitate și tenacitate dar cu rezistență și duritate scăzute: sorbită de revenire și perlita globulară. Tratamentul termic complet, realizat printr-o călire urmată de revenire înaltă se numește îmbunătățire și este larg utilizat în construcția de mașini pentru piese supuse la eforturi mari și solicitări dinamice.

De menționat faptul că structurile corespunzătoare revenirii la diferite temperaturi sunt specifice fiecărei categorii de oțeluri în parte. Temperaturile de revenire se aleg în funcție de proprietățile necesare pieselor respective pe baza diagramelor de variație a acestor proprietăți cu temperatura de revenire.

La anumite valori de temperaturi de revenire unele oțeluri prezintă o creștere a durității sau o scădere a rezistenței și chiar a altor caracteristici de tenacitate și plasticitate. Acest fenomen a fost numit fragilitate de revenire și se manifestă în general în două intervale de temperaturi:

- în intervalul 200...400°C fragilitatea apare în special la oțelurile care prin călire mențin mai multă austenită reziduală. Se numește “fragilitate la revenire la temperaturi joase” sau “fragilitate ireversibilă”.

- în intervalul 500...600°C fragilitatea este tipică pentru unele oțeluri de îmbunătățire aliate cu Mn, Cr, Si, Ni și este cauzată de separarea unor compuși ai fosforului la marginea grăunților. Poate fi atenuată prin adaosuri de Mo sau W, prin revenire la temperaturi mai înalte, prin răcire rapidă în intervalul respectiv, etc. Este cunoscută sub denumirea de “fragilitate la temperaturi înalte” sau “fragilitate reversibilă”.

Sensibilitatea față de fragilitatea la revenire și temperatura critică a fragilității la revenire depind de compoziția chimică a oțelului respectiv și de condițiile în care s-a efectuat tratamentul complex de călire-revenire.

4.4 TRATAMENTE TERMOCHIMICE

Tratamentele termochimice sunt tratamente prin care se produc modificări structurale ca urmare a difuziei diferitelor elemente în metal, ceea ce permite varierea în limite largi a proprietăților aliajului inițial.

Tratamentele termochimice sunt tratamente de suprafață și constau în încălzirea piesei până la o anumită temperatură, într-un mediu gazos, lichid sau solid, care pune în

libertate elementul de difuzie în stare atomică, menținerea la această temperatură și apoi răcirea.

Tratamentele termochimice se aplică cel mai frecvent în scopul durificării superficiale (pentru mărirea rezistenței la uzare) sau, uneori și în alte scopuri: mărirea refractarității, a rezistenței la coroziune sau a rezistenței la oboseală.

Avantajele tratamentelor termochimice:

- forma exterioară a piesei nu prezintă importanță;
- pericolul supraîncălzirii suprafeței piesei poate fi înlăturat prin tratament termic ulterior;
- se creează o diferențiere mare între proprietățile miezului și ale suprafeței piesei, suprafața având o compoziție și proprietăți ce nu pot fi obținute printr-o metodă obișnuită în masa întreagă de material.

Întregul proces de tratament termochimic se realizează prin trei procese elementare: disocierea, adsorbția și difuzia.

Disocierea constă în descompunerea moleculelor mediului și formarea unor atomi activi ai elementului de difuzie. Procesele de disociere pot fi atât procese de descompunere a compușilor chimici, cât și procese de disociere a moleculelor elementelor, ca de exemplu:



Prezența atomilor liberi este determinată de gradul de disociere, care arată volumul gazului ocupat de atomii liberi în raport cu întregul volum al gazului.

Adsorbția constă în aderența atomilor activi la suprafața piesei. Ea depinde de o serie de factori: natura metalului, natura elementului de difuzie, proporția lui în mediul înconjurător, temperatura, starea suprafeței, etc. și este greu de reglat.

Difuzia constă în pătrunderea atomilor adsorbiți de suprafața piesei în adâncimea metalului. Acest proces este posibil dacă elementul care difuzează este solubil în metalul de bază și dacă temperatura este suficient de înaltă pentru a asigura atomilor o energie termică suficientă.

Legile difuziei. Dacă un aliaj care prezintă un gradient de concentrație este încălzit, timp de câteva ore, la o temperatură apropiată de cea de topire, atomii migrează, creînd un curent macroscopic în sensul gradientului de concentrație.

Pe aceasta se bazează prima lege a lui Fick care se referă la difuzia într-un corp cristalin:

$$dm = -D \cdot (dC/dx) \cdot dS \cdot dt \quad (4.8)$$

unde:

dm – fluxul continuu de atomi ai substanței;

dx – grosimea stratului izotrop;

ds – secțiunea transversală a stratului izotrop;

$d\tau$ - intervalul de timp;

D – coeficient de difuzie (cantitatea de substanță care difuzează în unitatea de timp, prin unitatea de suprafață, pentru unitatea de gradient de concentrație).

Prima lege a lui Fick se referă la starea staționară a fluxului de difuzie, când concentrația în orice punct nu variază în timp.

În cazul unui flux nestaționar, când concentrația în orice punct variază în timp, este valabilă cea de-a doua lege a lui Fick, care pentru cazul în care coeficientul de difuzie D nu depinde de concentrație are forma următoare.

$$\frac{dc}{d\tau} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (4.9)$$

Valoarea coeficientului de difuzie va fi:

$$A = D_0 \times e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (4.10)$$

unde: D_0 - factor de frecvență ce depinde de rețeaua cristalină și energia de activare Q (cal/atom gram):

$$D_0 = C \cdot Q \cdot a^2 \quad (4.11)$$

cu: C – constantă;

a – distanța interatomică;

R – constanta gazelor (2 cal/grad);

T – temperatura absolută [k].

Mărimile valorilor D_0 și Q ale proceselor de difuzie în fier sunt date în tabelul 4.4:

Valori pentru D_0 și Q la difuzia unor elemente în fier Tab. 4.4

Elementul care difuzează	D_0 [cm ² /s]	Q [cal/atom g]
Autodifuzie	0,7	68.000
Mangan	0,48	66.000
Nichel	0,35	67.500
Molibden	0,68	59.000
Wolfram	-	62.500
Carbon	0,04	31.400
Azot	0,03	34.600

Viteza de difuzie mare a carbonului și a azotului se explică în primul rând prin valoarea mult mai mică a energiei de activare.

Difuzia este influențată de o serie de factori: structura cristalină a dizolvantului, natura elementului de difuzie, concentrația, mecanismul de difuzie, deformația rețelei cristaline și dislocațiile, transformările magnetice și acțiunea radiațiilor, viteza de încălzire, etc.

În funcție de elementul care pătrunde prin difuzie în stratul de suprafață al piesei, tratamentele termochimice poartă denumiri specifice: carburarea (cementare) – C;

niturarea – N; carbonitrurarea (cianizare) – C+N; metalizare prin difuzie (îmbogățirea stratului superficial cu diferite elemente metalice, care formează cu fierul soluții solide de substituție); cromizarea de difuzie –Cr; aluminizare – Al; siliciere – Si; wolframizare – W, etc.

4.4.1 Carburarea (cementarea) oțelurilor

Este tratamentul termochimic de saturare a stratului superficial cu carbon aplicat pieselor din oțel carbon și aliat cu un conținut de carbon sub 0,25% (oțeluri de cementare). Procesul constă într-o încălzire peste punctul A_{c3} (870-950°C) într-un mediu capabil să cedeze carbon, menținerea în acest mediu în funcție de adâncimea dorită și apoi răcirea în anumite condiții. După carburare, se aplică în mod obligatoriu tratamentele termice impuse pieselor.

Scopul carburării îl constituie realizarea unui strat superficial, îmbogățit cu carbon, care după călire obține o duritate ridicată (aproximativ 58...64 HRC) rezistent la uzare, oboseală și la presiune de contact (pitting) cu păstrarea miezului cu tenacitate ridicată rezistent la șocuri. Stratul îmbogățit în C are o adâncime de 0,4...3,5 mm (tabelul 4.5) și are conținut ridicat de carbon (0,7...1,14%).

Adâncimea stratului de carburare

Tab. 4.5

Durata cementării [h]	1	5	10	30	60
T=850°C	0,4 mm	0,8 mm	1,2 mm	1,5 mm	2,5 mm
T=900°C	0,6 mm	1,2 mm	1,5 mm	2,5 mm	3,5 mm

Procedeele de obținere a straturilor carburate sunt: carburarea în mediu solid, lichid, gazos la presiune joasă, ionica (în plasmă), accelerată în azot și propan, pe bază de azot și metanol (gaz sintetic) și în pat fluidizat.

a) Carburarea în mediu solid constă în încălzirea pieselor din oțel complet prelucrate, într-un amestec format din cărbune de lemn (mangal), o substanță de activare (de obicei un carbonat) și un liant. De exemplu, se utilizează amestecul alcătuit din 60% cărbune din lemn de mesteacăn și 40% $BaCO_3$. Se mai pot adăuga Na_2CO_3 , K_2CO_3 , cărbune de oase, etc.

b) Carburarea în mediu lichid constă în încălzirea în băi de săruri topite. Mediul de carburare este format din 75...85% Na_2CO_3 ; 10...15% NaCl; 5...10% SiC. Este un procedeu utilizat mai rar, pentru piese mici, care necesită o grosime mică a stratului de difuzie (0,4...0,5 mm).

c) Carburarea în mediu gazos este cel mai răspândit procedeu de carburare. Există trei grupe de medii gazoase:

- medii naturale introduse direct în spațiul de carburare (gaz metan, gaz de sondă);

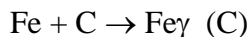
- medii produse prin cracarea sau disocierea termică a unor hidrocarburi lichide (etanol, acetonă, metanol, petrol lampant) care sunt picurate în spațiul de lucru al cuptorului;

- medii gazoase formate din gaz suport cu adaosuri de gaz natural sau propan drept gaze active (carburare în atmosferă controlată).

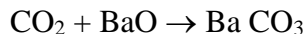
Procedeul de carburare în mediu gazos prezintă următoarele avantaje:

- durată redusă de încălzire;
- adâncime mai mare a stratului carburat;
- piesele se pot căli direct la temperatura de carburare;
- proces tehnologic mai simplu;
- posibilitatea reglării carburării în cursul procesului;
- piesele au suprafața curată, fără aderențe din amestec.

Carburarea are loc prin descompunerea oxidului de carbon și formarea carbonului activ care este adsorbit de fier:



Prin adăugarea carbonaților în amestecul de carburare se acționează procesul, deoarece descompunerea lor asigură o sursă suplimentară de carbon activ:



Adâncimea stratului de difuzie crește odată cu creșterea temperaturii și a duratei de carburare (figura 4.24).

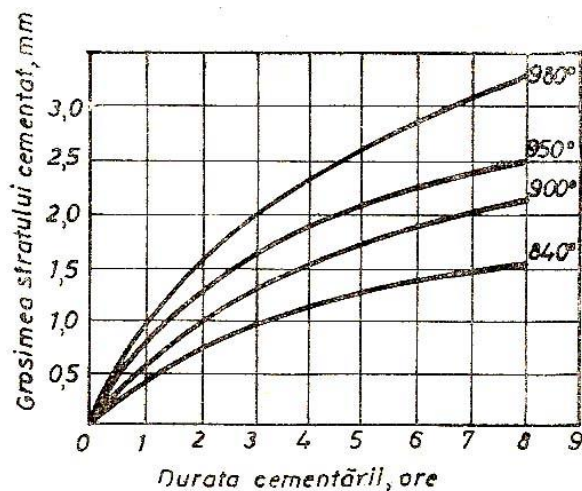


Fig. 4.24 Influența temperaturii și duratei asupra stratului carburat

d) Carburarea ionică are la bază fenomenele fizico-chimice caracteristice descărcării în gaze rarefiate și se efectuează prin intermediul descărcării luminescente anormale care servește pentru activarea și transportul carbonului la suprafața piesei.

Sursa de carburare este în general CH_4 sau C_3H_8 . Carburarea se poate executa în cuptoare în vid la 1000°C sau în prezența plasmei la temperaturi de $780\text{-}850^\circ\text{C}$, ceea ce favorizează producerea deformațiilor.

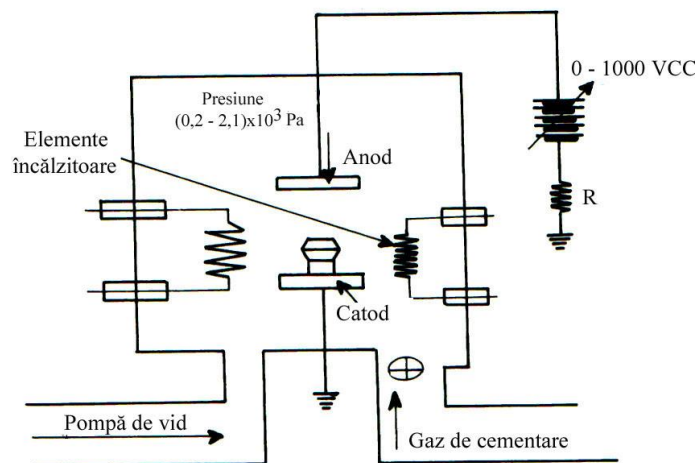


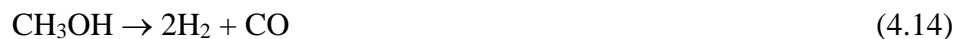
Fig. 4.25 Schema de principiu a unei instalații de carburare ionică

c) Carburarea în amestec de azot-propan este un procedeu relativ recent de accelerare a carburării, cunoscut sub denumirea de EUROCARB (figura 4.26).

Presiunea de lucru este egală cu presiunea atmosferică. Deoarece presiunea parțială a propanului este foarte slabă, atmosfera se diluează cu azot (gaz metan).

f) Carburarea pe bază de azot și metanol reduce substanțial consumul de gaz în raport cu metodele convenționale și implicit și poluarea mediului.

La temperaturi de peste 750°C metanolul disociază după reacția:



Rezultă o atmosferă formată din 66,7% H_2 și 33,3% CO . În practică conținutul de CO scade sub 25% prin diluarea amestecului cu azot pentru a se evita depunerea de funingine.

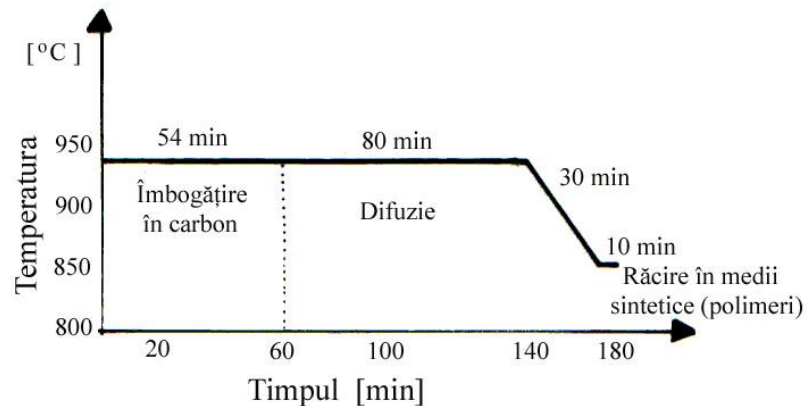


Fig. 4.26 Ciclul de carburare la procedeul ECOCARB

Straturile carburante au structuri determinate de compoziția chimică a oțelului și de tratamentele termice aplicate.

Dupa călire, structura stratului carburat este formată din martensită aciculară foarte fină cu o cantitate minimă de austenită reziduală și cu carburi fine și uniforme dispersate baza metalică.

Carburarea se aplică unor piese supuse în exploatare unor solicitări simple sau complexe la uzură, oboseală, presiune de contact și de șoc ca: roți dințate, axe canelate, came și arbori cu came, bolțuri, buceșe, etc.

Tratamentul termic al pieselor cementate. Pentru realizarea scopului cementării, de a se obține o duritate superficială mare cu un miez tenace, este necesar ca ulterior să se efectueze un tratament termic, care constă din călire și revenire joasă. Prin acesta se obține la suprafață martensită cu un conținut ridicat de carbon, iar în miez se menține duritatea mică și tenacitatea mare.

La stabilirea regimului de tratament termic, trebuie să se țină seama de următoarele particularități:

- încălzirea îndelungată provoacă creșterea granulației; tratamentul termic ulterior trebuie să corecteze acest defect;
- carbonul este repartizat neuniform în secțiune; la suprafață este un strat cu un conținut mare de carbon (1,0...1,1%), iar în miez conținutul de carbon este redus (0,1...0,2%).

După călire se aplică o revenire joasă la 150...180°C, în scopul detensionării și al transformării martensitei tetragonale în martensită cubică, mai puțin instabilă.

4.4.2 Nitruarea oțelurilor

Nitruarea este un tratament termochimic de saturare superficială cu azot, aplicat oțelurilor și fontelor cu o anumită compoziție chimică, la o temperatură inferioară punctului A_{c1} (500...600°C), timp de 6...60 ore, într-o atmosferă de amoniac sau în alt mediu capabil să pună în libertate azot activ. Scopul nitrurării îl constituie creșterea

durității stratului superficial, rezistența la uzare, limita la oboseală și rezistența la coroziune în apă, atmosferă, vapori, etc.

Stratul nitrurat își păstrează duritatea până la temperaturi ridicate (500...550°C), în timp ce duritatea unui strat superficial cementat, cu structură martensitică nu se menține decât până la 200...220°C. Se supun nitrurării oțelurile de îmbunătățire, aliate cu aluminiu, crom sau molibden, elemente care formează nitruri în stratul superficial.

În comparație cu carburarea, nitrurarea prezintă următoarele avantaje:

- duritate foarte mare, la o adâncime mică a stratului;
- temperatura mai mică, ceea ce permite evitarea deformațiilor;
- se pot nitrura suprafețe mari;
- stratul prezintă rezistență mai mare la uzare, coroziune și oboseală.

Dezavantajele procedurii constau în:

- necesitatea unei instalații complicate;
- durata mare a procesului;
- stratul superficial este foarte fragil;
- dă rezultate bune numai la oțelurile aliate.

Înainte de nitrurarea, piesele se supun tratamentului de îmbunătățire în scopul obținerii unei rezistențe și unei tenacități ridicate în miezul piesei. Urmează prelucrarea de finisare și apoi nitrurarea constând în încălzirea la 500...550°C într-un curent de amoniac. Grosimea stratului de difuzie este de 0,2...0,5 mm. La început se menține un grad redus de disociere deoarece hidrogenul format împiedică pătrunderea azotului.

Duritatea stratului nitrurat descrește cu cât temperatura de nitrurare este mai înaltă și cu cât adâncimea stratului nitrurat crește (figurile 4.27 și 4.28). Ridicarea temperaturii de nitrurare reduce durata procesului pentru aceeași grosime a stratului, dar micșorează duritatea.

La rândul ei, adâncimea de nitrurare se reglează prin durata nitrurării (tabelul 4.6).

Adâncimea de nitrurare

Tab. 4.6

Durata cementării [h]	6	12	18	24	30
Oțel cu 0,06 %C	0,48 mm	0,70 mm	0,81 mm	0,91 mm	1,00 mm
Oțel cu 0,54 %C	0,20 mm	0,40 mm	0,52 mm	0,65 mm	0,72 mm
Oțel cu 0,82 %C	0,13 mm	0,25 mm	0,32 mm	0,40 mm	0,46 mm

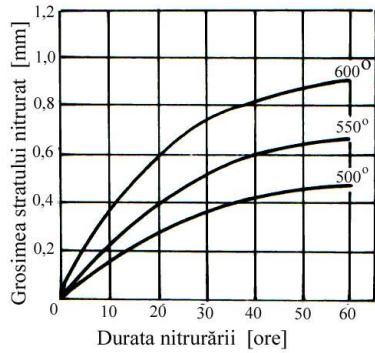


Fig.4.27 Influența temperaturii și duratei de niturare asupra grosimii duriității și stratului de difuzie

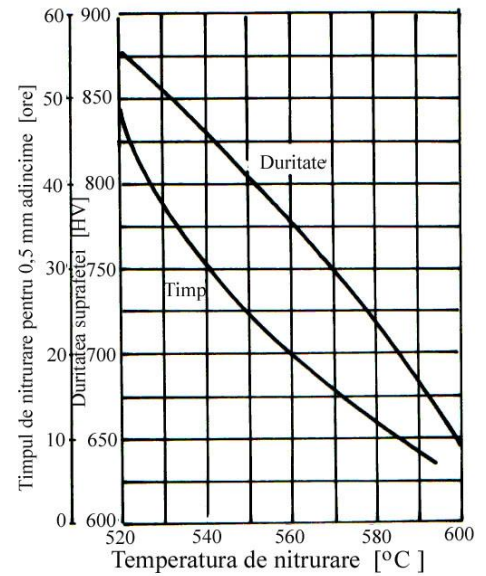


Fig.4.28 Influența temperaturii de niturare asupra timpului de niturare pentru un strat de 0,5 mm

Conform diagramei de echilibru, în sistemul Fe-N (figura 4.29) se pot forma o serie de faze.

Nitrurarea se poate realiza în gaz sau plasmă.

Nitrurarea în gaz se efectuează în atmosferă de amoniac care, la încălzire se descompune după reacția:



O parte din azotul rezultat (activ) difuzează în suprafața oțelului, iar o altă parte formează molecule de N₂.

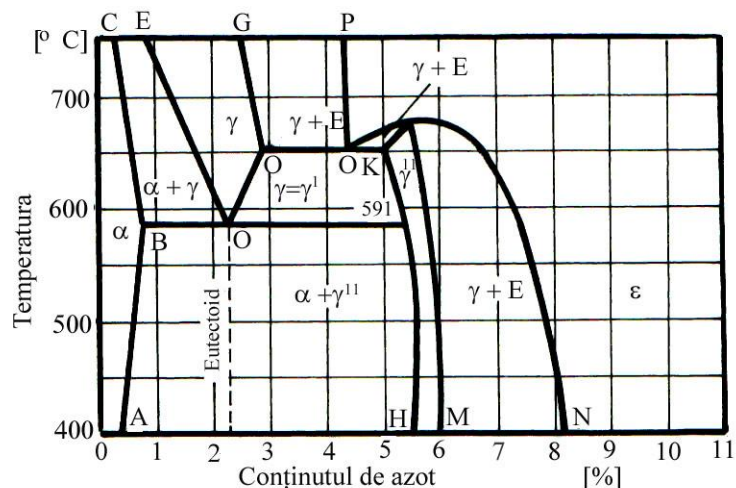


Fig. 4.29 Diagrama de echilibru Fe-N

α - ferita cu azot – o soluție solidă de azot în $Fe\alpha$, conținând max. 0,42% N la 591°C și 0,01 la 20°C;

δ - austenită cu azot – soluție solidă de azot în $Fe\delta$. Se întâlnește la temperaturi peste eutectoidul de 591°C;

δ' – soluție solidă pe baza nitrurii de fier Fe_4N (faza de pătrundere cu rețea cubică cu fețe centrate);

ϵ - soluție solidă pe baza nitrurii de fier Fe_2N (faza de pătrundere).

Schema unei instalații de nitrurare este prezentată în figura 4.30.

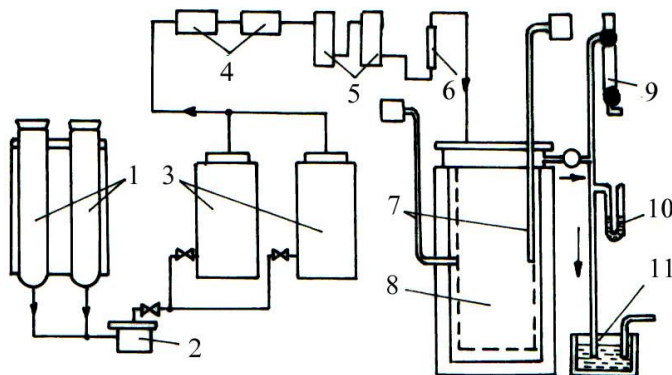


Fig. 4.30 Schema instalației de nitrurare

1 – butelie de amoniac; 2 – filtre; 3 – evaporatoare; 4 – decantoare pentru uscarea amoniacului gazos; 5 – filtru pentru filtrarea fină; 6 – rotametre; 7 – termocuple; 8 – cuptor de nitrurare; 9 – analizor de gaze; 10 – manometru; 11 – presostat.

La început se menține un grad redus de disociere, deoarece hidrogenul format împiedică pătrunderea azotului. Părțile ce nu trebuiesc nitrurate se protejează cu staniu, cu silicat de sodiu sau cu vopsele speciale.

În figura 4.31 se arată domeniile de existență ale fazelor în funcție de concentrația de amoniac, de potențialul de nitrurare și de temperatură.

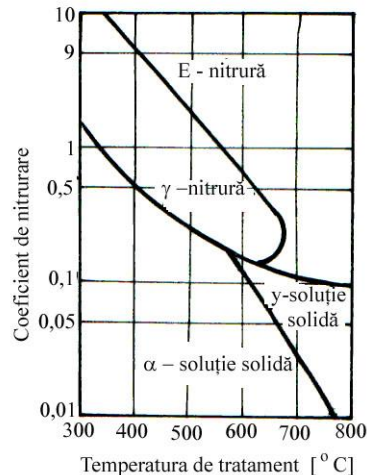


Figura 4.31 Domeniul de existență a fazelor sistemului Fe-N în corelație cu potențialul de nitrurare și cu temperatura

a) Nitrurarea în gaz se poate face în 1...3 trepte. La nitrurarea în gaz cu o singură treaptă de temperatură (490...520°C) duratele de menținere sunt mari, (peste 30 ore). În situația că atmosfera nu este reglată corespunzător rezultă straturi cu compuși foarte grași.

b) Nitrurarea sub presiune se efectuează folosind capsule umplute cu amoniac lichid și închise cu un dop dintr-un metal ușor fuzibil. Prin încălzire dopul se topește și amoniacul se evaporă.

c) Nitrurarea ionică ca și carburarea ionică are la bază fenomenele fizico-chimice caracteristice descărcărilor în gaze rarefiate, cu deosebirea că la nitrurarea ionică energia descărcării luminescente este necesară atât pentru încălzirea șarjei, cât și pentru introducerea azotului în stratul superficial.

Deci o instalație de nitrurare ionică (figura 4.32) trebuie să creeze condițiile necesare pentru realizarea unei descărcări electrice (luminescente anormale), într-o atmosferă de azot-hidrogen, aflată la o presiune scăzută (2...13 mbar) în care piesele de nitrurat constituie catodul descărcării.

Parametrii principali ai procesului sunt:

- tensiunea între catod (șarja) și anod (recipient) care de regulă este cuprinsă între 300...1100V;

- presiunea mediului gazos între 0,1...10 torr cu precizarea că, între 0,1...0,3 torr se face curățirea șarjei prin pulverizare catodică, iar între 1...10 torr se alege presiunea de regim a nitrurării propriu-zise;
- compoziția mediului gazos cu influență decisivă asupra structurii și compoziției fizice a stratului nitrurat. Cea mai utilizată compoziție a mediului gazos este formată din azot și hidrogen în raportul 1:3, raport ce rezultă din disocierea completă a amoniacului;
- temperatura, în cazul nitrurării ionice, nu influențează potențialul de azot, ceea ce permite scăderea ei până la 350⁰C;
- viteza de încălzire este de 120...150⁰C/h, până la temperatura de 400⁰C și 50...100⁰C/h peste această temperatură, pentru a se evita supraîncărcarea miezului;
- durata de menținere este între 20 minute și 30 ore, în funcție de materiale și de proprietățile dorite pentru stratul nitrurat.

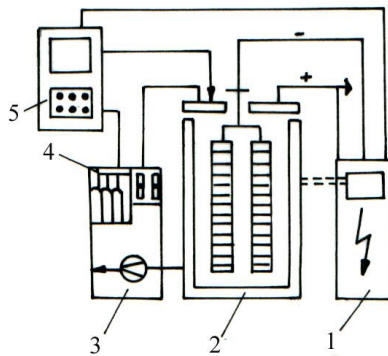


Fig. 4.32 Schema bloc a unei instalații de nitrurare ionică.

d) Nitrurarea prin încălzire cu C.I.F. permite accelerarea procesului de nitrurare care la temperaturi de 500...550⁰C are o durată de 3...5 ore. Aceasta se explică prin crearea unor condiții speciale de disociere a amoniacului, care se produce numai în apropierea suprafeței încălzite a oțelului.

e) Nitrurarea în mediu lichid se poate realiza prin mai multe procedee:

- în băi de cianuri, la 550...580⁰C, obținându-se un strat nitrurat pe suprafața căruia poate să apară o pojghiță fină de carbonitruri prin care nu mai difuzează carbonul;
- în băi de săruri neutre (BaCl, NaCl) prin care se insuflă amoniac; se utilizează pentru nitrurarea anticorozivă (10...15 min la 730⁰C);
- în soluții apoase de amoniac, prin încălzire cu C.I.F.. În jurul piesei se formează o peliculă de gaze în componența căreia intră și amoniacul.

f) Acoperirea cu nitruri se realizează prin depunerea acestora pe suprafața încălzită a pieselor cu ajutorul unui amestec de cloruri volatile ale diferitelor elemente și azot sau azot cu hidrogen. Acoperirile cu densitate maximă se obțin la presiune mică. Temperaturile de evaporare a clorurilor utilizate sunt până la aproximativ 350⁰C, iar temperatura de depunere între 1100...2700⁰C.

Straturile nitrurate au duritatea superficială dependentă de natura constituenților structurali și de distribuția lor în strat. Ea este determinată de temperatura de nitrurare și

de durata de menținere, atingând valori între 700...1200 HV_{0,2}. De remarcat că stratul nitrurat își păstrează duritatea ridicată până la temperaturi de 500...550°C.

De asemenea, prin nitrurare scade coeficientul de frecare, rezistența la uzură crește fiind de 2...4 ori mai mare decât în cazul oțelului carburat.

În consecință, nitrurarea se recomandă să fie aplicată pieselor și sculelor solicitate la uzură, oboseală și uneori la coroziune.

4.4.3 Carbonitrurarea

Este un tratament termochimic care constă în difuziunea simultană în straturile superficiale ale piesei a carbonului și azotului la temperaturi de 800...850°C. Oțelurile cărora li se aplică acest tratament au un conținut de carbon de 0,2...0,4%.

Concentrația de carbon și azot obținută este dependentă de temperatură și durata procesului (figurile 4.33 și 4.34).

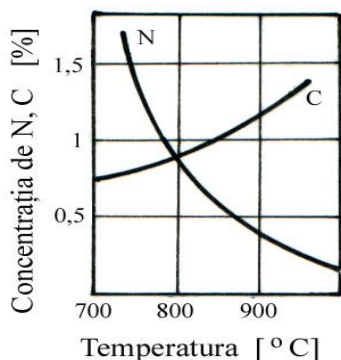


Fig. 4.33 Influența temperaturii de carbonitrurare asupra concentrației carbonului și azotului

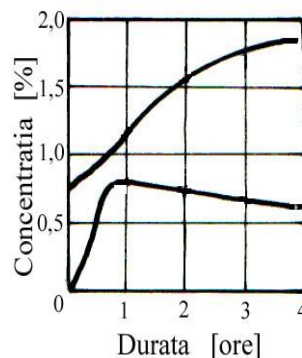


Fig. 4.34 Influența duratei de carbonitrurare asupra concentrației de carbon și azot

La carbonitrurare ambele elemente (C și N) se află în austenită. Prin carbonitrurare se urmărește creșterea durității stratului superficial, a călibilității și a rezistenței la uzură.

a) Carbonitrurarea în gaz are loc într-o atmosferă de carburare căreia i se adaugă 0,5...10% amoniac. Dependența dintre adaosul de amoniac și conținutul superficial de azot pentru diferite temperaturi este redată în figura 4.35. Se constată necesitatea ca la temperaturi joase de tratament adaosurile de amoniac să fie reduse pentru a nu se depăși 0,4%N în stratul superficial, deoarece crește cantitatea de austenită reziduală și se formează pori.

b) Carbonitrurarea în băi de săruri se face în amestecuri de cianuri: NaCN; KCN; Ca(CN)₂ și săruri neutre: NaCl, Na₂CO₃, CaCl₂. Aceste amestecuri au temperatura de topire și un conținut de gaze nocive mai mare.

În funcție de raportul cantitativ al cianurilor și sărurilor neutre, băile de cabonitrurare pot fi: cu conținut mare de cianuri ceea ce duce la evaporarea de cianuri (90...95%), cu conținut mediu (40...50%) și cu procent mic de cianuri (1...5%). Cel mai frecvent se utilizează baia cu compoziția: 30%NaCN, 40% NaCO₃ și 30% NaCl.

Procesul se desfășoară după următoarele reacții chimice:

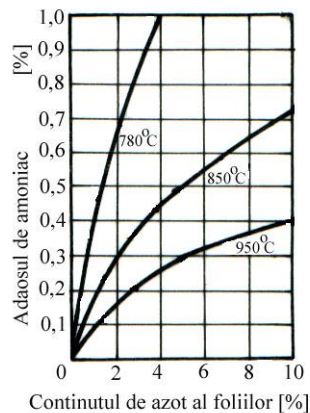
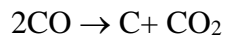
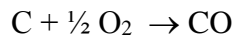
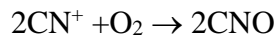


Fig. 4.35 Influența adaosurilor de amoniac și a temperaturii de cabonitrurare

După ambele procedee de carbonitrurare, pentru a obține o duritate ridicată a stratului, piesele se supun călirii, iar dacă în final piesele se supun rectificării se execută o revenire.

c) Carbonitrurarea la temperaturi joase (nitrocarburearea) constă în îmbogățirea straturilor superficiale în carbon și azot la temperatura de 550...580°C cu durata de menținere 1...3 ore. În timpul procesului nu au loc transformări structurale în miez, ceea ce împiedică apariția tensiunilor interne și deformațiilor.

Scopul este de a mări duritatea superficială, rezistența la coroziune, rezistența la temperaturi ridicate și proprietățile de rezistență la gripare.

d) Carbonitrurarea în mediu solid (cianizare) se utilizează rar, pentru piese unicate. Mediul de cianurare este format din 30...40% ferocianură de potasiu K₄Fe(CN)₆ + 10% carbonat de sodiu Na₂CO₃ + mangan.

Concluzii

Tratamentul termic este un proces tehnologic complex prin care se urmărește obținerea anumitor constituenți structurali care induc proprietățile de exploatare dorite.

În funcție de scopul urmărit se pot utiliza tratamente termice primare (recoacerea, normalizarea) prin care se realizează omogenizarea chimică și structurală sau tratamente termice secundare (călirea și revenirea) care asigură proprietățile mecanice sau fizice cerute de utilizator.

Pentru obținerea unor proprietăți superioare, în unele cazuri se utilizează tratamentele termochimice. Mărirea prețului de producție ca urmare a aplicării tratamentelor termochimice este compensată de calitatea superioară a suprafețelor pieselor obținute.

Tratamentele termochimice sunt tratamente prin care se produc modificări structurale ca urmare a difuziei diferitelor elemente în metal, ceea ce permite varierea în limite largi a proprietăților aliajului inițial.

Ele sunt tratamente de suprafață și constau în încălzirea piesei până la o anumită temperatură, într-un mediu gazos, lichid sau solid, care pune în libertate elementul de difuzie în stare atomică, menținerea la această temperatură și apoi răcirea.

Tratamentele termochimice se aplică cel mai frecvent în scopul durificării superficiale (pentru mărirea rezistenței la uzare) sau, uneori și în alte scopuri: mărirea refractarității, a rezistenței la coroziune sau a rezistenței la oboseală.

Cele mai utilizate tratamente termochimice, în funcție de compoziția chimică a materialului piesei și scopului urmărit sunt: carburarea (cementarea), nitrurarea și carbonitrurarea oțelurilor oțelurilor.

Cap 5. EXECUTAREA SI TESTAREA UNUI ARBORE CU CAME TUBULAR

5.1 PROIECTAREA PRIN METODA ELEMENTULUI FINIT A AUNUI ARBORE CU CAME

Arborele de distribuție (arborele cu came) constituie elementul principal al mecanismului de distribuție al unui motor cu ardere internă. Este un ax care se fixează în blocul-carter sau în chiulasă, paralel cu arborele cotit. El are rolul de a asigura comanda deschiderii și închiderii supapelor, în concordanță cu desfășurarea ciclului motor în fiecare cilindru. Totodată mai acționează și diferite agregate auxiliare montate pe motor: pompa de benzină, distribuitorul și pompa de ulei, pompa de injecție, etc.(figura 5.1).

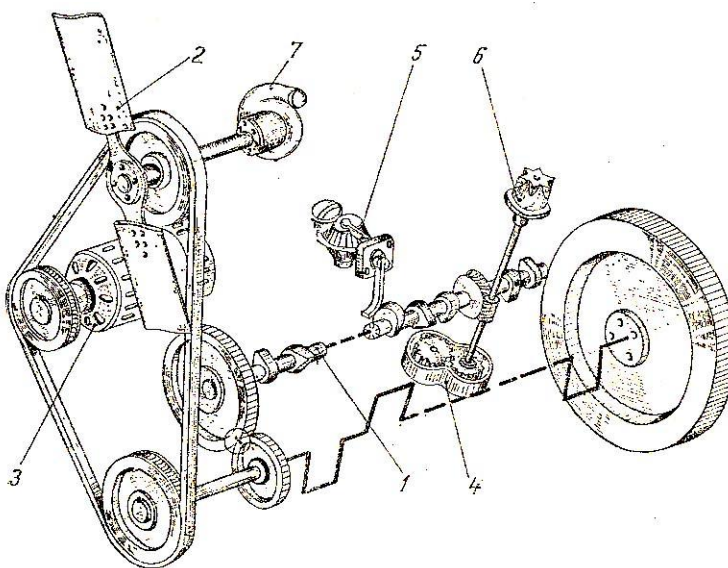


Fig. 5.1 Mecanism de distribuție al m.a.s.

1- arbore de distribuție; 2-ventilator; 3-generator de curent; 4-pompă de ulei;
5-pompă de benzină; 6-distribuitor; 7-pompă de apă

La motoarele în patru timpi, arborele de distribuție se rotește cu o viteză de rotație egală cu jumătate din viteza de rotație a arborelui cotit, asigurând astfel deschiderea supapelor o singură dată pe ciclu.

În timpul funcționării, arborele este supus la încovoiere, datorită forțelor ce se transmit în came în momentul deschiderii supapelor. Încovoierea arborelui conduce la dezaxarea fusurilor în lagăre și a camelor față de tachet, ceea ce poate provoca apariția unor defecțiuni ale mecanismului de distribuție. Totodată aceste forțe, împreună cu rezistența agregatelor antrenate solicită arborele de distribuție și la torsiune. În plus, forțele care acționează asupra camelor determină presiuni ridicate pe suprafețele acestora și, în condițiile frecării semiuscate proprii cuplului camă-tachet, generează un proces intens de uzură a acestui cuplu.

Luând în considerare aceste aspecte și importanța pe care o are arborele de distribuție în buna funcționare a motorului cu ardere internă considerăm important să se

studieze starea de deformare și de tensiune din acesta. În studiul efectuat sunt analizate două variante constructive ale arborelui de distribuție: soluția clasică, cu arborele corp comun cu camele și o soluție nouă, arborele fiind tubular și camele aplicate.

5.1.1 Metoda elementului finit

Procedeu modern de analiză a structurilor, apărut în jurul anilor 1950, metoda elementului finit s-a dezvoltat o dată cu dezvoltarea tehnicii de calcul. Astăzi există scrise o serie de lucrări ample, adevărate monografii care tratează această metodă. Utilizarea calculatoarelor a impus transpunerea relațiilor de calcul analitic sub formă matricială.

Conceptul de bază al metodei elementului finit constă în substituirea elementului de rezistență continuu analizat, printr-un ansamblu de subdiviziuni numite "elemente finite", acestea fiind legate între ele numai în anumite puncte, numite puncte nodale.

Datorită acestei înlocuiri, studiul stării de efort și deformație a elementului de rezistență analizat, se face numai într-un număr finit de puncte. Determinarea deplasărilor, eforturilor și tensiunilor din punctele nodale este posibilă prin utilizarea calculatorului, rulând programe de calcul specializate pentru această problemă.

În metoda elementului finit, fiecare element finit este caracterizat printr-o matrice de rigiditate sau flexibilitate, prin intermediul căreia se alcătuiește matricea de rigiditate a întregului element de rezistență studiat.

Matricea de rigiditate structurală, pentru întreg elementul de rezistență (sau structură) analizat, se obține prin ansamblarea matricelor de rigiditate ale elementelor finite în care acesta a fost discretizat.

Metoda elementelor finite poate fi exprimată prin metoda deplasărilor cât și prin metoda eforturilor.

Ecuatiile matriciale de bază pot fi exprimate astfel :

- pentru metoda deplasărilor

$$\{R\} = [K] * \{D\} \quad (5.1)$$

- pentru metoda eforturilor

$$\{D\} = [F] * \{R\} \quad (5.2)$$

unde : - $\{R\}$ - vectorul coloană al forțelor

- $\{D\}$ - vectorul coloană al deplasărilor

- $[K]$ - matricea de rigiditate structurală a întregii structurii

- $[F]$ - matricea de flexibilitate a întregii structurii

se știe că $[F] = [K]^{-1}$

O dezvoltare mai mare a luat metoda elementului finit, având la bază metoda deplasărilor. În acest caz necunoscutele sunt deplasările nodale, acestea se vor determina prin rezolvarea ecuației (5.2.) rezultând :

$$\{D\} = [K]^{-1} * \{R\} \quad (5.3)$$

Cunoscându-se deplasările $\{D\}$ se vor calcula deformațiile specifice $\{\varepsilon\}$

$$\{\varepsilon\} = [B] * \{D\} \quad (5.4)$$

unde : - $[B]$ - matricea operator

Pentru problemele spațiale, s-au utilizat notațiile consacrate ale deplasărilor, notate prin : u ; v ; w - deplasările după direcțiile axelor x ; y ; z , cu aceasta relația (2.90.) devine :

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \quad (5.5)$$

Utilizând relațiile de mai sus se vor calcula tensiunile aplicând relația :

$$\{\sigma\} = [E] * \{\varepsilon\} \quad (5.6)$$

unde :

$$\{\sigma\} = \left\{ \sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx} \right\}$$

$$\{\varepsilon\} = \left\{ \varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx} \right\}$$

$$[E] = \frac{E}{2(1+\mu)(1-2\mu)} *$$

$$* \begin{bmatrix} 2(1-\mu) & 2\mu & 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 2\mu & 2(1-\mu) & 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 2\mu & 2\mu & 2(1-\mu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\mu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\mu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\mu) \end{bmatrix}$$

Aplicarea metodei elementului finit, in varianta metodei deplasărilor, presupune efectuarea următoarelor succesiuni de operații principale :

- împărțirea structurii în elemente finite, numărul și tipul de elemente finite se alege în funcție de specificul problemei, de scopul urmărit, de precizia de calcul dorită și de memoria disponibilă a calculatorului

- stabilirea încărcărilor care acționează în nodurile elementelor finite, precum și a celor ce acționează distribuit asupra elementelor finite

- alcătuirea matricei de rigiditate pentru fiecare element finit și a vectorului coloană a încărcărilor corespunzătoare elementului finit

- ansamblarea matricelor de rigiditate și a vectorilor coloană a încărcărilor corespunzătoare elementelor finite, în matricea de rigiditate structurală, respectiv vectorului coloană a încărcărilor corespunzătoare întregii structuri

- rezolvarea ecuației matriciale (5.3), și determinarea valorilor deplasărilor nodale ale întregii structurii $\{D\}$

- calculul deformațiilor specifice $\{\varepsilon\}$ și ale tensiunilor $\{\sigma\}$ pentru toate elemente finite ale structurii

Această succesiune de operații, se poate realiza prin utilizarea programelor specializate pentru elemente finite.

Pentru exemplificare considerăm o aplicație numerică simplă, căreia urmează să i se efectueze calculele și totodată să i se asocieze acesteia o formulare teoretică adecvată. În problema ce urmează, structura analizată este divizată în triunghiuri care formează elementele finite ale acesteia. În figura 5.2 este arătată o structură plană, divizată în triunghiuri, fiecare nod având două grade de libertate (deplasări nodale), astfel încât fiecare element finit triunghiular are șase grade de libertate.

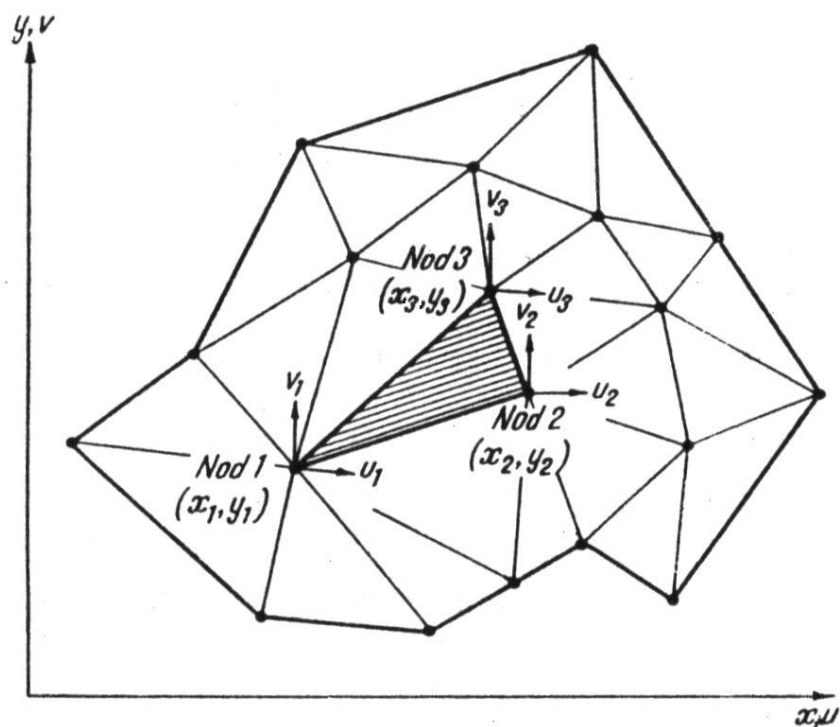


Fig. 5.2 Divizarea structurii plane

Matricea deplasărilor $\{\delta\}$ este alcătuită din necunoscutele problemei

$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix}$$

în care cu litera u sunt notate deplasările în direcția x , iar cu v sunt exprimate deplasările în direcția y . În funcție de aceste deplasări nodale trebuie exprimat câmpul $\{f\}$ al deplasărilor oricărui punct aparținând elementului finit. Pentru aceasta, dintre alternativele posibile, următoarea formulare liniară este dintre cele mai convenabile.

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y \\ a_4 + a_5 \cdot x + a_6 \cdot y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix} = [N] \cdot \{\delta\} \quad (5.7)$$

în care a-urile sunt valori constante, iar [N] reprezintă o matrice ce definește natura câmpului deplasărilor. Atât a-urile cât și matricea [N] urmează să fie explicit exprimate. Valorile constantelor a_1, a_2, \dots, a_6 sunt calculate folosind coordonatele și deplasările nodale, respectiv prin rezolvarea următorului sistem de ecuații cu șase necunoscute:

$$\begin{aligned} u_1 &= a_1 + a_2 \cdot x_1 + a_3 \cdot y_1 \\ u_2 &= a_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot y_2 \\ u_3 &= a_1 + a_2 \cdot x_3 + a_3 \cdot y_3 \\ v_1 &= a_4 + a_5 \cdot x_1 + a_6 \cdot y_1 \\ v_2 &= a_4 + a_5 \cdot x_2 + a_6 \cdot y_2 \\ v_3 &= a_4 + a_5 \cdot x_3 + a_6 \cdot y_3 \end{aligned}$$

ce este obținut prin aplicarea relațiilor (5.5). Sub formă matriceală, expresiile deplasărilor nodale devin:

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \quad \text{și} \quad \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix}$$

încât, notând cu [A] matricea:

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}$$

expresiile deplasărilor nodale sunt

$$\begin{aligned} \{u_e\} &= [A] \cdot \{a_u\} \\ \{v_e\} &= [A] \cdot \{a_v\} \end{aligned}$$

Prin inversare se obține:

$$\{a_u\} = [A]^{-1} \cdot \{u_e\} \quad (5.8)$$

$$\{a_v\} = [A]^{-1} \cdot \{v_e\}$$

în care

$$[A]^{-1} = \frac{[A^*]}{|A|} = \frac{1}{|A|} \cdot \begin{bmatrix} x_2 y_3 - x_3 y_2 & x_3 y_1 - x_1 y_3 & x_1 y_2 - x_2 y_1 \\ y_2 - y_3 & y_3 - y_1 & y_1 - y_2 \\ x_3 - x_2 & x_1 - x_3 & x_2 - x_1 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

unde $|A|$, respectiv valoarea determinantului matricei $[A]$, este de două ori valoarea ariei suprafeței triunghiului. Dacă nodurile 1, 2, 3 sunt numerotate în sensul acelor de ceasornic, valoarea determinantului $|A|$ devine negativă.

Introducerea expresiilor (5.8) în (5.7) și rearanjarea termenilor produce fie a-urile, fie matricea $[N]$, după cum urmează:

$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix} = \frac{1}{|A|} \cdot [D] \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad (5.10)$$

respectiv

$$[N] = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{|A|} \cdot [D] \quad (5.11)$$

în care

$$[D] = \begin{bmatrix} x_2 y_3 - x_3 y_2 & 0 & x_3 y_1 - x_1 y_3 & 0 & x_1 y_2 - x_2 y_1 & 0 \\ y_2 - y_3 & 0 & y_3 - y_1 & 0 & y_1 - y_2 & 0 \\ x_3 - x_2 & 0 & x_1 - x_3 & 0 & x_2 - x_1 & 0 \\ 0 & x_2 y_3 - x_3 y_2 & 0 & x_3 y_1 - x_1 y_3 & 0 & x_1 y_2 - x_2 y_1 \\ 0 & y_2 - y_3 & 0 & y_3 - y_1 & 0 & y_1 - y_2 \\ 0 & x_3 - x_2 & 0 & x_1 - x_3 & 0 & x_2 - x_1 \end{bmatrix}$$

Funcțiile $[N]$, pentru diferitele tipuri de elemente și formulări ale proprietăților acestora, au rol cheie în analiza tensiunilor prin elemente finite. Acestea se numesc funcții de modelare, definind fie modelul ales pentru câmpul deplasărilor, fie geometria elementului adoptat, fie atât câmpul deplasărilor cât și geometria elementului în cazul opțiunii pentru așa-numitele elemente finite izoparametrice.

În cazul problemei bidimensionale, deformațiile specifice sunt date de relațiile cunoscute din elasticitate:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

care, ținând seama de expresiile (5.7), produc:

$$\varepsilon_x = a_2, \quad \varepsilon_y = a_6, \quad \gamma_{xy} = a_3 + a_5$$

Se poate observa că deformațiile specifice sunt independente de valorile constantelor a_1 și a_2 , cât și de coordonatele locului în care se calculează ceea ce justifică denumirea dată uneori acestui tip de element finit, aceea de “element cu deformații constante”.

Ținând seama de expresiile (5.7), ultimele relații pot fi scrise astfel:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \cdot [N] \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = [B] \cdot \{\delta\} \quad (5.12)$$

în care

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \cdot [N] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{|A|} \cdot [D]$$

sau

$$[B] = \frac{1}{2A} \cdot \begin{bmatrix} y_2 - y_3 & 0 & y_3 - y_1 & 0 & y_1 - y_2 & 0 \\ 0 & x_3 - x_2 & 0 & x_1 - x_3 & 0 & x_2 - x_1 \\ x_3 - x_2 & y_2 - y_3 & x_1 - x_3 & y_3 - y_1 & x_2 - x_1 & y_1 - y_2 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

unde cu A s-a notat aria triunghiului.

Matricea [B], denumită matrice de deformații-deplasări, are rol cheie în evaluarea matricii de rigiditate a elementului.

În prealabil, se observă că tensiunile se pot exprima de asemenea în funcție de [B] astfel:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [E] \{\varepsilon\} = [E][B] \{\delta\} \quad (5.14)$$

unde [E] reprezintă matricea de elasticitate:

$$[E] = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

în care E este modulul de elasticitate al materialului, iar μ este coeficientul lui Poisson.

Valorile deplasărilor nodale $\{\delta\}$, care intră în expresiile deformațiilor specifice (5.12) și respectiv în ale tensiunilor (5.14), se calculează cu relația (5.6), respectiv din relația:

$$\{\delta\} = [K]^{-1} \{R\}$$

Întrucât matricea de rigiditate structurală $[K]$ reprezintă o suprapunere a matricelor de rigiditate $[k]$ a elementelor, cele ce urmează se referă la matricea $[k]$ și respectiv la forțele din nodurile elementului $\{r\}_e$. Expresia primei matrice se obține pornind de la principiul conservării energiei considerând că elementului i se asociază deplasări nodale virtuale $d\{\delta\}_e$. În acest caz, lucrul mecanic al forțelor nodale corespunzătoare deplasărilor virtuale este dat de:

$$(d\{\delta\}_e)^T \{r\}_e$$

iar lucrul mecanic dat de reacțiunile interioare reprezentate prin tensiuni pe unitate de volum, este:

$$(d\{\varepsilon\})^T \{\sigma\} \quad (5.16)$$

în care s-a considerat că elementului i se aplică doar sarcini concentrate în noduri și că nu există sarcini distribuite, deformații inițiale sau tensiunii remanente. Ținând seama de (5.12) și (5.14), expresia (5.16) se transformă în:

$$([B] d\{\delta\}_e)^T [E] [B] \{\delta\}_e$$

Pentru volumul întreg al elementelor, lucrul mecanic al reacțiunilor interioare devine:

$$\int_V (d\{\delta\}_e)^T [B]^T [E] [B] \{\delta\}_e dV \quad (5.17)$$

Egalând lucrul mecanic al forțelor nodale cu lucrul mecanic al reacțiunilor interioare dat de relația (5.17), se obține:

$$(\mathbf{d}\{\delta\}_e)^T \{\mathbf{r}\}_e = (\mathbf{d}\{\delta\}_e)^T \left(\int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{E}] [\mathbf{B}] dV \right) \{\delta\}_e \quad (5.18)$$

sau:

$$\{\mathbf{r}\}_e = [\mathbf{k}] \{\delta\}_e$$

în care:

$$[\mathbf{k}] = \int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{E}] [\mathbf{B}] dV \quad (5.19)$$

În (5.19) se poate lua $dV = h \, dx dy$, dacă grosimea elementului h este constantă. Dacă h variază de-a lungul elementului, se poate obține o expresie de interpolare a grosimii variabile în funcție de grosimile h_1, h_2, h_3 ale elementului în noduri, folosind o expresie analogă celeia din (5.7), adică:

$$\mathbf{h} = [\mathbf{N}] \cdot \begin{Bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{Bmatrix}$$

în care $[\mathbf{N}]$ are forma simplificată:

$$[\mathbf{N}] = [1 \ x \ y] \cdot \frac{1}{|A|} \cdot [A^*]$$

Pentru generalizarea relației (5.18), se consideră că pe element acționează sarcini distribuite p , ale căror valori în noduri sunt date de:

$$\{\mathbf{p}\} = \{p_1 \ p_2 \ p_3\}$$

și că elementul este supus unor deformații inițiale:

$$\{\boldsymbol{\varepsilon}_o\} = \{\alpha T \ \alpha T \ 0\}$$

în care α este coeficientul de dilatare termică liniară. Incluzând și eventuale tensiuni remanente inițiale $\{\boldsymbol{\sigma}_o\}$, expresia generală a tensiunilor din relația (5.16) are forma:

$$\{\boldsymbol{\sigma}\} = [\mathbf{E}] \cdot (\{\boldsymbol{\varepsilon}\} - \{\boldsymbol{\varepsilon}_o\}) + \{\boldsymbol{\sigma}_o\}$$

încât expresia (5.17) devine

$$\begin{aligned}
 & (d\{\delta_e\})^T \left(\int_V [B]^T \cdot [E] \cdot [B] \cdot dV \right) \cdot \{\delta\}_e - \int_V [B]^T \cdot [E] \cdot \{\varepsilon_0\} \cdot dV + \\
 & + \int_V [B]^T \cdot \{\sigma_0\} \cdot dV - \int_V [N]^T \cdot \{p\} \cdot dV
 \end{aligned}$$

Introducând rezultatul precedent , în locul membrului doi din (5.19) se obține :

$$\{\mathbf{r}\}_e + \int_V [N]^T \cdot \{p\} \cdot dV + \int_V [B]^T \cdot [E] \cdot \{\varepsilon_0\} \cdot dV - \int_V [B]^T \cdot \{\sigma_0\} \cdot dV = [k] \cdot \{\delta\}_e$$

în care, potrivit cu relația (5.5), se poate recunoaște ușor că

$$\begin{aligned}
 \{\mathbf{r}\}_p &= \int_V [N]^T \cdot [p] \cdot dV \\
 \{\mathbf{r}\}_T &= \int_V [B]^T \cdot [E] \cdot \{\varepsilon_0\} \cdot dV \\
 \{\mathbf{r}\}_{\sigma_0} &= - \int_V [B]^T \cdot \{\sigma_0\} \cdot dV
 \end{aligned}$$

5.2 ANALIZA PRIN METODA ELEMENTULUI FINIT A ARBORELUI DE DISTRIBUȚIE TUBULAR CU CAME AMOVIBILE

Studiul stării de tensiune și de defomare s-a efectuat pentru doi arbori de distribuție ai motorului Renault tip K9K de 1,5 litri diesel (care echipează și autoturismul Dacia Logan 1,5 DCI). Cele două variante constructive sunt identice din punct de vedere dimensional, diferența constă doar în faptul că primul reprezintă o soluție clasică, arborele având secțiune circulară plină și fiind confecționat din fontă, iar cel de al doilea arbore fiind tubular confecționat din oțel iar camele fiind fretate.

Pentru acești arbori s-au efectuat măsurătorile dimensionale în vederea realizării releveului, care apoi a fost importat în programul ALGOR de calcul al elementului finit, în vederea efectuării calculului de rezistență.

Dimensiunile principale ale arborelui de distribuție :

- lungimea $L = 420$ mm
- diametrul fusurilor $d_f = 25$ mm
- diametrul găurii $d_g = 15$ mm (pentru arborele tubular)
- diametrul de bază al camei $D_c = 38$ mm
- excentricitatea camei $e = 8$ mm
- lățimea camei $l_c = 14$ mm

5.2.1 Ipoteze de calcul

a.) Releveul s-a realizat luând în considerare dimensiunile semnificative ale arborelui, fiind ignorate variațiile de dimensiune mai mici de 0,5 mm. De asemenea s-au neglijat orificiile de ungere din zona fusurilor de alunecare;

b.) Calculul s-a efectuat în regim static, încărcările și reazemele s-au aplicat în nodurile rețelei de calcul obținută prin discretizarea desenului arborelui;

c.) Forțele care solicită arborele s-au considerat că provin din forța elastică a arcurilor supapelor (F_{arc}) și forța rezultată din presiunea care acționează asupra supapelor (F_{ps}). Important de remarcat este faptul că cele două forțe sunt antagoniste. Cunoscând dimensiunile arcului: diametrul spirei $d_s = 3.5$ mm, diametrul mediu al arcului $D_m = 37$ mm, numărul de spire $n_s = 6,5$ respectiv diametrul talerului supapei, valoarea presiunii din cilindru, s-a determinat o valoare medie maximă a sumei celor două forțe, aceasta având valoarea de $F_{\text{mm}} = 2000$ N pe o camă.

d.) Forța F_{mm} s-a aplicat perechii de came admisie- evacure care se găsesc simultan în poziția de deschidere maximă.

5.2.2 Modul de efectuare a calculului de rezistență

Calculul de rezistență s-a efectuat pentru două variante ale arborelui de distribuție unul având secțiune plină iar cel de al doilea fiind de secțiune tubulară.

Având la dispoziție desenele arborilor de distribuție, cu ajutorul programului ALGOR s-a efectuat discretizarea acestora în elemente finite de tip brick la care dimensiunea medie a laturilor a fost impusă de 2 ... 5 mm rezultând astfel un număr aproximativ de 26000 de elemente.

Modul de rezemare al arborelui de distribuție în chiulasă s-a considerat simplu rezemat în 8 secțiuni, acestea fiind 4 secțiuni între cele 2 came a fiecărui cilindru și 4 secțiuni la capetele arborelui (câte 2 secțiuni la fiecare capăt). În fiecare secțiune rezemarea s-a efectuat pe 36 de noduri la care au fost blocate deplasările după direcțiile perpendiculare pe axa longitudinală.

Încărcarea arborelui de distribuție a fost realizată cu forțele F_{mm} determinate la punctul 5.2.1 care au fost aplicate pe camele arborelui de distribuție în 5 noduri ale acestuia.

Au fost considerate 4 cazuri de încărcare rezultate din combinația camelor care se găsesc în poziția de deschidere maximă simultan. Cazurile de încărcare sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Cazurile de încărcare

Cazul de încărcare	Cama de evacuare	Cama de admisie
1	Cilindrul 1	Cilindrul 2
2	Cilindrul 3	Cilindrul 1
3	Cilindrul 4	Cilindrul 3
4	Cilindrul 2	Cilindrul 4

Pentru cele două variante ale arborelui de distribuție modurile de rezemare și de încărcare s-au considerat aceleași.

5.2.3. Materiale utilizate

Arborele de distribuție varianta 1 având secțiunea transversală de formă circulară plină a fost executat din fontă cu grafit nodular având următoarele proprietăți fizico – mecanice : duritatea: 220 – 300 HB; rezistența la rupere: $R_m = 600 \text{ N/mm}^2$; alungirea la rupere: $A_5 = 4...5 \%$, modulul de elasticitate longitudinal $E = 160000 \text{ N/mm}^2$, coeficientul de contracție transversală $\mu = 0.275$

Arborele de distribuție varianta 2 având secțiunea transversală de formă tubulară a fost executat din C15 cu o concentrație de carbon de 0,24%, iar cama din C45 cu o concentrație de carbon de 0,62%. Au fost considerate următoarele proprietăți fizico – mecanice: rezistența la rupere: $R_m = 610 \text{ N/mm}^2$; alungirea la rupere: $A_5 = 21 \%$, modulul de elasticitate longitudinal $E = 208000 \text{ N/mm}^2$, coeficientul de contracție transversală $\mu = 0.3$

5.2.4 Rezultatele calcului de rezistență

În urma rulării programului ALGOR pentru cele 2 variante ale arborelui de distribuție, respectiv pentru cele 4 cazuri de încărcare considerate, s-au obținut valorile deformațiilor și tensiunilor din nodurile rețelei de calcul. Valorile maxime ale tensiunilor și ale deformațiilor sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2

Valorile maxime ale tensiunilor și deformațiilor

Tensiuni [N / mm ²]				
Varianta arborelui	caz 1	caz 2	caz 3	caz 4
secțiune plină	98.00	119.49	88.75	92.79
secțiune tubulară	95.34	121.85	97.34	91.9
Deformații [mm]				
Varianta arborelui	caz 1	caz 2	caz 3	caz 4
secțiune plină	0.0294	0.0380	0.0298	0.0315
secțiune tubulară	0.0252	0.0315	0.0259	0.0246

Se remarcă faptul că pentru cazul 2 de încărcare se obțin cele mai mari valori ale tensiunilor și ale deformațiilor pentru ambele variante. Din acest motiv va fi detaliat numai acest caz de încărcare.

Modul de distribuție a tensiunilor și deformațiilor pentru cele 2 variante ale arborelui în cazul 2 de încărcare este prezentat în figurile 5.3...5.8

5.2.5 Concluzii

Prin compararea valorilor tensiunilor și deformațiilor pentru cele 2 variante ale arborelui de distribuție se constată că abaterea procentuală este cuprinsă între 0,9...8 % pentru tensiuni, iar pentru deformații este cuprinsă între 14,2...20,9% . Această diferență mică se explică prin aceea că valorile modulelor de rezistență axiale, respectiv polare a unei secțiuni circulare pline este cu 5...10 % mai mare față de aceleași mărimi calculate pentru o secțiune tubulară de același diametru exterior.

Pentru nici una din variantele de calcul, respectiv pentru nici un caz de încărcare nu sunt depășite valorile tensiunilor admisibile.

Valorile deformațiilor sunt nesemnificate acestea nemodificând diagrama de distribuție.

Varianta de arbore de distribuție de secțiune tubulară este avantajoasă contribuind la reducerea de greutate cu 0,52 kg.

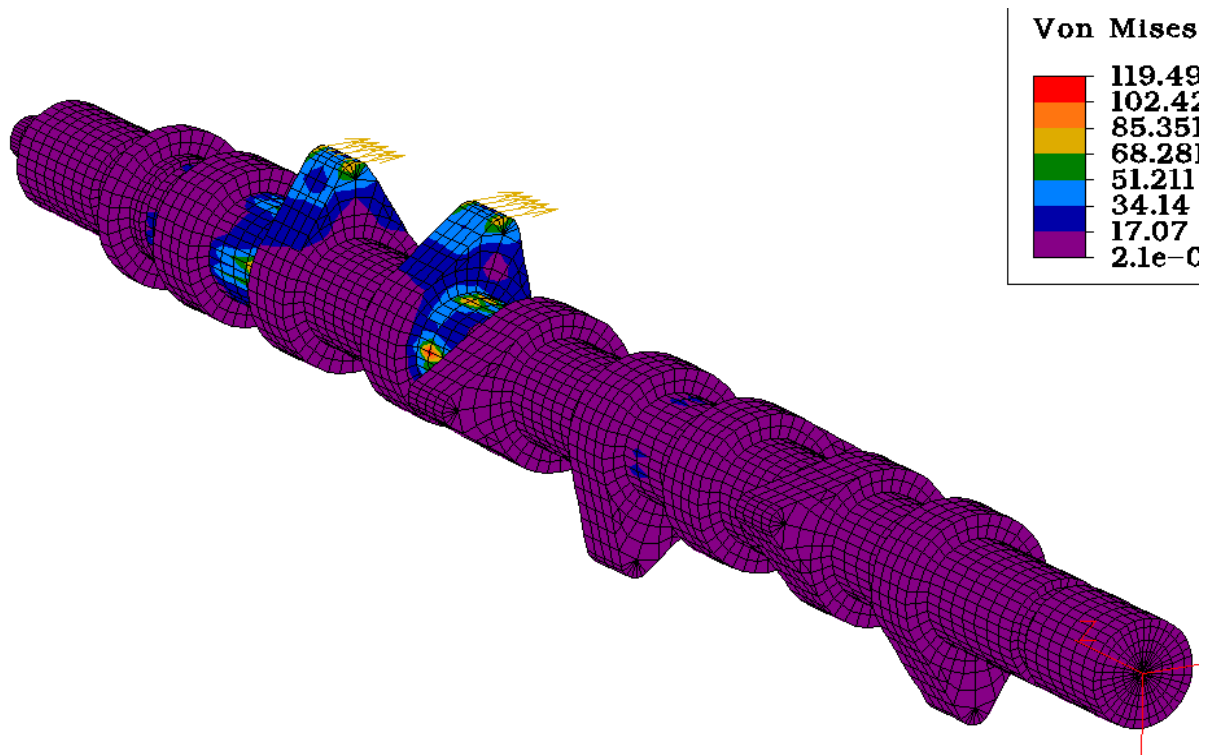


Fig.5.3 Valorile tensiunilor pentru arborele cu secțiune plină în cazul 2 de încărcare

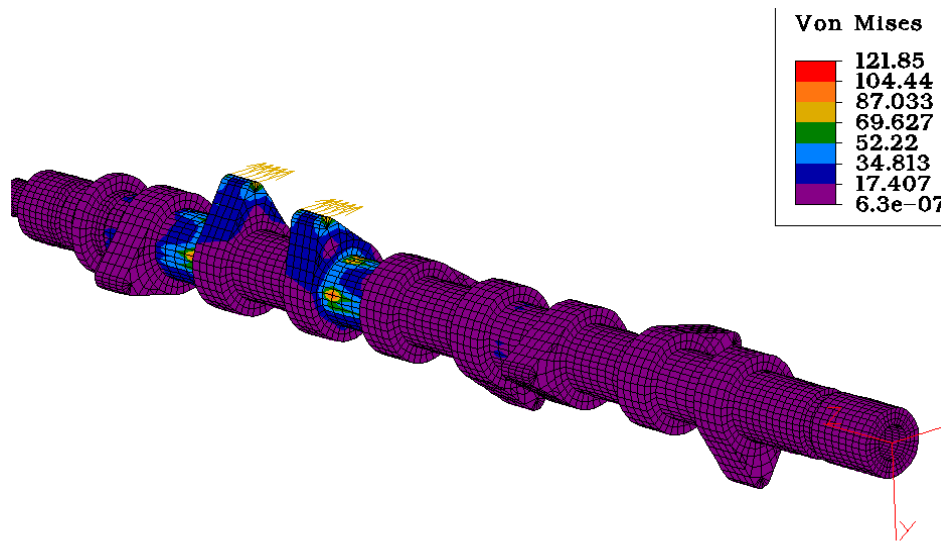


Fig.5.4 Valorile tensiunilor pentru arborele cu secțiune tubulară în cazul 2 de încărcare

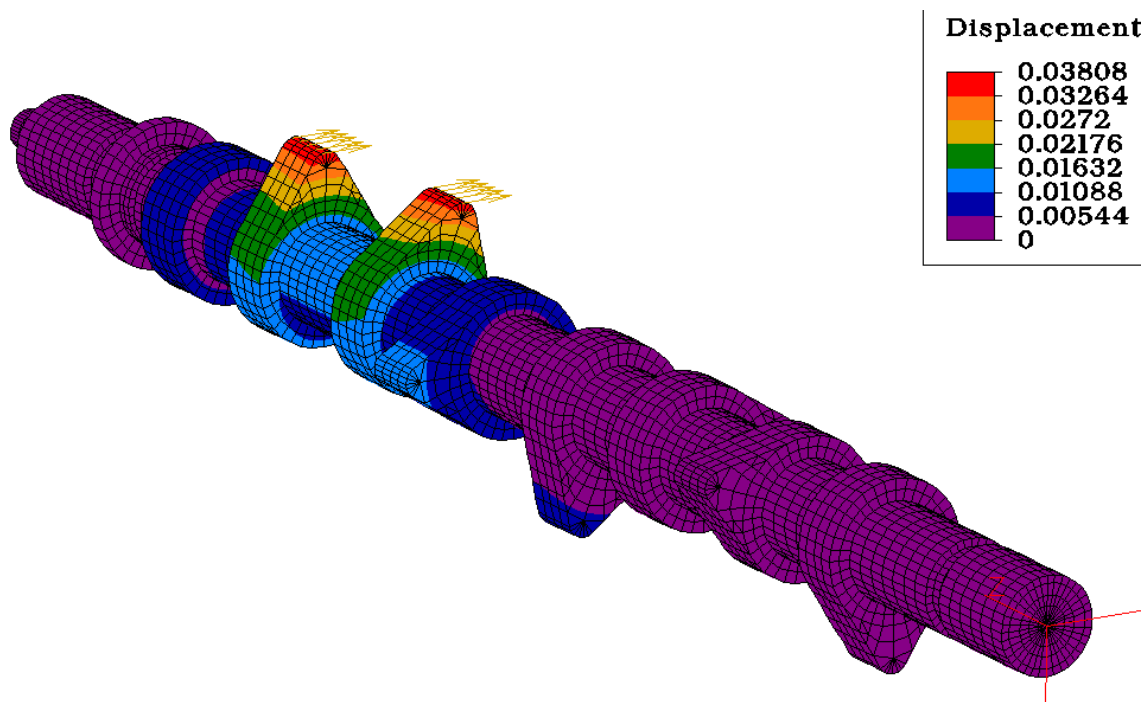


Fig.5.5 Valorile deplasărilor pentru arborele cu secțiune plină în cazul 2 de încărcare

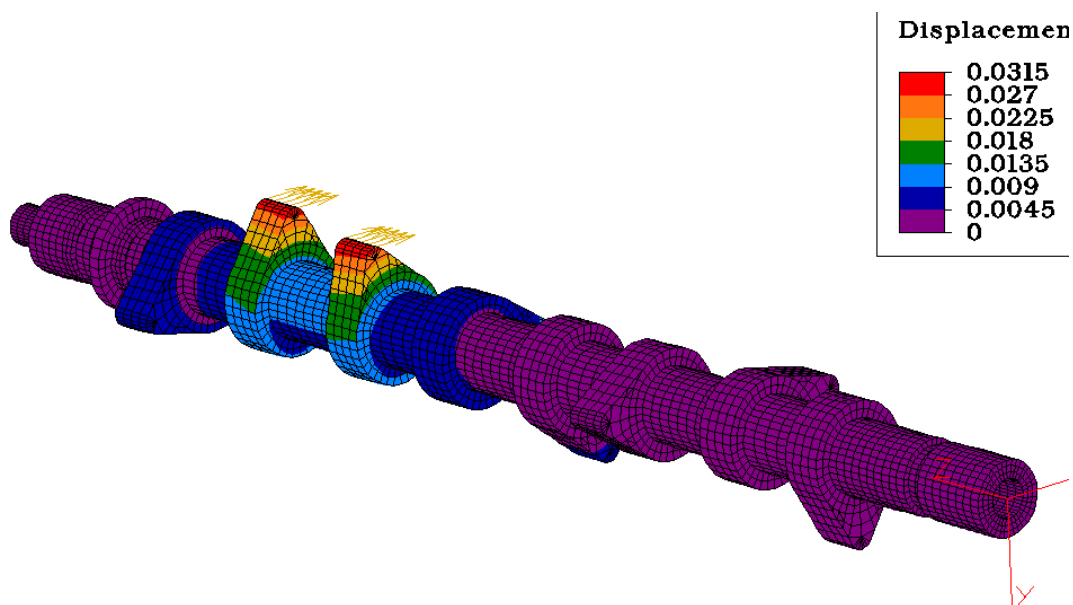


Fig.5.6 Valorile deformațiilor pentru arborele cu secțiune tubulară în cazul 2 de încărcare

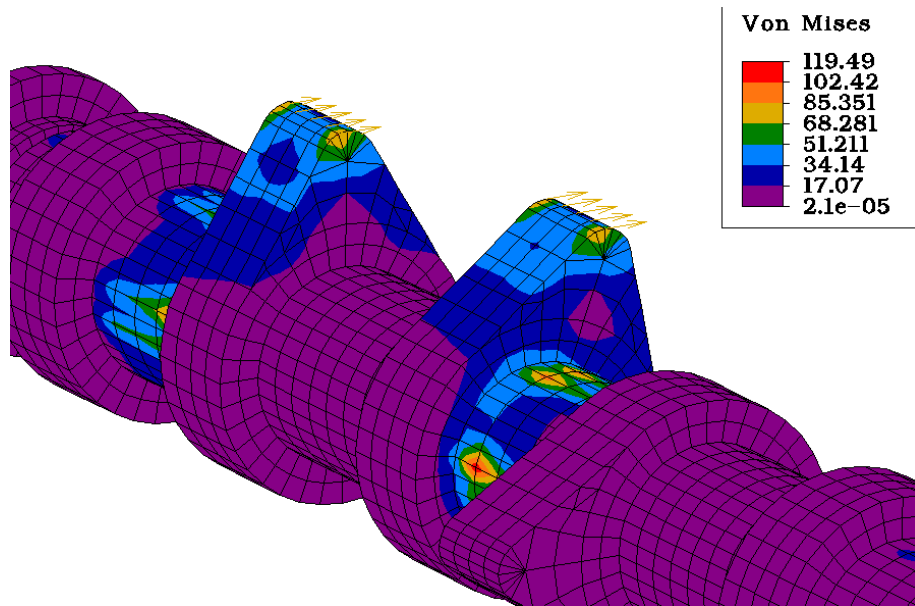


Fig.5.7 Detaliu cu valorile tensiunilor pentru arborele cu secțiune plină în cazul 2 de încărcare

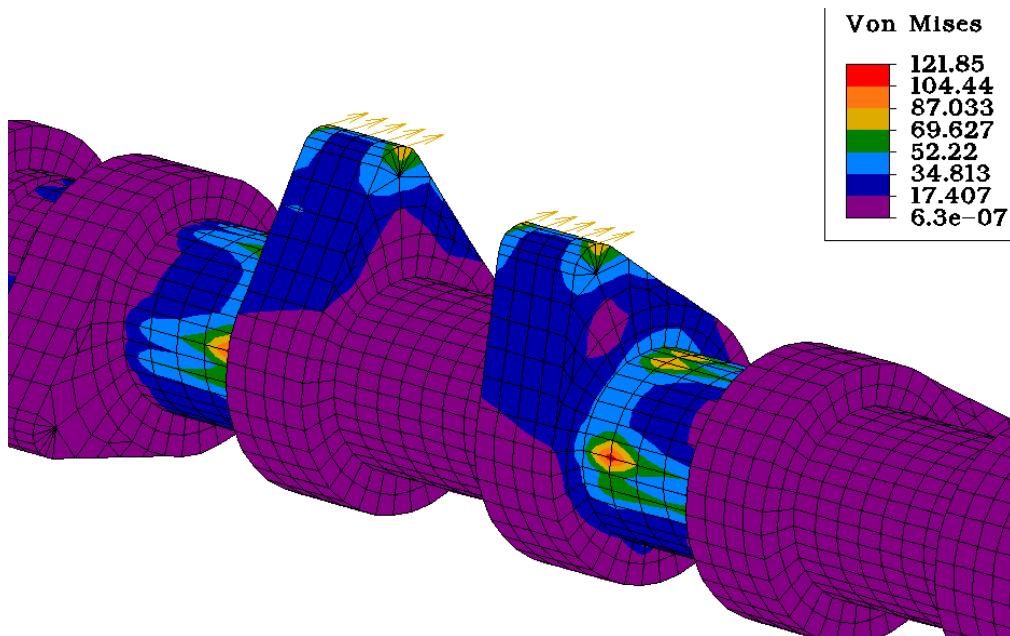


Fig.5.8 Detaliu cu valorile tensiunilor pentru arborele cu secțiune tubulară în cazul 2 de încărcare

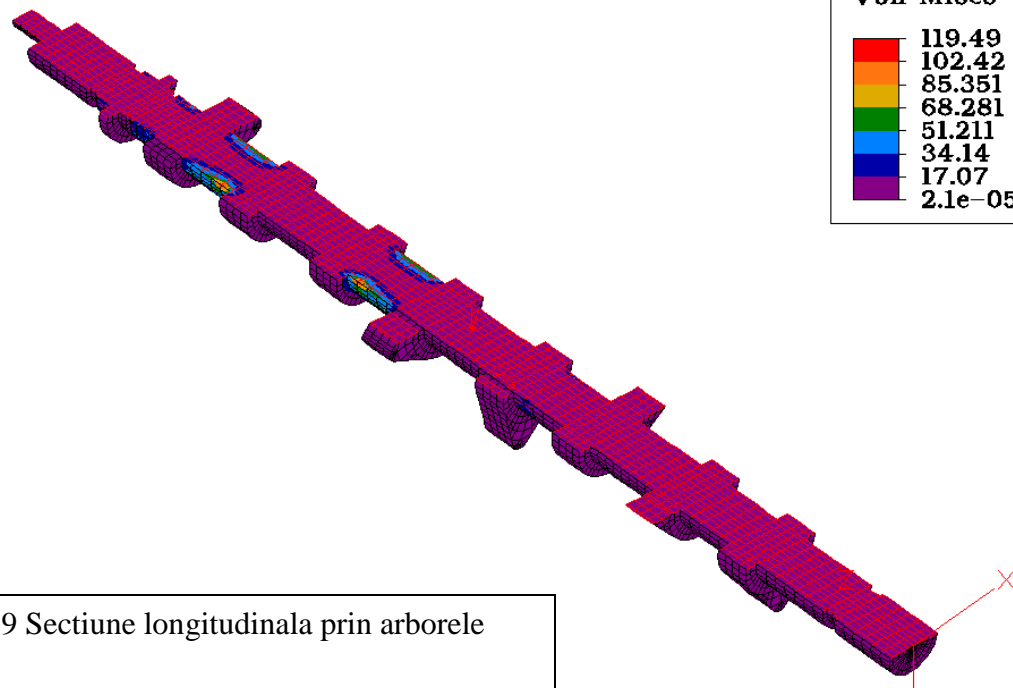


Fig.5.9 Sectiune longitudinală prin arborele plin

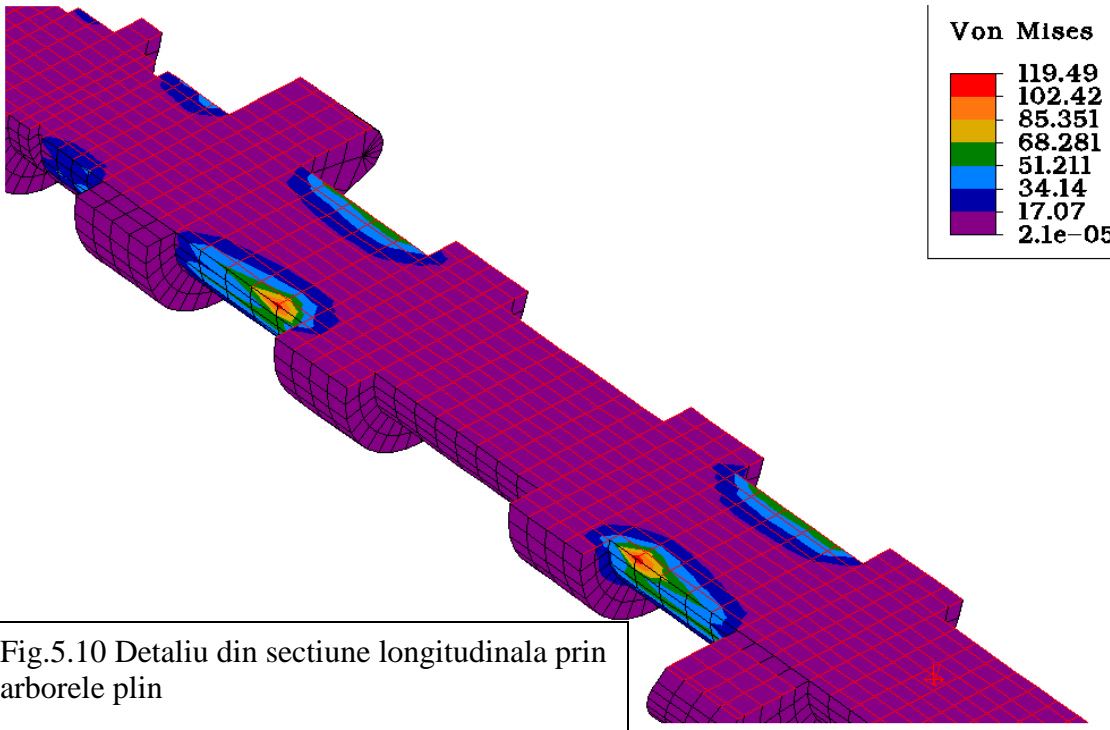


Fig.5.10 Detaliu din secțiune longitudinală prin arborele plin

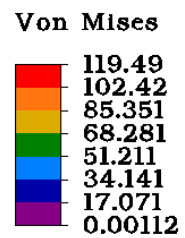
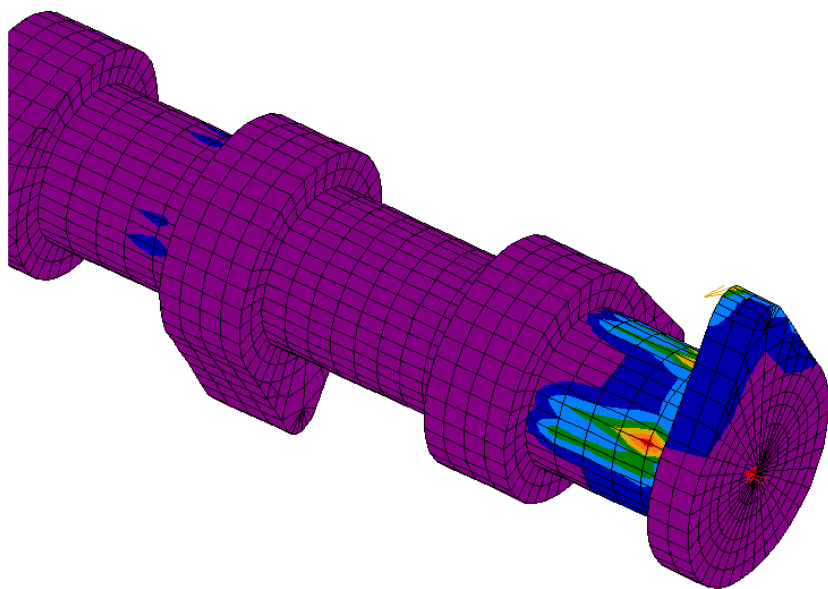


Fig.5.11 Detaliu din sectiune transversala prin arborele plin la mijlocul camei

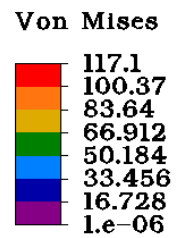
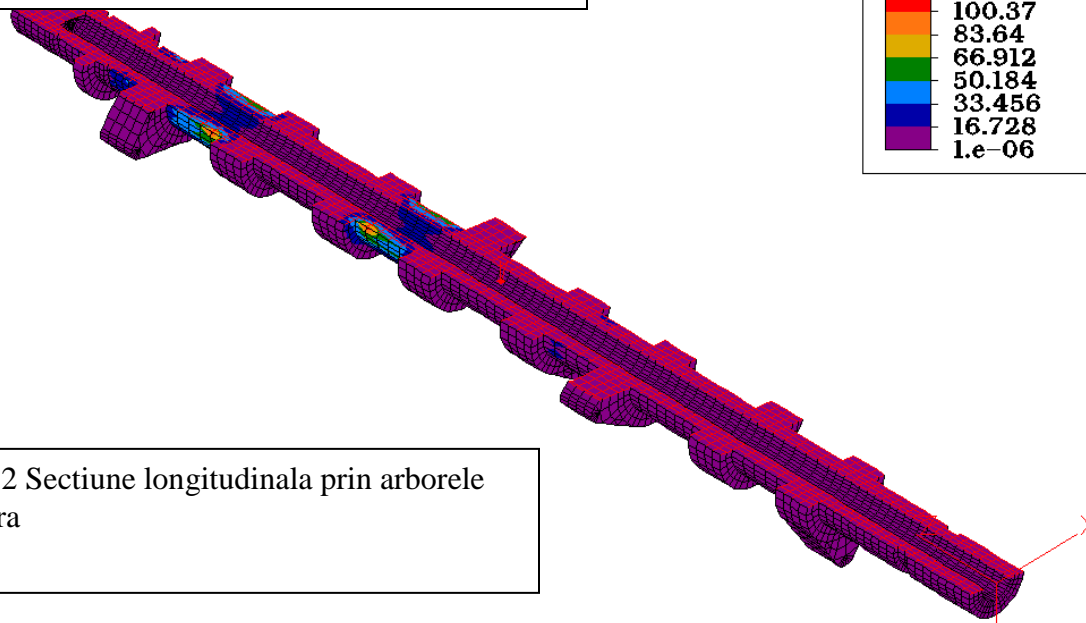


Fig.5.12 Sectiune longitudinalala prin arborele cu gaura

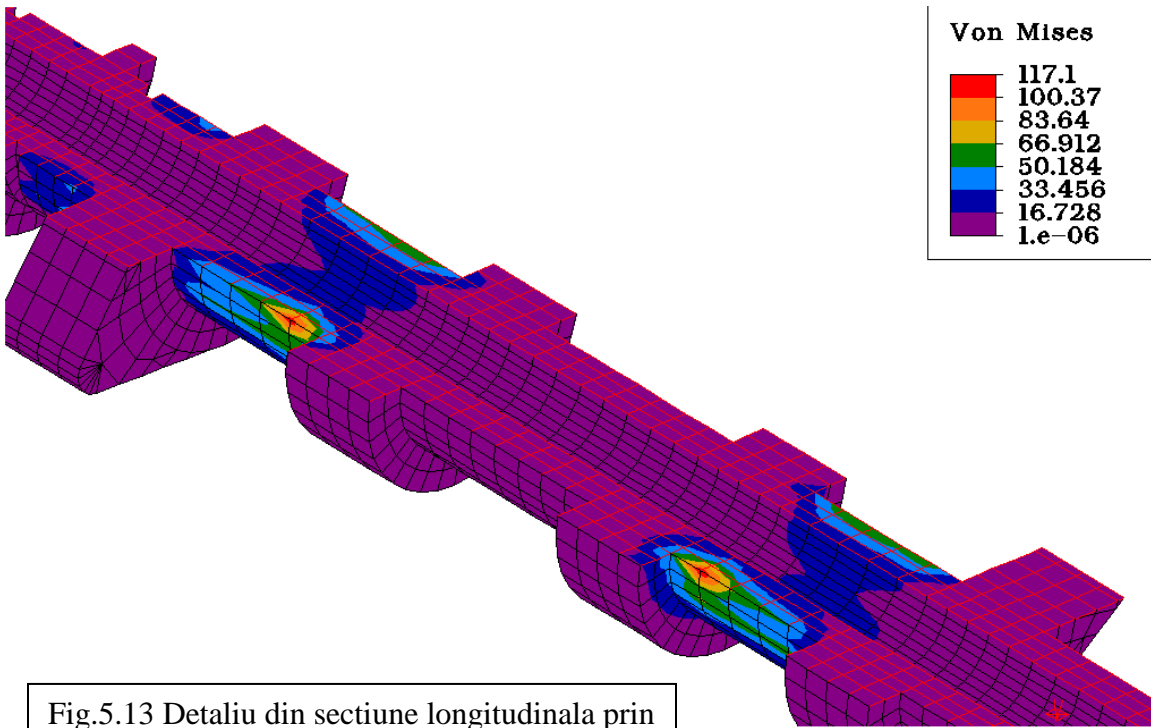


Fig.5.13 Detaliu din sectiune longitudinala prin arborele cu gaura

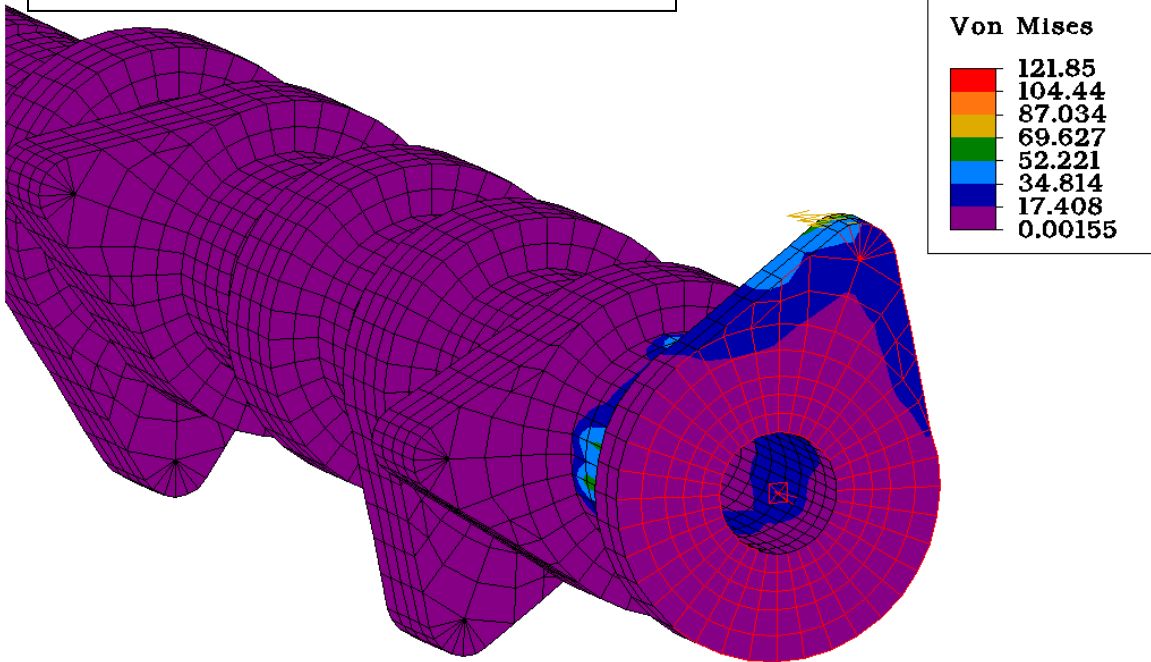


Fig.5.14 Detaliu din sectiune transversala prin arborele cu gaura la mijlocul camei

5.3 ALEGEREA MATERIALULUI ȘI ELABORAREA SEMIFABRICATULUI

5.3.1 Particularități constructive ale arborelui cu came.

Arborele cu came este prevăzut cu fusuri de sprijin, între care sunt camele care se prelucrează din materialul arborelui, sau separat, în funcție de soluția constructivă aleasă. Pe arbore se mai găsesc elemente de cuplare cu arborele cotit, respectiv cu agregate auxiliare ale motorului (figura 5.9).

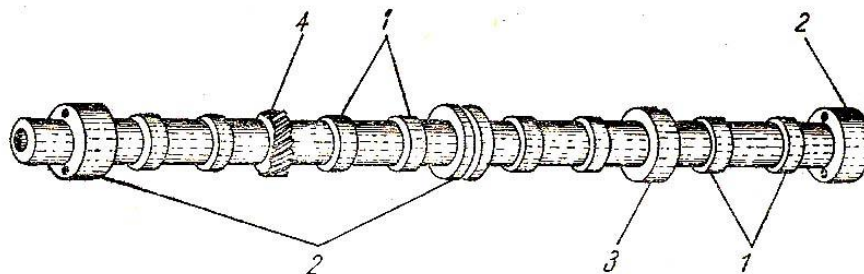


Fig. 5.15 Arbore cu came

1-came ; 2-fusuri de sprijin ; 3-excentric acționare pompă benzină ;
4-pinion acționare pompă ulei

Având în vedere condițiile funcționale, arborele de distribuție trebuie să fie suficient de rigid, pentru ca deformațiile să nu provoace funcționarea anormală a mecanismului de distribuție. De asemenea, suprafețele de lucru ale camelor și fusurile de sprijin trebuie să aibă o rezistență ridicată la uzură.

Din considerente de reducere a maselor inerțiale, arborele cu came demontabile se construiește astfel : arborele propriu-zis se confecționează tubular, din țevă de oțel , iar camele se strunjesc din bară de oțel.

La execuția arborelui cu came trebuie prelucrate camele, fusurile de sprijin și unele elemente secundare, cum ar fi roata dințată pentru angrenarea cu arborele cotit al motorului.

Fusurile de sprijin se prelucrează prin strujire fină, iar după efectuarea tratamentului de durificare se rectifică.

Diametrul arborelui cu came se stabilește din condiția de rigiditate și este de $(0,2...0,3) \cdot D$, unde D este alezajul cilindrului.

Arborele cu came poate fi plasat în blocul motorului sau pe chiulasă. La amplasarea arborelui cu came în blocul motorului fusurile arborelui cu came sunt dimensionate la un diametru mai mare decât diametrul camei, soluția fiind impusă de asigurarea montajului arborelui cu came în lagărele sale. Pentru ușurința montajului uneori diametrele fusurilor se micșorează spre capetele din spate. Fusurile se rotesc în lagăre în formă de bușe, căptușite pe suprafața interioară cu material antifricțiune și presate în orificiile din carterul motorului.

De regulă, la autoturismele moderne, arborii cu came sunt plasați în chiulasa motorului (figura 5.10). Aceștia se montează în orificiile suportilor care fac corp comun cu chiulasa sau în suportii demontabili (figura 5.11). La unele construcții planul median al orificiilor lagărelor este secționat, iar montajul se asigură cu capace demontabile.

Fixarea axială se realizează prin borduri care se rezemă pe părțile frontale ale lagărelor.

În cazul acționării directe a supapelor, pentru a descărca tija supapei de forța laterală se montează pe capătul tijeii un pahar de ghidare. Reglarea jocului în acest caz se face prin înlocuirea pastilei de pe paharul de ghidare, sau cu ajutorul unui șurub de reglaj.

Camele trebuie să aibă un profil care să asigure ridicare și coborârea uniformă, fără șocuri, a supapelor și menținerea acestora timp suficient în poziție deschisă. Numărul camelor este egal de regula cu numărul supapelor motorului.

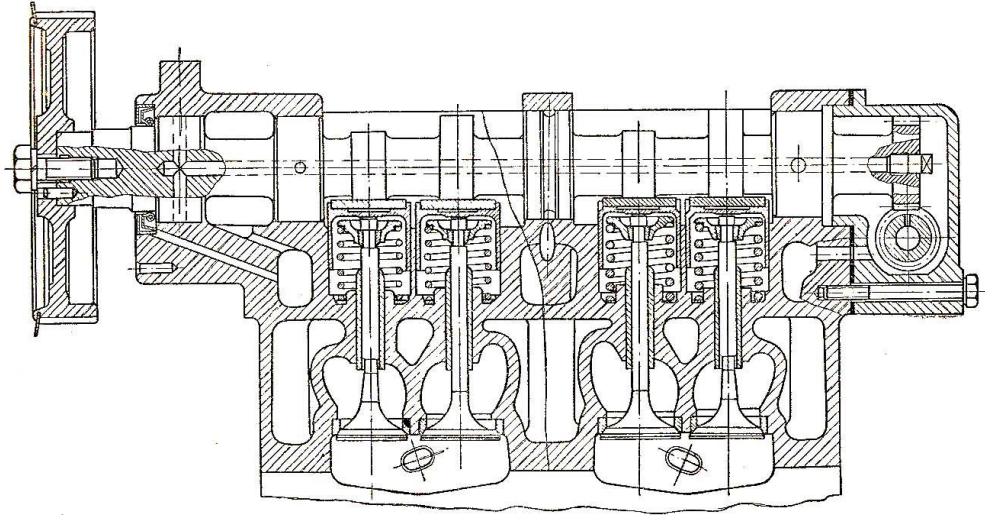


Fig. 5.16 Amplasarea arborelui cu came în chiulasă

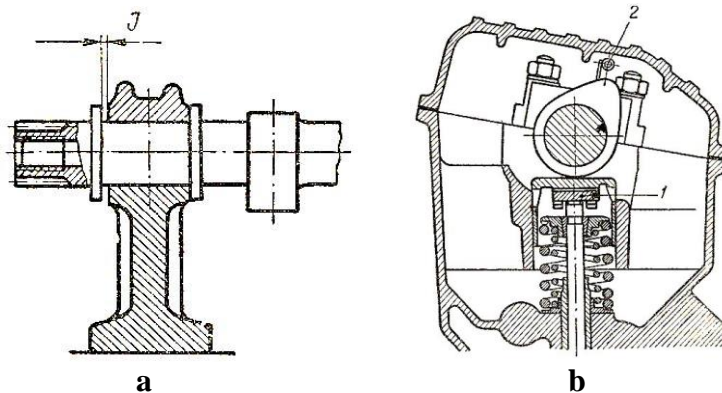


Fig. 5.17 Montarea arborelui cu came pe suport
a-suport demontabil; b-soluție de montaj
1-pastila calibrata; 2-conductă de ungere

5.3.2 Realizarea camelor

Există două metode de profilare a camelor :

a) *Profilul simplu (cama armonică)* se realizează prin trasarea unor arce de cerc cu raze constante sau a unor arce de cerc și linii drepte (figura 5.12). Profilul se construiește pe baza diagramei fazelor de distribuție din care rezultă durata deschiderii supapei :

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_{av} + 180 + \Delta\alpha_{iv\tau} \quad [^\circ\text{RA}] \quad (5.20)$$

$$\Delta\alpha^* = \Delta\alpha/2 \quad (5.21)$$

Se trasează cercul primitiv al camei cu centrul în O și diametru d_0 , mai mare cu 2...5 mm decât diametrul arborelui de distribuție (relațiile 5.22, 5.23 și 5.24). față de un ax vertical se măsoară de o parte și de alta unghiurile α^*_{0r} și α^*_{0c} (relațiile 5.25, 5.26 și 5.27) și se precizează punctele A și A' care corespund începutului și sfârșitului de ridicare a supapei sau a tachetului.

$$r_0 = d_0/2 = (1,5...2,0) h_{smax} \quad (5.22)$$

$$d_0 = (0,25...0,3) D \quad (5.23)$$

$$d_a = d_0 - (2...5) \text{ mm} \quad (5.24)$$

$$\alpha^*_{0r} = \alpha \cdot \Delta\alpha^* \quad (5.25)$$

$$\alpha^*_{0c} = (1 - \alpha) \cdot \Delta\alpha^* \quad (5.26)$$

$$\alpha^*_{0r} = \alpha^*_{0c} = \alpha_0^* = 0,5 \cdot \Delta\alpha^* \quad (5.27)$$

De la cercul primitiv se măsoară pe diametrul vertical până în C, segmentul h_c , înălțimea maximă de ridicare de pe camă, care rezultă dacă se cunoaște înălțimea maximă de ridicare a supapei h_{smax} și raportul brațelor culbutorului i_{st} (relațiile 5.28 și 5.29).

$$h_c = h_{smax}/i_{st} \quad (5.28)$$

$$i_{st} = 1,2...1,8 \quad (5.29)$$

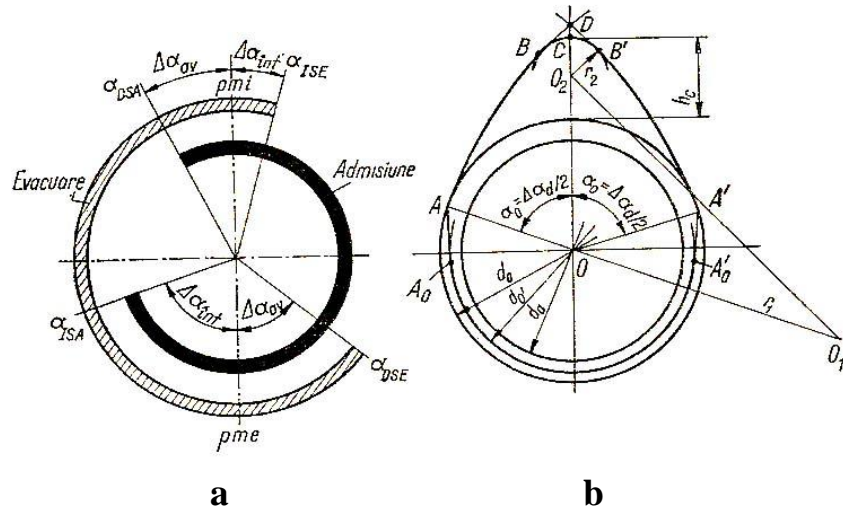


Fig. 5.18 Trasarea camei armonice
a-Diagrama fazelor de distribuție; b-parametrii constructivi ai camei

Înălțimea h_{smax} se determină pe baza ecuațiilor de curgere a gazelor. A, C și A' se trasează curba profilului formată din două arce de cerc de rază r_1 și r_2 cu condiția ca arcele să fie tangente între ele și tangente la cercul primitiv, adică normalele punctelor de tangență să fie comune. Normala în punctul A se suprapune peste raza OA a cercului primitiv și se prelungeste până în O_1 astfel încât $O_1A = r_1$.

Cu relația (5.30) se determină raza r_2 a cercului de vârf. În continuare se determină raza arcului lateral (relația 5.31) razele minimă și maximă a arcului de vârf (relațiile 5.32 și 5.33).

$$r_2 = (B^2 + C^2 - r_1^2 + 2B.C.\cos \alpha_0^*)/2.(B + C.\cos \alpha_0^* - r_1) > 2 \text{ mm} \quad (5.30)$$

$$r_1 = (A^2 + r_0^2 - r_2^2 - 2.A.r_0.\cos \alpha_0^*)/2.(r_0 - r_2 - A.\cos \alpha_0^*) = (10...18) h_c \quad (5.31)$$

$$r_1 = (65...200) \text{ mm}$$

$$r_{1min} = (B^2 + r_0^2 - 2.r_0.B.\cos \alpha_0^*)/2.(r_0 - B.\cos \alpha_0^*) \quad (5.32)$$

$$r_{2max} = r_0 - h_c.\cos \alpha_0^*/(1 - \cos \alpha_0^*) \quad (5.33)$$

Profilul camei astfel trasat nu este definitiv din cauza jocurilor termice. Din motive de siguranță, jocul termic se alege astfel încât la cald, între tchet și camă să mai rămână un joc, deoarece tchetul este atacat de profilul camei cu întârziere, ceea ce modifică fazele de distribuție. Acest neajuns se înlătură dacă se evazează cama, pe porțiunea opusă profilului, până la diametrul d_0 .

La acest tip de camă, accelerația și forțele de inerție se modifică brusc, ceea ce conduce la o funcționare cu șoc măbind și zgomotele, astfel la motoarele rapide (turatii ridicate) poate avea loc compromiterea siguranței de funcționare a mecanismului de distribuție, concomitent cu intensificarea zgomotelor.

b) Cama fără șoc

Pentru a se evita aceste fenomene, pentru profilarea camelor se adoptă legea de variație a accelerației sau legea de deplasare a tachelului, după care se construiește cama. Se obține “cama fără șoc”, care elimină dezavantajele primei soluții prin variația lină a accelerației, fără salturi.

În figura 5.13 sunt prezentate construcția și cinematica unei astfel de camă.

Porțiunea activă a camei este compusă din trei arce (figura 5.13 b). Pe porțiunea Φ_1 , accelerația a rămânând pozitivă, descrie o semiundă de sinusoidă. Porțiunea negativă este compusă dintr-un sfert de undă de sinusoidă pe intervalul Φ_2 și un arc de parabolă racordat la aceasta pe intervalul Φ_1 . Curba de ridicare a tachelului corespunzătoare este formată din arce de sinusoidă înclinată racordate și un polinom de gradul patru. Cunoscând curba de ridicare a tachelului, profilul camei pentru tachelul plat se obține așa cum este prezentată în figura 5.13 a.

Înălțimea camei este determinată de cursa supapei stabilită în concordanță cu asigurarea desfășurării optime a proceselor de schimbare a gazelor. Se evită înălțimile de ridicare h mari, care provoacă sarcini dinamice importante.

Lățimea camei se corelează cu raza minimă a tachelului. Este necesar ca, în poziție extremă, cama să vină în contact cu tachelul pe toată lățimea.

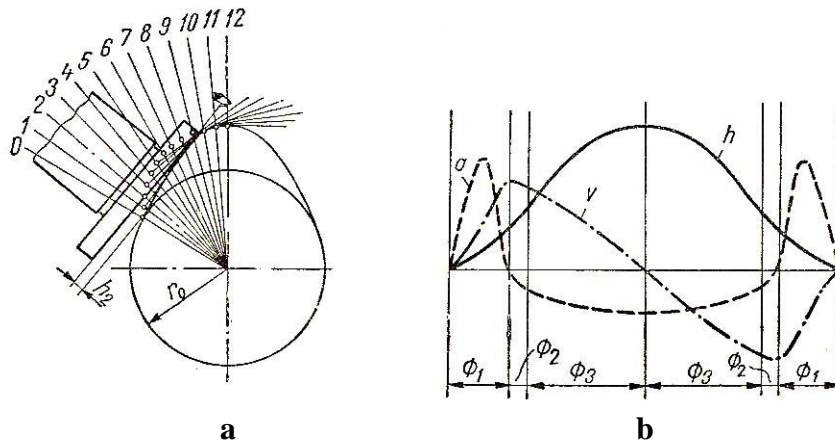


Fig. 5.19 Construcția “camei fără șoc” și elementele de cinematică

Luând în considerare faptul că arborele cu came considerat echepează motoare rapide pentru autoturisme, s-a optat pentru cea de-a doua variantă.

Pentru alegerea materialului s-au încercat mai multe variante.

În cazul camelor s-a ales un oțel C15 care prin conținutul scăzut de carbon se pretează la cementare și un oțel pentru îmbunătățire C45. Acestor materiale li s-a verificat structura metalografică și duritatea atât înainte, cât și după efectuarea tratamentelor termice, în scopul alegerii materialului cu cele mai bune caracteristici fizico-mecanice rezultate.

Prima operație a constat din debitarea unor rondele pentru semifabricat din bară de oțel și determinarea compoziției chimice și a caracteristicilor mecanice ale acestor rondele conform tabelelor 5.3 și 5.4.

Tab. 5.3

Oțelul C15

Compoziția chimică				
C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]
0,15	0,38	max. 0,07	max. 0,050	max. 0,050
Caracteristici mecanice				
Limita de curgere $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Rezistența la rupere R_m [N/mm ²]		Alungirea la rupere A_5 [%]	
350	373		31	

Tab. 5.4

Oțel C45

Compoziția chimică								
C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]	As [%]
0,46	0,62	max. 0,37	max. 0,040	max. 0,040	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,30
Caracteristici mecanice								
Limita de curgere $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Rezistența la rupere R_m [N/mm ²]		Alungirea la rupere A_5 [%]		Duritatea HB			
380	645		18		179			

Operațiunea de prelucrare primară s-a făcut simultan pentru toate camele pe un strung cu dispozitiv de prelucrare prin copiere, executându-se câte 48 bucăți de came din C15 și 96 came din C45.

Prelucrarea a constat inițial dintr-o strunjire de degroșare prin copiere cu regimul de așchiere prezentat în tabelul 5.5:

Tab. 5.5

Regimuri de așchiere pentru prelucrări prin strunjire

Tipul strunjirii	Adâncimea de așchiere t [mm]	Avansul s [mm/rot]	Viteza de așchiere v_p [m/min]	Turația n_i [rot/min]	Mod de răcire
De degroșare	3	0,5	35	72	emulsie
De finisare	2	0,3	80	150	emulsie

Ținând seama de dimensiunile camei, prelucrarea s-a efectuat pe un strung semiautomat de copiat cu portcuțite oscilante. Un asemenea strung execută copierea după șablon, și are compunerea de principiu prezentată în figura 5.14:

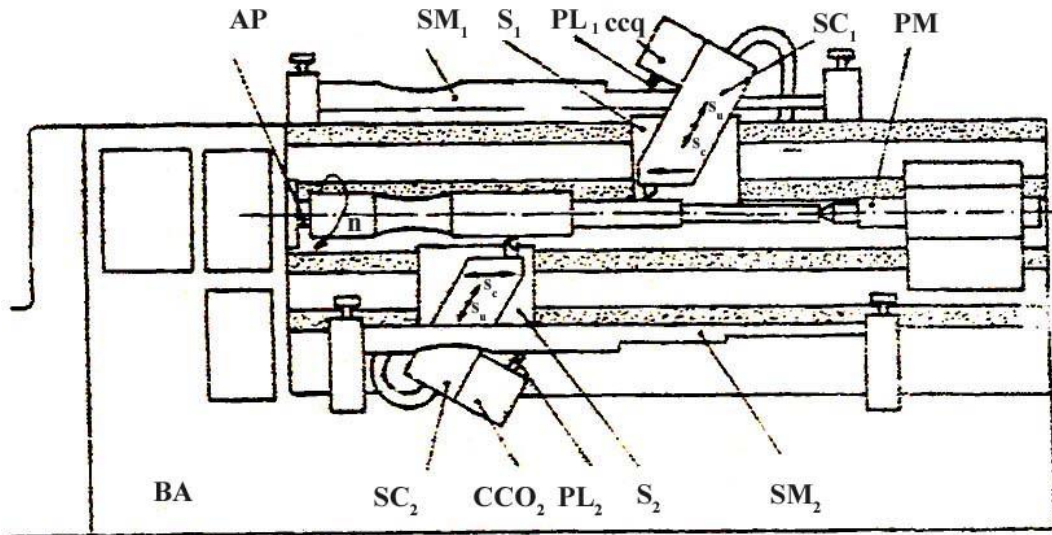


Fig. 5.20 Strung de copiat

BA-batiu; S_1, S_2 -săni; s_c -avans conducător; s_u -avans de urmărire;
 SC_1, SC_2 -săni de copiere; CCO_1, CCO_2 -capete de copiat; PL_1, PL_2 -palpatoare;
 SM_1, SM_2 -șabloane; AP-arbore principal; PM-păpușe mobilă;
 n -mişcarea principală de rotație

Sistemul de copiere utilizat a fost de tip mecanic, funcționând după principiul copierii directe, când palpatorul PL este în legătură directă cu cutitul S, determinând deplasarea acestuia (figura 5.15):

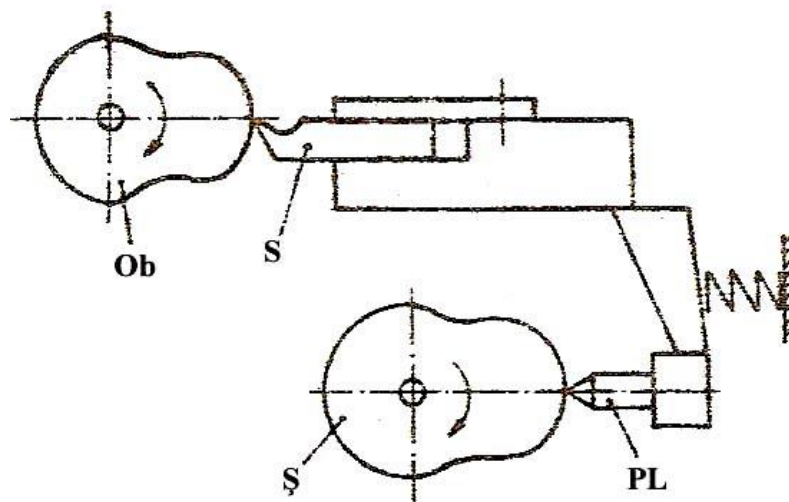


Fig. 5.21 Sistem mecanic de copiere

Pentru prelucrare s-au efectuat următoarele operațiuni:

- s-a instalat șablonul și s-a reglat poziția acestuia, astfel încât să fie paralel cu avansul conducător;
- s-a ales turația necesară pentru AP;
- s-a fixat semifabricatul în poziție corectă;
- s-a reglat poziția inițială a bușei capului de copiat, și prin aceasta, poziția inițială a vârfului sculei, astfel încât să rezulte diametrul dorit la camă.

Tratamentul termic

După marcarea prin poansonare a fiecărui element s-a executat tratamentul termic sau termochimic după cum urmează:

În cazul unui număr de 32 bucăți came confecționate din oțel pentru cementare C15, s-a efectuat îmbogățirea cu carbon a stratului superficial. Carburarea s-a efectuat prin menținerea pieselor în cuptor vertical electric Barfield (figura 5.16) într-un mediu de gaz metan și mangan, la temperatura de 860...880 °C, timp de 6 ore, după care jumătate din numărul pieselor au fost lăsate să se răcească lent în aer, iar celelalte au fost direct călite prin răcire în apă.



Fig. 5.22 Linie industrială pentru tratamente termice

După curățirea pieselor, analiza metalografică și efectuarea măsurătorilor au rezultat următoarele concluzii:

- I) În cazul pieselor răcite în aer
- deși duritatea suprafețelor pieselor a crescut, situându-se în medie în jurul valorii de 21 HRC, ea este insuficientă pentru a asigura rezistența la uzare necesară;
 - analiza metalografică arată o structură cu trei zone:

- a) zona hipereutectoida, constituita din perlita și cementita în exces, cu un conținut de 1,0 - 1,2 % C



Fig.5.23 Microstructura reprezentand un oțel hipereutectoid (500:1, atac nital 2%)

- b) zona eutectoida, formata numai din perlita; urmează zonei hipereutectoide



Fig.5.24 Microstructura reprezentand un oțel eutectoid (500:1, atac nital 2%)

- c) zona hipoeutectoida, compusa din perlita si ferita, constitue ultima zona a stratului cementat.



Fig. 5.25 Microstructura reprezentand un oțel hipoeutectoid (500:1, atac nital 2%)

Aceste zone nu sunt delimitate precis, fapt ce favorizează stabilitatea stratului carburat. Zona hipereutectoidă asigură o trecere treptată între stratul cementat și miezul piesei.

Analiza metalografică a stratului deșus s-a efectuat cu un microscop metalografic MC 5-A (figura 5.26).



Fig. 5.26 Microscop metalografic MC 5-A

- adâncimea stratului carburat este în medie de 1,4 mm;
- analizele chimice efectuate au relevat existența unor mici diferențe de concentrație ale conținutului de carbon între anumite puncte ale suprafeței (0,02); de asemenea conținutul de carbon este neuniform în secțiune, procentul scăzând de la suprafață către interiorul piesei;
- granulația structurală este fină, ceea ce favorizează îmbunătățirea proprietăților mecanice.

Pentru asigurarea durității superficiale necesară unei bune rezistențe la uzare, în continuare s-a optat pentru un tratament termic de călire prin inducție electromagnetică (călire C.I.F.), deoarece acest procedeu este foarte productiv și asigură o calitate deosebită.

Călirea s-a efectuat într-o instalație BCU-2-110 AE (figura 5.18) cu următorul regim de lucru: puterea instalației – 110kW; tensiunea – 750 V; frecvența de lucru – 8000 Hz; timp de menținere – 20 secunde; răcire în apă.

În urma aplicării acestui tratament de durificare superficială au rezultat următoarele concluzii:

- duritatea obținută s-a situat între valorile 57...58 HRC, care deși este mare, nu este corespunzătoare cerințelor de rezistență la uzare a pieselor;
- stratul superficial, deși dur, se poate prelucra prin finisare relativ bine folosind un regim de rectificare corespunzător;
- duritatea obținută este uniformă pe suprafața piesei;
- procedeul nu deteriorează materialul.

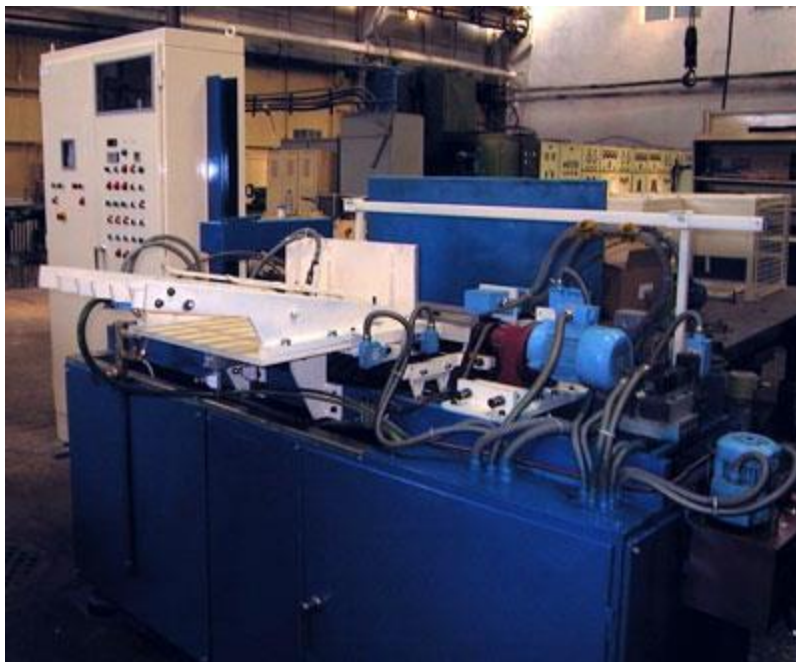


Fig. 5.27 Instalație de călire CIF

II) În cazul pieselor răcite în apă după cementare: duritatea stratului superficial are valori cuprinse între 32...38 HRC, nesatisfăcătoare din punct de vedere al cerințelor de rezistență la uzare impuse camelor.

În consecință s-a constatat că nici un procedeu nu este corespunzător.

III) Un număr de alte 16 bucăți came brute au fost încărcate prin cromare dură. Baza materială, regimul de lucru la încărcare și caracteristicile stratului obținut sunt prezentate în tabelele 5.6...5.8.

În scopul asigurării unei bune aderențe între piesa de bază și stratul de crom, după izolarea suprafețelor care nu trebuie încărcate, s-a aplicat un strat intermediar de 0,1 mm de cupru, prin electroliză. Pentru această operațiune s-a utilizat o soluție apoasă de sulfat de cupru 200g/l și acid sulfuric 50 g/l. În acest scop, s-au legat piesele la catod, anodul din cupru electrolitic fiind solubil. Temperatura băii a fost menținută între 15...25 °C, iar densitatea curentului la 6 A/dm².

Materiale necesare încărcării prin cromare

Tab. 5.6

Tipul electrolitului	Concentrația [g/l]		Randa-mentul [%]	Tipul anodului utilizat	Tipul băii
	Cr ₂ O ₃	H ₂ SO ₄			
Mediu*	250	2,4	15	Bare de plumb cu 7 % Sb, insolubil în electrolit	Din tablă de oțel de 5 mm, căptușită cu plăci de Pb sudate
Tare	350	3,3	11		

* Electrolitul mediu s-a utilizat pentru încărcarea fusurilor de sprijin ale arborelui

Regimul de lucru la cromarea dură

Tab. 5.7

Tipul electrolitului	Tensiunea de lucru [V]	Densitatea de curent [A/dm ²]	Temperatura băii [°C]	Timpul de menținere [ore]
Mediu*	10	50	60	12
Tare	10	35	70	14

* Electrolitul mediu s-a utilizat pentru încărcarea fusurilor de sprijin ale arborelui

S-a optat pentru o temperatură relativ ridicată a electrolitului pe timpul depunerii, deoarece limitează cantitatea depunerii de crom cu rețea hexagonală instabilă și implicit apariția fisurilor în stratul depus.

Deoarece raportul Cr₂O₃ / H₂SO₄ influențează cantitatea depunerii de crom, și acest raport se modifică datorită depunerii unei cantități de crom la catod, înainte de începerea operațiilor de încărcare s-a efectuat analiza electrolitului prin titrare cu sare Mohr în prezența unei soluții de feroină, conform prevederilor STAS 7874 - 81. Pe baza rezultatelor obținute s-a corectat compoziția electrolitului prin adăugare de anhidridă cromică.

Determinarea calității depunerii s-a efectuat în conformitate cu prevederile STAS 7971 – 81 și a constat în verificarea vizuală a aspectului și verificarea porozității conform prevederilor STAS 6973 – 90 prin folosirea unui reactiv pe bază de $K_3Fe(CN)_6$ și NaCl, câte 10 g din fiecare/l apă, îmbibat într-o hartie de filtru care s-a aplicat pe suprafețele degresate ale pieselor încărcate. După menținerea timp de 10 minute și uscarea hartziei de filtru, s-a determinat porozitatea cu ajutorul punctelor albastre rămase pe aceasta, care corespund porilor până la materialul de bază (oțel).

Caracteristicile calitative ale stratului de crom depus electrolic Tab. 5.8

Tipul electrolitului	Număr de piese verificate	Aderența	Porozitatea [%]	Duritatea [HRC]
Mediu*	3	Corespunzătoare	3,0	59
Tare	8	Corespunzătoare	2,7	62

*Electrolitul mediu s-a utilizat pentru încărcarea fusurilor de sprijin ale arborelui

Pentru camele fabricate din oțel de îmbunătățire C45, s-a executat un tratament termic de călire, urmată de revenire joasa. Prin aceasta s-a urmărit ridicarea durității stratului metalic de la suprafața pieselor prin obținerea martensitei ca și constituenț principal, precum și asigurarea unei bune tenacități a miezului prin obținerea unei structuri de revenire corespunzătoare (sorbită de revenire).

Călirea s-a efectuat prin menținerea pieselor în cuptorul încălzit la 840-860 °C timp de 1h urmată de răcirea în apă. Pentru refacerea structurii materialului de bază, după călire s-a efectuat o revenire joasa prin menținerea pieselor în cuptor la temperatura de 200 °C timp de 5 ore, după care piesele au fost lăsate să se răcească în aer.

Cu ocazia determinărilor efectuate în urma acestor operațiuni s-au constatat următoarele:

- duritatea medie a stratului superficial a fost de 59-60 HRC, corespunzătoare cerințelor;
- structura stratului superficial este format din martensită aciculară foarte fină, cu o cantitate mică de austenită reziduală și cu carburi fine și uniform distribuite la bază;
-

Concluzii

Rezultatele determinărilor efectuate au fost prezentate mai sus. În tabelul 5.9 sunt prezentate, centralizat din Anexa 2, rezultatele măsurărilor durității obținute pe timpul experimentărilor.

Duritatea materialelor în diferite faze ale experimentării Tab. 5.9

Materialul	Stadiul experimentului	Duritatea medie obținută [HRC]	Observații
C15	Materie primă	-	Necorespunzător
	După carburare și răcire în aer	19	Necorespunzător
	După carburare și răcire în apă	21	Necorespunzător
	După călire CIF	58	Necorespunzător (valoare apropiată)
	După încărcare prin cromare dură	62	Corespunzător
C45	Materie primă	-	Necorespunzător
	După îmbunătățire	60	Corespunzător

In graficele următoare se prezintă temperatura și timpii de menținere, precum și duritatea obținută la diferite tratamente termice :

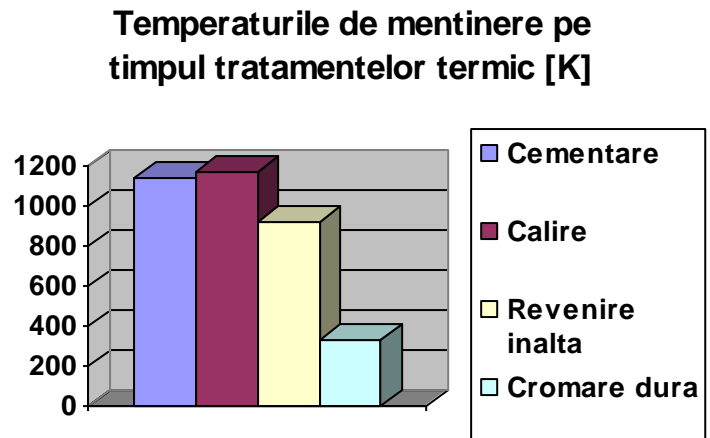


Fig.5.28

Timpul de mentinere la tratament termic [ore]

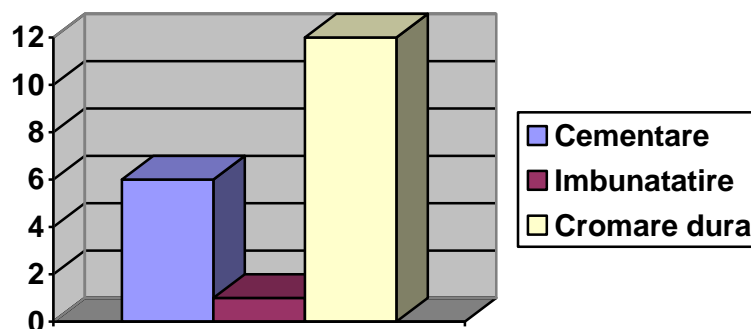


Fig.5.29

Duritatea obtinuta [HRC]

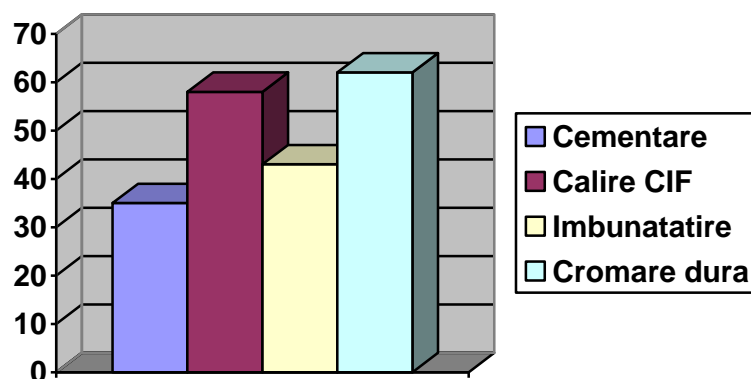


Fig.5.30

Din cele trei grafice de mai sus se poate observa necesitatea unei temperaturi (grade Kelvin) de mentinere mai ridicate pentru procesele de cementare, calire si normalizare, iar in cazul metodei de durificare prin cromare dura ,tempearatura de mentinere are valoarea cea mai mica.(5.19).In graficul 5.20 se evidentiaza timpzii de mentinere exprimati in ore pentru fiecare procedeu in parte.Astfel se poate observa cum in cazul cromarii dure este necesar cel mai indelungat timp de mentinere(circa 12 ore) in comparatie cu celelalte procedee ce nu necesita mai mult de 6 ore in cazul cementarii si circa 2-3 ore in cazul imbunatatirii.

In graficul 5.21 este reprezentata evolutia duritatii corespunzatoare fiecarui procedeu de imbunatatire.In cazul cementarii se obtine o duritate de aproximativ 35 HRC, in timp

ce in cazul procesului de durificare prin cromare dura se pot obtine valori ale duritatii de peste 60 HRC.Prin procedeele de imbunatatire sau calire CIF valorile duritatii sunt peste 40 HRC dar nu depasesc 60 HRC.

Pentru a depasi valoarea de 60 HRC s-au efectuat probe de calire CIF pe cateva came realizate din C55,astfel obtinandu-se o duritate de pana la 63 HRC corespunzatoare cerintelor.Aceasta duritate obtinuta se datoreaza continutului mai mare de carbon decat in cazul C45.

Temperatura	DURITATEA	
	APA	ULEI
900	57	52
850	59.5	49.5
830	56.5	48.5
800	48	44
750	2	0

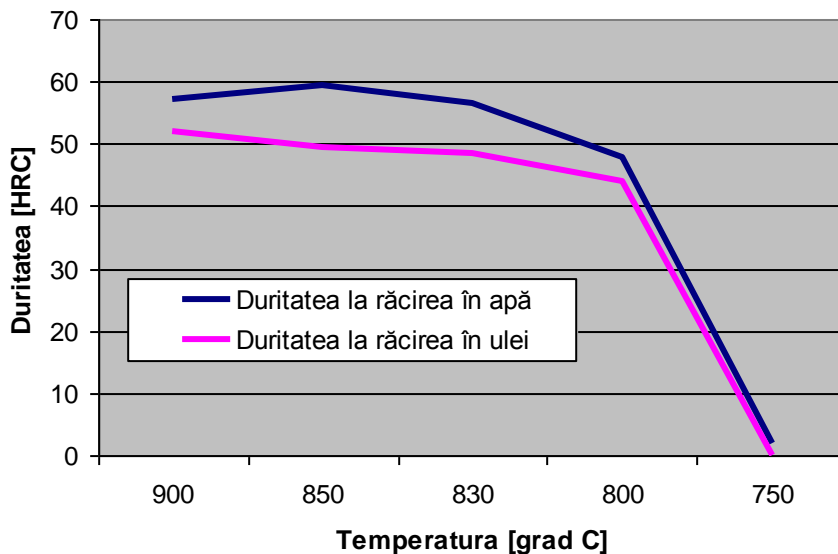


Fig.5.31 Evolutia duritatii in functie de temperatura de incalzire pentru un otel C45

REVENIRE PROBA 900

Temperatura	DURITATEA	
	APA	ULEI
200	56	51
250	53.5	49.75
300	51	48.5
350	48	44.5
400	45	41

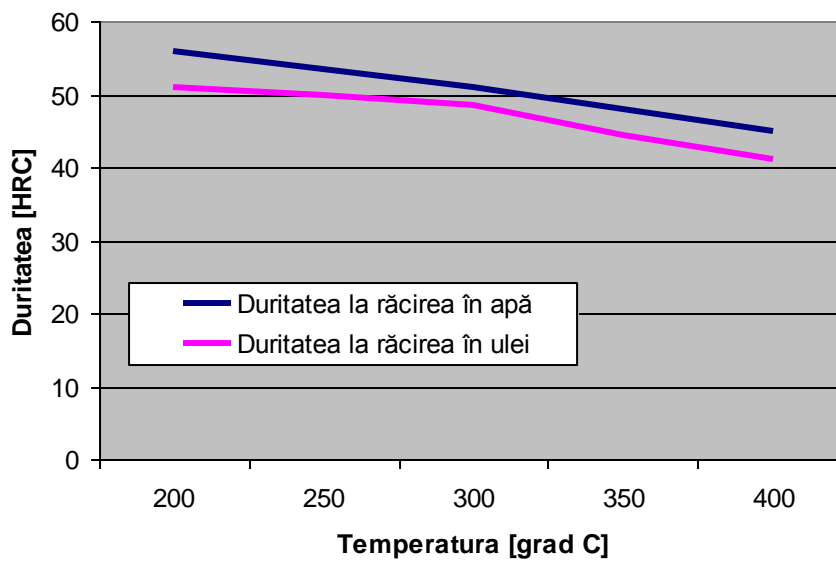


Fig.5.32 Evolutia duritatii in functie de temperaturile de revenire, la o temperatura de incalzire de 900 grade Celsius pentru un otel C45

REVENIRE PROBA 850

Temperatura	DURITATEA	
	APA	ULEI
200	59.5	52
250	50	47
300	48	46
350	46.25	43.5
400	44.5	41

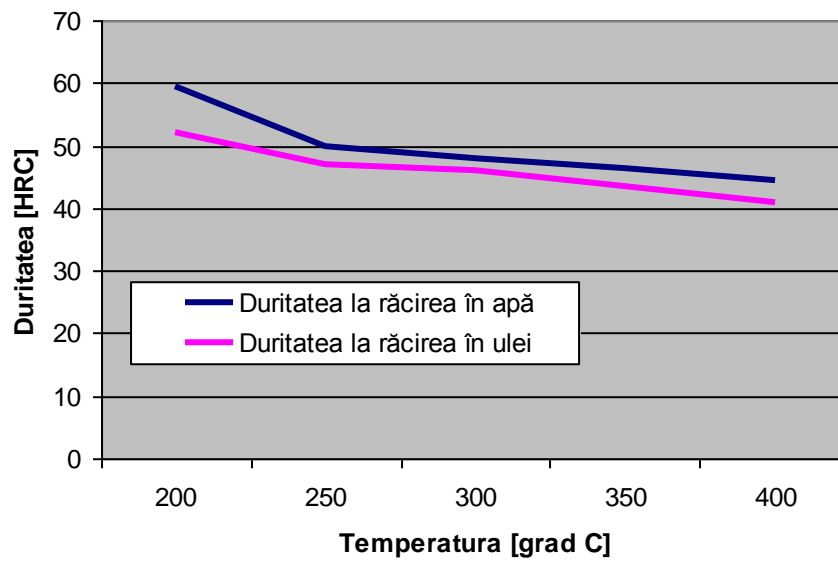


Fig.5.33 Evolutia duritatii in functie de temperaturile de revenire, la o temperatura de incalzire de 850 grade Celsius pentru un otel C45

REVENIRE PROBA 830

Temperatura	DURITATEA	
	APA	ULEI
200	56	50
250	50	40
300	48	38
350	46	39.5
400	44	41

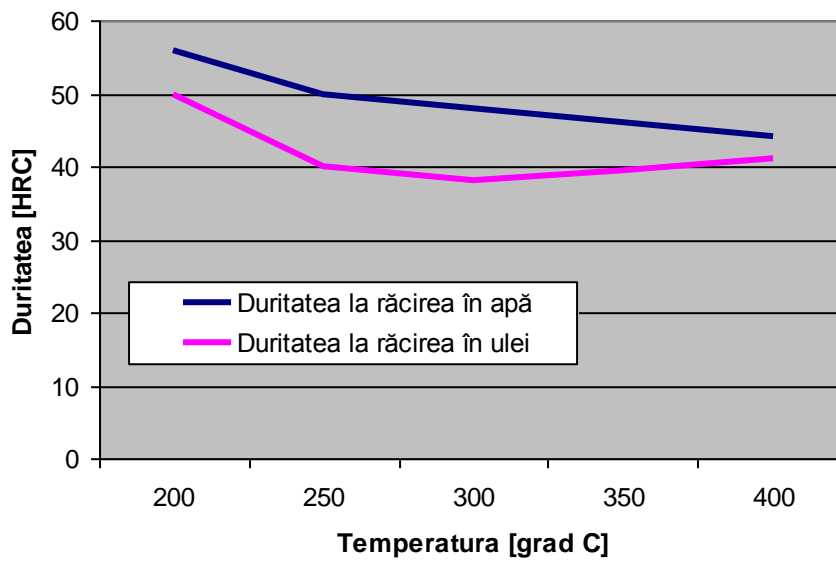


Fig.5.34 Evolutia duritatii in functie de temperaturile de revenire, la o temperatura de incalzire de 830 grade Celsius pentru un oțel C45

REVENIRE PROBA 800

Temperatura	DURITATEA	
	APA	ULEI
200	42	36
250	41	34
300	40	32
350	36	30
400	32	28

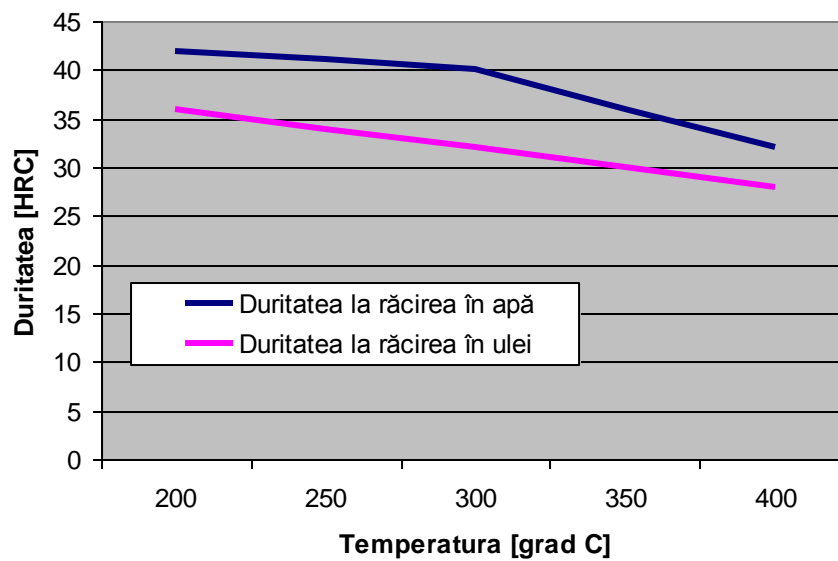


Fig.5.35 Evolutia duritatii in functie de temperaturile de revenire, la o temperatura de incalzire de 800 grade Celsius pentru un otel C45

REVENIRE PROBA 750

Temperatura	DURITATEA	
	APA	ULEI
200	2	0
250	1.5	0
300	1	0
350	0.5	0
400	0	0

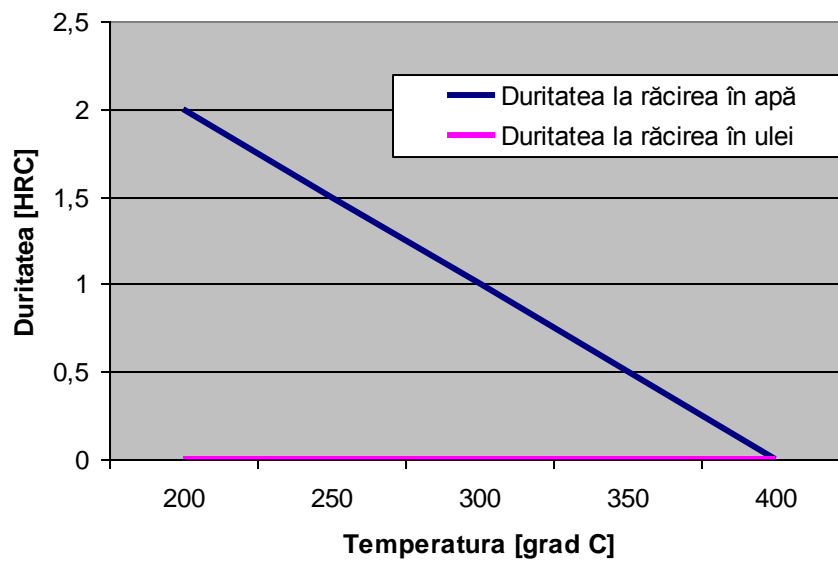


Fig.5.36 Evolutia duritatii in functie de temperaturile de revenire, la o temperatura de incalzire de 750 grade Celsius pentru un otel C45

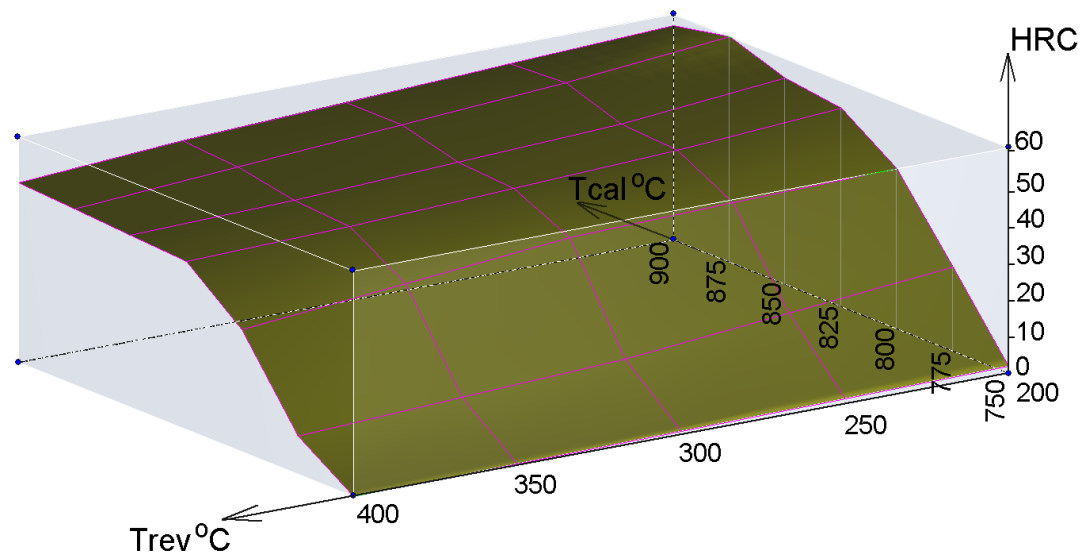


Fig.5.37 Variatia duritatii in functie de temperaturile de incalzire si temperaturile de revenire avand apa ca mediu de racire

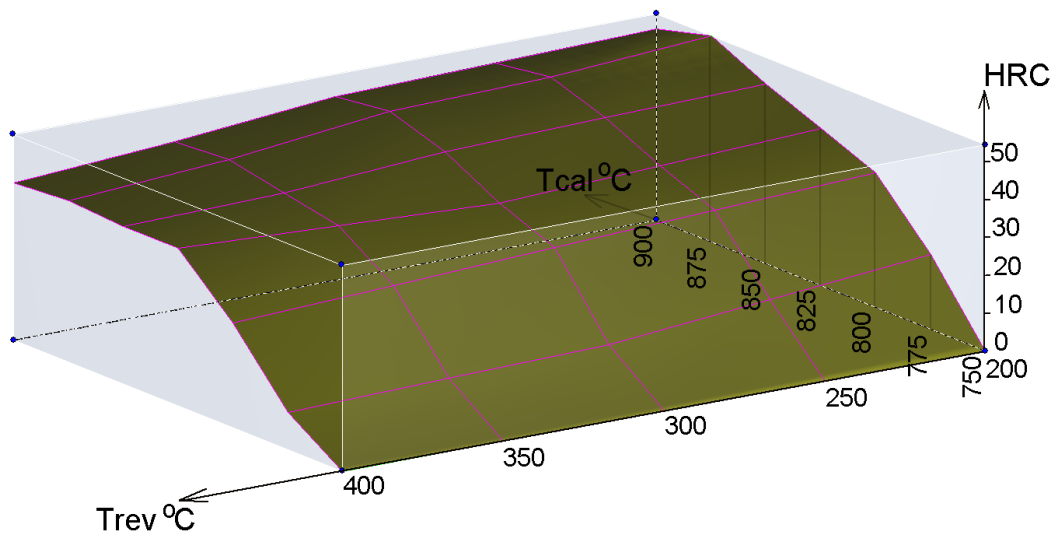


Fig.5.38 Variatia duritatii in functie de temperaturile de incalzire si temperaturile de revenire avand ca mediu de racire ulei

În reprezentarea grafică din figura 5.28 se poate observa cum duritatea crește odată cu creșterea temperaturii de încălzire, până în jurul valorii de 860 grade Celsius (un maxim de 60HRC) după care începe o scădere.

Astfel la temperaturi inferioare celei de 860 C duritatea este mai mică deoarece fierul nu se transformă în totalitate în austenită, rezultând fierul netransformat care duce la o duritate inferioară.

La temperaturi ce depășesc temperatura optimă de 860 C graunții de austenită cresc în exces, iar după transformarea austenitei se obțin plăci groase și puține ca număr de martensită ce duc de asemenea la o scădere evidentă a durității rămânând și o cantitate sporită de austenită reziduală.

În figura 5.29 este reprezentat tridimensional același C45, tratat termic în aceeași manieră, singura diferență fiind mediul de răcire care de această dată a fost uleiul.

Duritatea mai scăzută în acest caz se datorează vitezei de răcire care este mai lentă datorită mediului de răcire ales. Astfel, la o viteză mică de răcire transformările austenitei în martensită nu au loc. Austenita se transformă în perlita, sorbită sau troostită în funcție de viteza de răcire (conform diagramelor CCT), acești constituenți obținuți ducând la obținerea unei durități inferioare în raport cu cele obținute la răcirea în apă unde viteza de răcire este mai mare.

Un factor foarte important în obținerea unei durități omogene în toată masa piesei este timpul de menținere al piesei, atât la temperatura de încălzire cât și la temperatura de revenire. Acest timp de menținere se alege în funcție de dimensiunile și forma piesei.

Alegerea timpului de menținere în funcție de dimensiunile și forma piesei se determină prin metoda criterială în cazul pieselor complicate și prin încercări multiple în cazul pieselor simple.

Pentru reprezentarea cât mai elocventă a compozițiilor obținute în urma tratamentelor termice folosite la camele realizate din C45 s-au efectuat mai multe poze la microscop. În vederea studierii microstructurilor obținute în urma transformărilor corespunzătoare tratamentelor de calire și revenire la diverse temperaturi utilizate s-au realizat poze cu microstructuri atât la un C45 netratat cât și în urma tratamentelor efectuate.



Fig.5.39 Microstructura reprezentând un C45 în stare netratată(500:1, atac nital 2%)

Microstructura prezentata in figura 5.30 reprezinta un C45 netratat,laminat la rece, in stare ecruisata, folosit la realizarea camelor amovibile.Pentru efectuarea acestor poze s-a folosit un microscop metalografic cu o rata de marire de 500:1.

Se observa dispunerea sub forma de siruri a grauntilor de perlita(formatii drepte de culoare inchisa) printre grauntii echiaxiali de ferita(de culoare alba).

Proprietatile mecanice sunt anizotrope datorita dispunerii constituentilor in retea.Astfel rezistenta la rupere este maxima pe directia sirurilor de perlita si minima pe directia transversala sirurilor.



Fig.5.40 Microstructura otelului C45 supus calirii, la o temperatura de 875 grade Celsius si revenirii de 200 grade Celsius(100:1,atac nital 2%)

In reprezentarea din figura 5.31 se poate observa un C45 in urma unui tratament de calire la o temperatura de circa 875 grade celsius,mentinut 5 ore si racit in apa.In urma tratamentului de calire materialul a fost revenit prin incalzire la 200 de grade celsius, cu un timp de mentinere de 1h si lasat sa se raceasca lent pana la temperatura camerei.Microstructura este formata din martensita de revenire si austenita reziduala.Duritatea este de 59-60HRC.De asemenea caracteristicile mecanice corespund cerintelor prevazute pentru utilizarea camelor.



Fig.5.41 Microstructura reprezentand un C45 incalzit, in vederea calirii, la o temperatura de 860 grade Celsius si o temperatura de revenire de 200 grade Celsius(100:1, atac nital 2%)

In figura 5.32 se prezinta microstructura unei came realizate din C45 incalzit la 860 C.

Se poate observa o structura aproape identica cu cea obtinuta la temperatura de 875 C(fig.5.31), doar ca in cazul temperaturii de 860 C grauntii obtinuti sunt mai omogen distribuiti in retea.

Cele mai bune rezultate de duritate s-au obtinut folosind un oțel pentru cementare (C15), la care suprafețele camelor au fost încărcate prin cromare dură. Piesa obținută îndeplinește condițiile dimensionale și de funcționare necesare (figura 5.33). Singura deficiența a acestui procedeu este imposibilitatea garantării obținerii unui strat omogen de crom deșus pe piesa ceea ce duce, în final, la exfolierea acestuia.

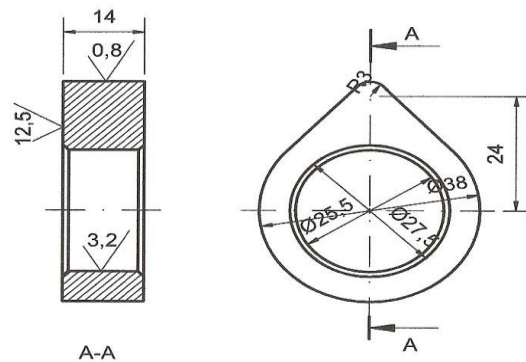


Fig. 5.42 Desenul de execuție al camei

După efectuarea ultimelor determinări, s-a executat o finisare a suprafețelor prin rectificare pe mașină de rectificat prin copiere, folosind următorul regim: adâncimea de așchiere $t = 0,019$ mm/cursă; avansul $s = 10$ mm/rot; viteza de așchiere $v_p = 30$ m/s.

Pentru prelucrare s-a folosit o mașină de frezat cu comandă program (figura 5.34) și un sistem electric de copiat cu palpatoare cu contacte inductive. Un asemenea sistem este reprezentat în figura 5.35. El comandă atât avansul de copiere (urmărire) s_u , cât și avansul conducător s_c . Cele două avansuri se realizează cu ajutorul cuplajelor electromagnetice CE_1 , CE_2 și CE_3 .



Fig. 5.43 Mașină de frezat cu comandă program

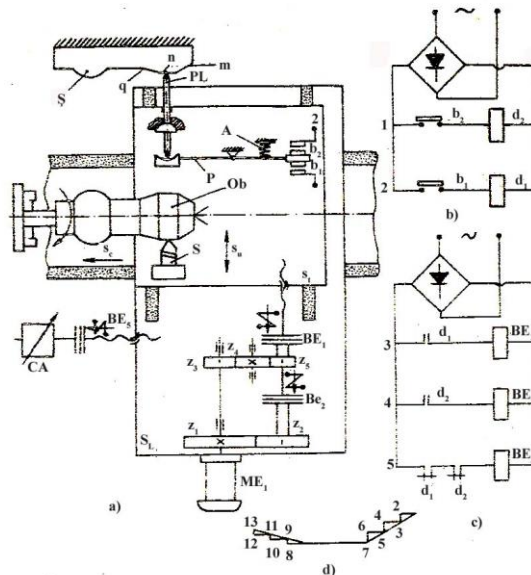


Fig. 5.44 Sistem de copiat electric cu contacte

Acest sistem, compus din palpatorul PL, pârghia P, arcul A, cele două contactoare b_1 și b_2 și cuțitul S sunt fixate pe sania transversală S_T . Sania se poate deplasa pe ghidaje după direcția avansului s_u . Mișcarea saniei se obține de la motorul ME_1 prin intermediul unor angrenaje, a cuplajelor CE_1 și CE_2 și transmisiei șurub-piuliță.

Sania longitudinală S_L primește mișcarea de avans de la acționarea principală a mașinii prin cutia de avansuri C_A , cuplajul electromagnetic CE_3 și mecanismului șurub-piuliță.

Când palpatorul nu se află în contact cu șablonul Ș, pârghia sub acțiunea arcului închide contactul b_1 . Se anclanșează releul d_1 , care prin intermediul contactului său comandă acționarea cuplajului Ce_1 care provoacă apropierea palpatorului de șablon și cuțitul S de obiectul Ob. Când palpatorul atinge șablonul, contactul b_1 se deschide. Deoarece și contactul b_2 este deschis, ambele relee intermediare d_1 și d_2 sunt deconectate de la rețea. Ca urmare cuplajul Ce_3 se va cupla permițând executarea avansului conducător a_c .

Când palpatorul se află pe porțiunea **m** a șablonului, prin deplasarea saniei S_T spre stânga, vârful de jos al palpatorului se rotește tot spre stânga și în jos, închizând contactul b_2 . În acest mod se anclanșează releul d_2 , care la rândul lui cuplează CE_2 . Sania S_T se deplasează în jos, până când b_2 se deschide. Deoarece ambele contacte b_1 și b_2 sunt deschise se comandă avansul s_c prin cuplajul CE_3 . Prin urmare, un punct de pe cuțit va descrie succesiv segmente de dreaptă paralele cu cele două direcții de deplasare (linia 1...7 fig. d).

Când palpatorul urmărește porțiunea **n** a șablonului, paralelă cu axa obiectului Ob, ambele contacte b_1 și b_2 sunt deschise, obținându-se pe piesă un contur identic cu cel de pe șablon.

Dacă palpatorul urmărește o porțiune descendentă a șablonului, contactul b_1 prin închiderea și deschiderea sa intermitentă, va comanda cuplajele CE_1 și CE_3 , vârful cuțitului descriind traiectoria 8...12.

În cazul camelor, datorită complexității și preciziei profilului se poate folosi un traductor de copiat cu contacte multiple, care permite copierea în trepte mai mici și deci o precizie mai mare.

Rezultate mai bune se pot obține dacă se utilizează traductoare inductive bazate pe principiul transformatorului diferențial. Schema de principiu a unui asemenea sistem este redată în figura 5.36:

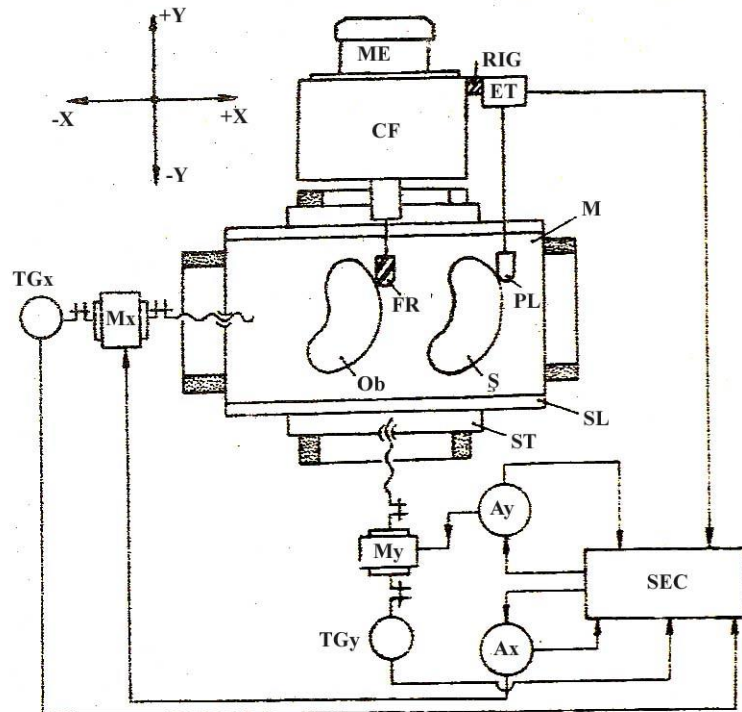


Fig. 5.45 Traductor inductiv

Obiectul Ob și șablonul Ș sunt amplasate pe masa M susținută de sania longitudinală SL. Sania cu sistemul ei de ghidare este fixată pe sania transversală ST, astfel încât mesei M i se pot imprima mișcări de avans după cele două direcții x și y cu ajutorul motoarelor electrice Mx și My.

Prelucrarea se execută cu freza FR montată în capul CF de frezat, de a cărei carcasă este solidarizat elementul de traductor ET prin legătura rigidă RIG.

Motoarele Mx și My pot fi comandate de către palpatorul PL, ale cărui semnale amplificate și trecute printr-un sistem electronic de comandă SEC, se transmit amplidinelor Ax și Ay. Semnalele provenite de la palpator sunt transformate în semnale electrice de către elementul traductor ET. Aceste semnale ajung în SEC în care sunt descompuse în componente pe cele două direcții x și y, amplificate și apoi transmise amplidinelor, de la care se comandă proporțional motoarele electrice. Reacția inversă a sistemului se realizează prin legătura RIG.

5.3.3 Realizarea arborelui

Arborele cu came este solicitat la încovoiere, torsiune și la socuri. Forța maximă transversală care soliciță arborele este :

$$F_{\max} = 2 \cdot \pi \cdot r_{se}^2 \cdot \Delta p \cdot c_p$$

relație în care:

r_{se} – raza supapei de evacuare; $r_{se} = 32$ mm;

$\Delta p = 0,25$;

c_p – coeficient de acoperire; $c_p = 1,15$

Rezultă:

$$F_{\max} = 2 \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 0,25 \cdot 1,15 = 1850 \text{ N}$$

În aceste condiții, momentul maxim de încovoiere al arborelui va fi:

$$M_{\max} = d_{\max} \cdot F_{\max}$$

unde:

d_{\max} – distanța maximă de la fus la camă, înregistrată la camele din centrul arborelui.

$$M_{\max} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 1860 = 29,8 \text{ N.m}$$

Pentru a suporta această solicitare am optat pentru țevă C15T având următoarele caracteristici (tabelul 5.6):

Țevă din oțel C15T

Tab. 5.6

Compoziția chimică				
C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]
0,09...0,16	0,40...0,80	-	max. 0,045	max. 0,040
Caracteristici mecanice				
Limita de curgere $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Rezistența la rupere R_m [N/mm ²]		Alungirea la rupere A_5 [%]	
350	774		15	

Operațiile de prelucrare primară ale arborelui au constat în:

a) Fabricarea dopurilor

- fabricarea dopului care se introduce în partea anterioară, pentru antrenarea pompei de vacuum a constat în debitarea din bară de oțel C45, strunjire fină și rectificare a suprafețelor și practicarea degajării care servește drept reper pentru poziția 0 a distribuției (figura 5.37);



Fig. 5.46 Dop pentru partea anterioară a arborelui

- fabricarea dopului care se introduce în partea posterioară, pentru fixarea pinionului de antrenare a curelei de distribuție, a constat din debitare din bară de oțel OLC 45, găurire la $\Phi 16$ și filetare interioară, urmată de prelucrare exterioară.

b) Prelucrarea arborelui din țevă C15T a constat în:

- **strunjire fină în zona fusurilor de sprijin.** Strunjirea s-a efectuat pe un strung normal SN 400, cu următorul regim de așchiere (tabelul 5.7):

Regimul de așchiere la strunjirea fusurilor

Tab. 5.7

Adâncimea de așchiere t [mm]	Avansul s [mm/rot]	Viteza de așchiere v_p [m/min]	Turația n_i [rot/min]	Mod de răcire
2	0,4	80	200	apă

- **rectificare în zona fusurilor de sprijin.** Rectificarea s-a făcut pe o mașină de rectificat universală RU 100x1500, având următoarele caracteristici:

- Diametrul maxim de rectificare 100 mm
- Lungimea maximă de rectificare 500 mm
- Distanța între vârfuri 500 mm
- Înălțimea vârfurilor față de masă 135 mm
- Turațiile pietrei rectificare 1480 rot/min
- Domeniul turațiilor piesei (reglabile continu) 600...800 rot/min.
- Domeniul vitezelor mesei *(reglabile continu) 0,05- 8 m/min
- Puterea motorului de antrenare a pietrei 3 kw
- Greutatea mașinii 2700 kg



Fig. 5.47 Mașina de rectificat universală

- încărcare prin cromare în zona fusurilor de sprijin. S-a făcut folosind un electrolit mediu, cu compoziția, regimul de lucru și rezultatele prezentate în tabelele 5.6...5.8.

În urma acestor determinări calitative s-au obținut următoarele rezultate:

- aderența este corespunzătoare;
- porozitatea – 3,0 %;
- duritatea – 62 HRC
- Stratul depus este uniform, compact și foarte dur.

S-a încercat și depuneri de strat mai mari de 0,2 mm, dar s-a constatat că procedeul devine mai greoi, scade substanțial randamentul depunerii și stratul depus devine fragil și opac.

Tab. 5.8

Calculul cheltuielilor pentru manoperă la confecționarea arborelui cu came (C_m)

Piesa	Timpul util [ore]								Valoarea manoperei	
	Preluc iniț.	Preg. pt. încărc	Încărcare	Prelucr finală	Control piese	Asamblare	Contr. final	Total timp	Unitar [lei]	Total [lei]
Cama	0,8	0,2	0,15	0,5	0,4	0,6	0,4	3,05	2,74	8,357
Arbore	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4			2,2	2,74	6,028
Dopuri	0,2	-	-	0,2	0,25			0,15	0,8	2,74

Rezultă total cheltuieli pentru manoperă $C_m = 16,577$ lei.

Operațiunile de prelucrare finală au constat în:

- prelucrarea pentru asigurarea calității suprafețelor încărcate prin cromare. Aceasta a constat dintr-o rectificare fină;
- lustruirea întregii suprafețe exterioare a arborelui.

5.3.4 Montarea camelor pe arbore

Prima operațiune a constat în introducerea prin presare la temperatură diferențiată a dopului, care servește pentru antrenarea pompei de vacuum, având o creștătură care este reper pentru punctul 0 al distribuției.

Pentru montarea camelor pe arbore s-a folosit un dispozitiv de fixare a camelor în pozițiile impuse de asigurarea momentelor și duratelor optime de deschidere, respectiv închidere a supapelor, conform ciclului de funcționare.

Asamblarea camelor pe arbore s-a făcut prin presare la diferență de temperatură, camele fiind încălzite la 150 °C, iar pentru răcirea arborelui utilizând azot lichid la -196 °C. Pentru o mai bună fixare a camelor în poziția stabilită de către dispozitiv, orificiul interior al camei a fost prevăzut cu niște valturi.

Ultima operație a constat în asamblarea prin presare a dopului care se introduce în partea posterioară, pentru fixarea pinionului de antrenare a curelei de distribuție.



Fig. 5.48 Arbore cu came tubular asamblat

5.4. Incercări de anduranță a arborelui cu came tubular

Pentru efectuarea încercărilor de rezistență a camelor de pe arborele cu came tubular, în vederea comparării comportamentului său în raport cu arborele cu came plin, s-a conceput și realizat un stand special (figura 5.40). acesta a avut drept scop asigurarea funcționării continue, timp de 10 ore pe zi, a unui arbore cu came fixat pe un stand de concepție proprie, realizându-se astfel, în regim de urgență, un ciclu de funcționare echivalent cu parcursul a 100.000 km, lucru care în condiții normale de funcționare s-ar fi putut realiza în decurs de doi ani.

S-a urmărit creerea acelorași condiții de funcționare pe stand ca și în cazul funcționării pe automobil : forțe, ungeri, regim de rotație, etc.

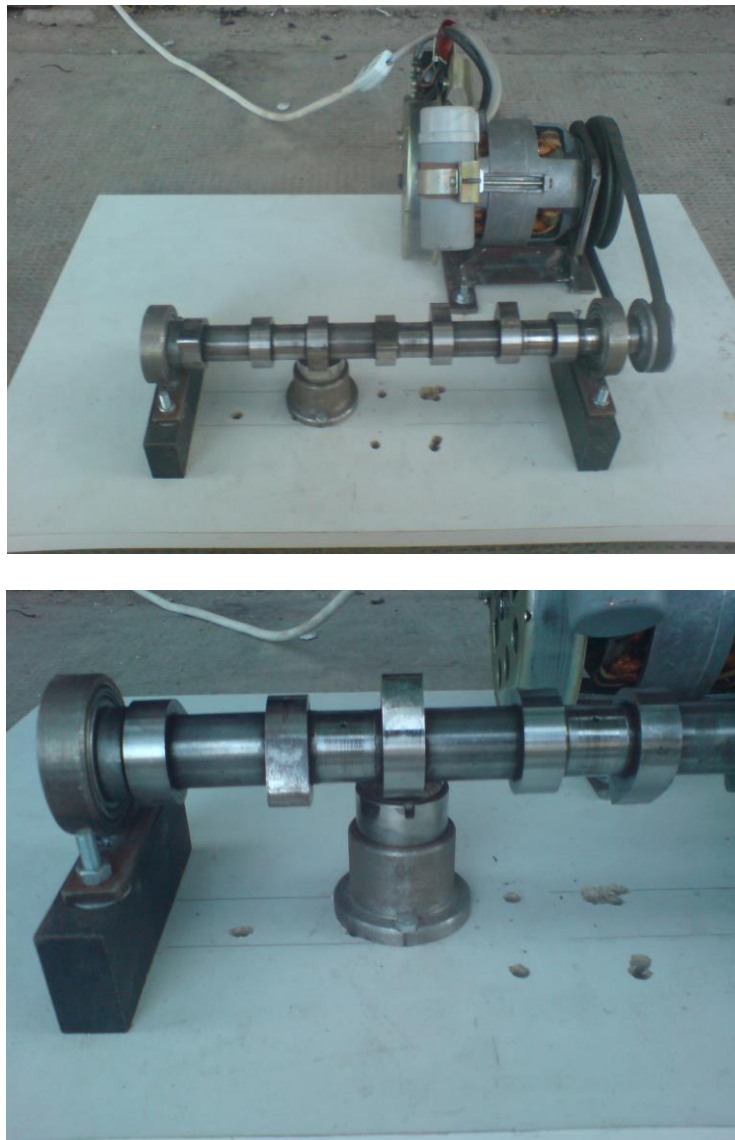


Fig. 5.49 Stand pentru verificarea în funcționare a arborelui cu came tubular

Standul este prevăzut cu un motor electric de acționare, suporti de sprijin pentru fusurile paliere extreme și un dispozitiv de acționare asupra camei care conține un tchet presat de un arc tensionat astfel încât să asigure aceeași forță de apăsare asupra camei ca și în cazul funcționării arborelui pe automobil.

Cu ajutorul acestui stand s-au verificat atât camele tratate termic (cementare, calire CIF), cât și camele acoperite prin cromare dură.

Așa cum se constată din rezultatele măsurătorilor periodice, chiar după funcționarea timp de 1000 de ore, nu s-au constatat urme vizibile de uzură.

În continuare s-a mărit forța de apăsare prin înlocuirea arcurilor cu unele care asigurau o forță de apăsare mai mare cu 25%, condiție în care standul a mai funcționat 500 de ore. După măsurătorile efectuate, s-a constatat o uzură maximă de 24 μm, nesemnificativă din punct de vedere al modificării parametrilor funcționali ai motorului, ceea ce a demonstrat că din acest punct de vedere, piesele confecționate pentru arborele cu came tubular corespund cerințelor de funcționare.

În concluzie am considerat camele realizate din C45, calit și revenit, ca fiind cea mai potrivită alegere în ce privește utilizarea propusă. De asemenea nu este exclusă nici varianta C45 calit CIF, singurele probleme observate fiind adâncimea stratului tratat (mult mai mică decât la calire în cuptor cu gaz) și bineînțeles costurile și complexitatea operațională (instalatie de calire CIF foarte complexă). De remarcat este și soluția cromării dure, aceasta oferind duritatea cea mai mare (62HRC), dar stratul cromat nu este potrivit pentru a fi utilizat la regimuri de soc (ansamblu cama-tchet), existând riscul exfolierii suprafeței depuse și ulterior a uzării premature deoarece materialul camei de sub stratul de crom nu este îmbunătățit, evident duritatea fiind mult sub cea specificată.

Considerăm cromarea dură ca fiind foarte potrivită pentru fusurile lagarelor de alunecare ale arborelui cu came (teava în cazul nostru). Zonele lagarelor de alunecare ale arborelui cu came tubular sunt destul de solicitate în funcționare, iar alegerea constructorului Renault pentru teava folosită este un C15 care este destul de deficitar în ce privește rezistența la uzură.

Astfel prin acest procedeu se poate folosi în continuare același C15 pentru caracteristicile sale ductile și cromarea dură aplicată doar în zonele lagarelor de alunecare garantează rezistența la uzură în timpul funcționării.

5.5. Eficiența economică a fabricării arborelui cu came tubular

Pentru analiza comparativă a costurilor de fabricație ale arborelui cu came tubular față de arborele cu came clasic, s-au luat în calcul prețurile de piață existente la 01.04.2008.

La calcularea acestor cheltuieli s-a ținut seama de toate operațiunile efectuate, costurile materialelor, manoperei, energiei electrice și regiei, după cum urmează:

a) Calculul manoperei (C_M)

Pentru calculul manoperei s-au utilizat relațiile:

$$T_u = T_b + T_a + T_{dt} + T_{do} + T_{on} + T_{to}$$

cu :

T_u – timpul unitar ;

T_b – timpul de bază ;

T_a – timpul ajutător ;

T_{dt} – timpul de deservire tehnică ;

T_{do} – timpul de deservire organizatorică ;

T_{on} – timpul de odihnă și necesități fiziologice ;

T_{to} – timpul de întreruperi tehnice și de organizare

Pentru T_{dt} s-a luat în calcul 2,5 % din T_b , iar pentru T_{do} s-a luat 1 % din T_b .

În cazul prelucrărilor mecanice, ceilalți timpi au fost calculați cu relațiile:

$$T_b = \pi \cdot D \cdot L \cdot i / 1000 \cdot v \cdot s \quad [\text{min}]$$

cu:

d – diametrul piesei prelucrate [mm];

L – lungimea piesei [mm];

v – viteza de așchiere [m/min];

s – avansul [mm/rot];

i – numărul de treceri.

La încărcarea prin cromare dură, timpul de bază se calculează cu relația:

$$T_b = T_c / 60 \cdot i$$

unde:

T_c – timpul de menținere la încărcare a piesei;

i – numărul de piese din lot care se încarcă simultan.

Pentru tratamentele termice sau termochimice s-au utilizat aceleași relații.

Cheltuielile pentru manoperă sunt prezentate în tabelul 5.8.

b) Calculul cheltuielilor pentru materiale (C_M)

Ținând seama de dimensiunile pieselor, adaosurile de prelucrare și prețul laminatelor (3,57lei/metru liniar țevă Φ 25 din C15T, 1,4 lei/kg bară laminată din C15 și 2,4 lei/kg bară laminată din C45), a rezultat costul laminatelor necesare = 8,41 lei

Pentru calculul cantității de crom depus se utilizează relația lui Faraday:

$$M_D = K \cdot I \cdot T \cdot \eta$$

unde:

K – echivalentul electrochimic al materialului care se depune [10^{-3} kg/A. H];

I – intensitatea curentului [A];

t – timpul [h];

η – randamentul curentului.

În cazul folosirii anhidridei cromice $K = 0,323$; $\eta = 0,15$

Prin însumare rezultă cheltuieli materiale totale (C_M) = 9,047 lei

c) Calculul cheltuielilor pentru consumul energetic (C_e)

Calculul cheltuielilor pentru energia electrică consumată la fabricarea arborelui cu came tubular este prezentat în tabelul 5.9.

Tab. 5.9

Cheltuieli pentru energia electrică C_e [kW]

Piesa	Operațiunea				Valoarea	
	Prelucrări mecanice	Încărcare	Alte operațiuni	Total consum	Unitară [lei/kW]	Totală [lei]
Came	15,32	7,04	0,74	23,1	0,3	6,93
Arbore	6,50	3,52	0,93	10,95	0,3	3,285
Dopuri	7,50	-	0,37	7,87	0,3	2,361

Rezultă total cheltuieli pentru consum energetic $C_e = 12,576$ lei

d) Calculul cheltuielilor pentru regie (C_r)

Cheltuielile pentru energie reprezintă partea de cheltuieli auxiliare pentru realizarea produsului: plata salariilor personalului TESA, cheltuieli de mentenanță, amortizarea fondurilor fixe, cheltuieli curente ale secției (iluminare, apă, căldură, ventilație, etc.). Deoarece aceste cheltuieli diferă foarte mult de la întreprindere la întreprindere sau chiar de la secție la secție în cadrul aceleiași întreprinderi, s-a luat în calcul regia ca fiind în procent de 517 % din valoarea manoperei (procent mediu practicat de un număr de 6 mari agenți economici chestionați).

Rezultă $C_r = 16,577 \cdot 5,17 = 85,703$ lei

Ponderea diferitelor cheltuieli în ansamblul cheltuielilor de producție reiese din figura 5.41:

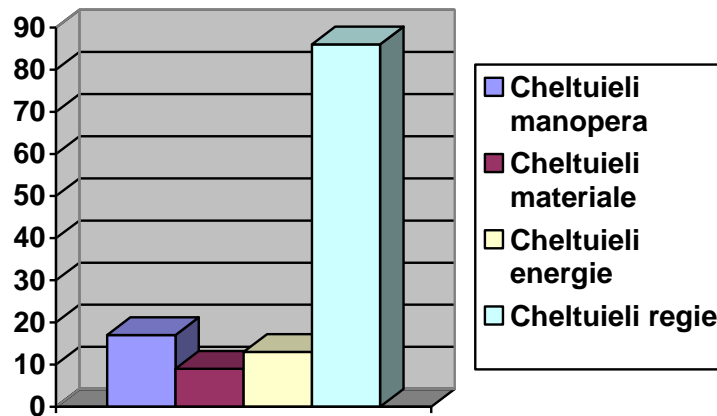


Fig. 5.50 Ponderea diferitelor cheltuieli

e) Calculul cheltuielilor totale pentru recondiționare C_R

$$C_R = C_m + C_M + C_e + C_r$$

Valoarea cheltuielilor cheltuielilor totale reiese din tabelul 5.10

Tab. 5.10

Cheltuieli cu manopera [lei]	Cheltuieli cu materialele [lei]	Cheltuieli cu energia [lei]	Cheltuieli de regie [lei]	Total cheltuieli [lei]
16,577	9,047	12,576	85,703	123,903

Rezultă un preț de cost incomparabil mai mic față de prețul de achiziție al unui arbore cu came plin (267 euro + TVA).

Concluzii :

- cheltuielile pentru achiziționarea materialelor sunt foarte mici în raport cu celelalte cheltuieli, reprezentând 7,3 % din totalul cheltuielilor ;
- cheltuielile pentru manoperă depind de complexitatea piesei, gradul de automatizare a procesului, modul în care este organizată activitatea, etc. Ele au o pondere de 13,38 % din totalul cheltuielilor. Aceste cheltuieli reprezintă pârghia principală prin care se poate reduce prețul de cost al pieselor recondiționate ;
- ponderea cea mai mare în cadrul cheltuielilor o au cheltuielile pentru regie care reprezintă aproape 70 % din totalul cheltuielilor. Deoarece cheltuielile pentru regie se calculează de regulă în raport cu cheltuielile pentru manoperă, rezultă că prin automatizarea procesului de producție și prin organizarea judicioasă a fluxului de producție, costurile pot fi foarte mult reduse, cu efect benefic pentru întreprindere.

Cap 6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

6.1 CONCLUZII

- Industria producătoare de automobile din țara noastră are o tradiție de aproape un secol. După fabricarea primelor automobile la Arad la începutul secolului XX, industria constructoare de automobile din România a cunoscut un avânt deosebit în perioada începând cu mijlocul sec. XX prin construirea uzinelor producătoare de automobile din Brașov, Pitești și Câmpulung Muscel. Ulterior au mai fost fabricate automobile la Craiova și Timișoara.

- Automobilele și motoarele fabricate în prezent în țara noastră se încadrează în tendințele actuale de îmbunătățire a performanțelor și de creștere a confortului și siguranței circulației. Acest lucru le asigură competitivitatea pe piețele internaționale, fapt evidențiat de dinamica vânzărilor de automobile autohtone.

- Producătorii de automobile autohtoni au în vedere sistemele de propulsie altele decât motoarele cu ardere internă și utilizarea combustibililor neconvenționali.

- Factorii care influențează uzarea pieselor de automobile sunt variați și acționează în timp determinând apariția diferitelor defecte, de la abateri dimensionale până la scoaterea din funcțiune a unor piese, subansamble sau chiar a automobilului. Cunoscând acești factori și influența lor asupra funcționării autovehiculului, constructorii și exploataorii de automobile pot lua măsuri pentru eliminarea sau măcar diminuarea efectelor acestora.

- Pentru producătorii de autovehicule, fiabilitatea a devenit un criteriu de performanță, o condiție de supraviețuire pe o piață în care se desfășoară o luptă acerbă. Pentru evaluarea criteriilor de fiabilitate în domeniul auto, există o serie de indicatori specifici cu ajutorul cărora se poate urmări îndeplinirea performanțelor planificate de către automobilele fabricate și pe această bază se pot lua măsuri de remediere a situațiilor defavorizante.

- Prin alegerea judicioasă a materialelor utilizate în construcția automobilelor și a componentelor acestora precum și prin alegerea tehnologiilor adecvate se pot îmbunătăți calitățile constructive și funcționale ale autovehiculelor.

- Tratamentele termice sau termochimice determină în mod hotărâtor proprietățile fizico-mecanice ale pieselor.

- Arborele de distribuție (arborele cu came) constituie elementul principal al mecanismului de distribuție al unui motor cu ardere internă. El este solicitat la încovoiere și torsiune, iar camele la uzare;

- Din observațiile făcute cu ocazia încercărilor experimentale, utilizând diferite materiale și diferite tratamente termice sau termochimice, reiese că cele mai bune rezultate s-au obținut folosind un oțel pentru cementare (C15), la care suprafețele camelor au fost încărcate prin cromare dură și de asemenea un C45 care a fost calit și revenit. Piese obținute îndeplinesc condițiile dimensionale și de funcționare necesare;

- Pentru buna funcționare a motorului, trebuie ca poziționarea camelor să fie foarte precisă. Pentru a se realiza acest lucru s-a realizat un dispozitiv special pentru poziționarea și fixarea camelor înainte de montarea la temperaturi diferențiate;

- În urma studiului bazat pe modelarea matematică au reieșit următoarele concluzii:

- Prin compararea valorilor tensiunilor și deformațiilor pentru cele 2 variante ale arborelui de distribuție se constată că abaterea procentuală este cuprinsă între 0,9...8 % pentru tensiuni, iar pentru deformații este cuprinsă între 14,2...20,9% . Această diferență mică se explică prin aceea că valorile modulelor de rezistență axiale, respectiv polare a unei secțiuni circulare pline este cu 5...10 % mai mare față de aceleași mărimi calculate pentru o secțiune tubulară de același diametru exterior.

- Pentru nici una din variantele de calcul, respectiv pentru nici un caz de încărcare nu sunt depășite valorile tensiunilor admisibile.

- Valorile deformațiilor sunt nesemnificate acestea nemodificând diagrama de distribuție.

- Varianta de arbore de distribuție de secțiune tubulară este avantajoasă contribuind la reducerea de greutate cu 0,52 kg.

- Cheltuielile pentru achiziționarea materialelor sunt foarte mici în raport cu celelalte cheltuieli, reprezentând 7,3 % din totalul cheltuielilor ;

- Cheltuielile pentru manoperă depind de complexitatea piesei, gradul de automatizare a procesului, modul în care este organizată activitatea, etc. Ele au o pondere de 13,38 % din totalul cheltuielilor. Aceste cheltuieli reprezintă pârghia principală prin care se poate reduce prețul de cost al pieselor recondiționate ;

- Ponderea cea mai mare în cadrul cheltuielilor o au cheltuielile pentru regie care reprezintă aproape 70 % din totalul cheltuielilor. Deoarece cheltuielile pentru regie se calculează de regulă în raport cu cheltuielile pentru manoperă, rezultă că prin automatizarea procesului de producție și prin organizarea judicioasă a fluxului de producție, costurile pot fi foarte mult reduse, cu efect benefic pentru întreprindere.

6.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE

Alegerea unor materiale adecvate pentru confecționarea arborelui cu came tubular.

Încă din pionieratul automobilului, toate motoarele cu ardere internă, în 4 timpi, montate pe autovehicule, de mai bine de un secol și până în prezent, utilizează arborele cu came ca o componentă vitală și de neînlocuit pentru funcționarea motorului. S-au încercat numeroase soluții tehnice menite să înlocuiască arborele cu came, dar toate, până în prezent s-au dovedit a fi inoportune și ineficiente din toate punctele de vedere. Un exemplu în acest sens este motorul rotativ (Wankel) unde însuși arborele motor a fost eliminat, utilizându-se un complex de angrenaje ce transmit momentul motor de la pistonul rotativ spre transmisie, dar și în acest caz arborele cu came este folosit neputând fi înlocuit cu un alt subsansamblu. De asemenea există constructori consacrați de motoare pentru autovehicule care au început să studieze înlocuirea arborelui cu came cu bobine electromagnetice menite să piloteze individual fiecare supapă în secvențele de deschidere și închidere. Astfel s-au realizat chiar și câteva motoare experimentale cu acest tip de comandă a distribuției. Rezultatul a fost sub așteptări deoarece la un regim de turatie de 4000 de rotații acele bobine speciale intrau în baleaj neputând respecta secvența de deschidere-inchidere, deci implicit diagrama de distribuție, acestea ducând la o funcționare anormală și chiar la ruperea unor componente din interiorul motorului.

Demn de menționat în acest sens este faptul că încă de la începutul motorului în 4 timpi și până în prezent, indiferent de tipul de carburant, de soluțiile tehnice adoptate în construcția de motoare, de scopul și destinația autovehiculului pe care urma să fie montat motorul, chiar și în sectorul competițional, arborele cu came este omniprezent și de neînlocuit până în clipa de față.

Ținând cont de aceste aspecte de natură istorică a motorului în 4 timpi, am considerat oportună alegerea acestui subsansamblu din alcatuirea motorului ca element de studiu pentru această teză de doctorat, mai ales că arborele cu came tubular reprezintă soluția tehnică ce a dus la cea mai importantă modificare în ce privește construcția și metodele de realizare a acestui subsansamblu.

Încă de la început arborele cu came era realizat din fontă, prelucrat din plin (chiar dacă era o pierdere imensă de material), la acea vreme, ca ulterior să se aleagă soluția turnării fontei în cochile pentru a evita pierderile de material. Este adevărat că fonta, în comparație cu oțelurile uzuale, are o duritate net superioară (cca. 300HRC), dar metodele de obținere și prelucrare sunt mult mai costisitoare decât în cazul oțelurilor, iar din experimente s-a dovedit că o duritate apropiată valorii de 60HRC este suficientă pentru a asigura o bună și îndelungată funcționare a unei came de pe arborele cotit.

De asemenea pentru partea de arbore propriu-zis (teava în cazul nostru), luând în calcul toate solicitările la care este supus în timpul funcționării, s-a demonstrat că este suficientă folosirea unui oțel C15 ce face față fără probleme tuturor solicitărilor impuse.

Singurul impediment, până la realizarea arborelui cu came tubular, a fost imposibilitatea realizării sale din două tipuri de materiale diverse, arborele clasic fiind realizat dintr-o singură piesă, aceasta neputând nici măcar să fie tratată termic diferențiat pe elemente.

Pe langa toate aceste criterii, cel mai important lucru, in realizarea acestui arbore cu came tubular este faptul ca fabricarea lui este mult mai putin costisitoare decat varianta clasica din fonta si ca este mai usor cu circa 0.5 kilograme, o premiza de luat in calcul in ziua de azi cand toti constructorii consacrați pun tot mai mult accentul pe diminuarea greutatii specifice a propulsorului, determinant fiind raportul cai putere per kilogram.

Elaborarea unui proces tehnologic de realizare a arborilor cu came tubulari

Procesul tehnologic de realizare a unui arbore cu came tubular este diferit de cel al unui arbore cu came clasic prin insasi faptul ce cel tubular este realizat din 2 componente distincte, una fiind arborele propriu-zis care este tubular(teava) si camele ce se monteaza pe arbore ulterior printr-o asamblare nedemontabila la temperaturi diferite(fretare). Pentru realizarea acestui tip de arbore este necesara realizarea camelor dupa sablon pe o masina de frezat prin copiere.Dupa realizarea celor opt came este necesara pregatirea arborelui in vederea montarii.

Arborele tubular este realizat din teava laminata si strunjita in zona palierelor(lagarelor) dupa care este racit in azot lichid pentru a se obtine contractia volumica necesara montarii.De asemenea camele sunt incalzite la cca 180 C in vederea dilatarii.Aceasta incalzire este obtinuta intr-un dispozitiv care mentine camele pozitionate exact in fazele necesare pentru a se respecta diagrama de distributie.

Dupa finalizarea etapelor de asamblare a arborelui cu came tubular, cu ajutorul unui disc gradat si a unor comparatoare s-au verificat fazele de distributie daca sunt corespunzatoare si coincid cu cele prevazute de constructor.

Studiu comparativ prin modelare matematică, privind comportarea la solicitările mecanice a arborilor cu came tubulari.

In urma modelarii matematice s-a demonstrat, pe diferite cazuri de incarcare a arborelui cu came tubular, ca solicitarile sunt de incovoiere, de torsiune si socuri.Aceste solicitari mecanice in functionare sunt similare daca nu chiar identice si pentru cazul arborelui cu came clasic singurele diferente fiind legate de tipul de arbore si de fazele de distributie a fiecaruia, astfel diferind doar momentele de torsiune si incovoiere in functie de solutia constructiva aleasa.

Datorita acestei similitudini intre cele doua tipuri de arbori, cu ajutorul modelarii matematice prin metoda elementului finit, s-au putut evidentia comparativ valorile deformatiilor pentru ambele tipuri de arbori cu came.

Astfel s-a demonstrat ca pentru arborele cu came tubular valorile de rezistenta la incovoiere si torsiune sunt in medie mai scazute cu circa 10% fata de arborele cu came clasic.Valorile tensiunilor sunt cuprinse intre 0.9...8%, iar cele ale deformatiilor sunt cuprinse intre 14,2...20.9%.

Aceste valori apropiate se explica prin faptul ca modulele de rezistență axiale, respectiv polare a unei secțiuni circulare pline sunt cu 5...10 % mai mari față de aceleași mărimi calculate pentru o secțiune tubulară de același diametru exterior.

In concluzie, cu ajutorul modelarii matematice prin metoda elementului finit, s-a demonstrat ca arborele cu came tubular corespunde din punct de vedere a rezistentei si dimensional, diferentele fata de un arbore cu came de sectiune plina fiind nesemnificative in ce privesc rezistenta la torsiune si incovoiere.

Realizarea unui stand pentru verificarea în funcționare a arborilor cu came tubulari

In urma realizarii arborelui cu came tubular era imperios necesar a se realiza un dispozitiv menit sa testeze anduranta in functionare a acestui arbore.

Astfel am realizat un stand de verificare a uzurii in functionare a ansamblului cama-tachet. Acest dispozitiv a fost realizat pe o plansa pe care au fost montati doi suportii cu rulmenti de sustinere a capetelor externe a arborelui. Arborele a fost debitat la capete pentru a putea fi montati rulmentii. Prin aceasta metoda a fost rezolvata problema lagarelor de alunecare ce necesitau un sistem complex de ungere, iar in cazul nostru era important doar contactul dintre cama si tachet.

Dupa prinderea arborelui pe placa a urmat pozitionarea suportului de arc cu tachet sub fiecare cama de pe arbore. S-a folosit un singur suport de acest fel ce a fost mutat pe rand sub fiecare cama.

Antrenarea arborelui s-a realizat cu un motor electric monofazat ce a fost cuplat la extremitatea axului prin intermediul unei curele de transmisie si a unor fulii. Motorul dezvoltă 0,8 kw si o turatie de 750 rot/min. Mentionam ca la o viteza de rotatie de 1500 rot/min arborele motor ar avea dublu adica 3000 rot/min, deoarece raportul de demultiplicare dintre arborele motor si arborii cu came este de 2 la 1. Referitor la acest aspect turatia arborelui a fost reglata in functie de turatia nominala a motorului prin fulii de diametre diferite, astfel realizandu-se raportul de transmitere dorit, simuland turatia dorita a motorului. In mod concret s-a ales varianta cu fulia motorului de trei ori mai mare decat cea de pe arborele cu came. Astfel raportul s-a multiplicat de trei ori, adica de la turatia nominala a motorului electric de 750 rot/min s-a ajuns la un regim de 2250 rot/min la arborele cu came.

Acest regim reprezinta o turatie totala a motorului de 4500 rot/min care in cazul motorului diesel Renault tip K9K este apropiata de turatia maxima, regimul de regulator fiind de 4800 rot/min.

S-a folosit acest dispozitiv pentru testarea andurantei ansamblului cama-tachet printr-o functionare de 1000 de ore, dupa care a fost inlocuit arcul de sub tachet cu un altul mai puternic dupa care a functionat inca 500 de ore. Rezultatele obtinute au fost satisfacatoare doar in cazul camei realizate din otel C45 calit si revenit, uzura fiind sub 25 microni, uzura ce nu influenteaza parametri functionali ai motorului pentru care este destinat acest arbore.

De mentionat este faptul ca datorita turatiei ridicate la care a fost supus arborele, in functie de raportul de transmisie aferent, spre exemplu treptei a 5-a a cutiei de viteze, viteza de deplasare ar fi de peste 200 km/ora, ceea ce inmultit cu cele 1000 de ore de functionare ar insemna un parcurs de peste 200.000 de kilometri.

Acest parcurs de peste 200.000 de kilometri reprezinta, in cazul motorului K9K Renault, jumătate din timpul mediu de viata, la circa 500.000 de kilometri fiind prescrisa de constructor revizia capitala a motorului.

De asemenea este demn de luat in calcul faptul ca dupa cele 1000 de ore de functionare arcul folosit a fost inlocuit cu un altul ce solicita mecanic ansamblul cu 25% mai mult decat cel anterior, cu care standul a mai functionat inca 500 de ore. Aceste ore reprezinta un parcurs de circa 100.000 de kilometri in conditiile de exploatare sporite datorita arcului de supapa folosit.

In urma acestor incercari, uzura totala a profilului camei a fost de 24 microni, uzura ce se situeaza in limitele admise de constructor.

Studiul eficienței economice.

Asa cum a fost aratat la finalul capitolului 5, diferenta de costuri pentru fabricarea unui arbore cu came tubular in raport cu un arbore cu came clasic din fonta este importanta, costurile fiind net inferioare in cazul celui tubular.

Arborii cu came clasici din fonta se realizeaza prin turnarea acesteia in cochile metalice (procedeu foarte laborios), realizate prin precizii de prelucrare ridicate pentru a respecta pozitia camelor si fazele acestora, dupa care urmeaza operatiile de stunjire, rectificare, gaurire, finisare, etc. Toate aceste operatii insumate depasesc suma operatiilor ce trebuie efectuate la realizarea arborelui cu came tubular, atat prin complexitate cat si prin costuri.

Este adevarat faptul ca instalatia automatizata care mentine camele amovibile in faza in vederea montarii este o instalatie foarte complexa si costisitoare, dar avantajul este ca aceasta instalatie poate fi modificata si reglata pentru asamblarea oricarui tip de arbore tubular indiferent de complexitatea acestuia sau de numarul de came, etc. Acelasi lucru nu poate fi valabil in cazul arborilor clasici pentru care trebuie realizate cochile metalice in functie de fiecare tip de arbore in parte, ceea ce duce, de asemenea la costuri ridicate.

In urma evaluarii costurilor de fabricatie a arborelui cu came tubular a reiesit ca 70% din cheltuieli sunt folosite pentru regie si doar 30% pentru materiale si celelalte cheltuieli.

Este evident ca pentru realizarea arborilor cu came clasici costurile de regie sunt net superioare, necesitatea realizarii cochilelor si procedeul de turnare a fontei reprezentand cheltuieli suplimentare importante, pe langa operatiile tehnologice dupa turnare ce necesita a fi efectuate.

Astfel, consideram costurile de fabricatie un criteriu prioritar in alegerea acestei solutii tehnologice de realizare a arborelui tubular, pe langa celelalte avantaje de ordin functional.

BIBLIOGRAFIE

1. Abăitancei,D. ș.a. - Motoare pentru automobile și tractoare, Editura tehnică, București, 1980
2. Albert, F.W. - Die Niederungen des Alltags über den erfolgreichen Betrieb einer Mullverbrennungsanlage, VGB Kraftwerkstechnik, 7/7, 1997
3. Bathe,K.J. ș.a. - Numerical Methods in Finite Element
4. Analysis, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 2002
5. Bathoz,J.L. ș.a. - Modelisation de structures par elements finis, Vol.1,2, Editions Hermes, Paris, 1990
6. Bohme,D. ș.a. - Qualitätssicherung beim Thermischen Spritzen-Neue QM-Normen und Richtlinien für die Personalqualifikation, Proceedings of the International Conferince Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000, pag. 1-22
7. Brătianu,C. - Metode cu elemente finite în transferul de căldură,Editura ICEMENERG, București, 1989
8. Budău, V. ș.a. - Materiale și tratamente pentru structuri sudate, Editura de Vest, Timișoara, 1992
9. Budau V.,Craciunescu C. – Studiul materialelor, Editura Mirton Timisoara, 1998
10. Budinski,G.F. - Surface Engeneering for wear resistance, Prentice Hall, 1987
11. Caubet,J.J. - Theorie et pratique industrielle du frottement, Editure Technique, Dunod, Paris, 1994
12. **Cartis I.** - Tratamente termice, Editura Facla, 1976; Timișoara
13. **Cartis I.** - Tratamente termice-tehnologie si utilaje,Ed.Facla Timosoara 1982
14. **Cartis I.** - Tratamente termochimice,Ed.Facla Timosoara 1988
15. **Cartis I.** - Tratamente termice (1982),Editura Politehnica Timisoara
16. **Cartis I.** - Tratamente termochimice(1989), Editura Politehnica Timisoara
17. Cartis Ioan/Duma Sebastian-Titus - Materiale si tratamente termice, Editura Politehnica Timisoara
18. Chang,M.V. ș.a. - On the Proper Boundary Conditions for the Thermal Entry Problem, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 15, nr.6, iun 1980
19. Dehelean,D. ș.a. - Stadiul actual al tehnologiilor de pulverizare termică în industria românească, Proceedings of the International Conferince Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000,

20. Delamarian,Cr. - Tehnici moderne de examinare nedistructivă pentru determinarea duratei remanente de viață a componentelor instalațiilor, Conferința “Managementul instalațiilor industriale în Europa de Est în pragul celui de-al treilea mileniu, Timișoara, 1999
21. Depard,Y. - RDM – Elements finis, Institut Universitaire de Technologie, Departament Genie Mecanique et Productique, Le Mans, 1990
22. Devillers,L. ș.a. - Prevision des Microstructures et de la Tenacite des Zat de Soudures Soudage et Techniques Connexes nr.7/8, 1998
23. Dima,M. - Organe de mașini, voll1, Editura Academiei Militare, București, 1980
24. Dobrescu,L. - Fenomene de suprafață în metale și aliaje, Editura Academiei R.S.R., 1970
25. Drăghici,G. - Tehnologia fabricării mașimilor, Editura Institutului Politehnic Timișoara, 1986
26. Drăghici,G. - Îndrumător de laborator pentru Tehnologia fabricării mașimilor, Editura Institutului Politehnic Timișoara, 1986
27. Drăguț,L. ș.a. - Dezvoltarea materialelor pentru sudare în România-Realizări și tendințe, Proceedings of the International Conferince Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000, pag. 209-212
28. Dulămiță T. ș.a., - Tratamente termice și termochimice, E.P.D. București , a. 1982;
29. Alegerea și tratamentul termic al sculelor așchietoare a. Editura Ttehică, 1980;
30. Ene,T. - Recondiționarea pieselor de tip arbore prin metalizare-difuzie și sudare electrică prin presiune în linie, Editura Eftimie Murgu, Reșița, 1999
31. Fogarassy,P. ș.a. - Study of the stresses between the thermal sprayed deposited layers due to the secondary cooling, Proceedings of the International Conferince Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000.
32. Gherman, Gh.,A. - Noțiuni de elasticitate și fotoelasticitate, Editura Guttenberg, Arad, 2002
33. Gill,S.C.ș.a. - Monitoring of Residual Stress Generation During Thermal Spraying by Curvature Measurements, Proceedings of the 7 National Spray conference, 1994, Boston, Massachusetts
34. Halanay,A. - Ecuatii diferențiale, Institutului Politehnic Timișoara, 1972
35. Hasany,A.ș.a. - Naplavka i napaleniya, Editura Masinoestroenia, Moscova, 1985
36. Hălăciugă,I - Cercetări experimentale privind recondiționarea pieselor tubulare, Analele Universității Aurel Vlaicu-Arad, seria Mecanică 2002, pag.272-277
37. Hălăciugă,I.ș.a. - Thermal and Resistance Influences in Car Parts Reconditioned by Hot Loading, The 7-th International Conference Fuel

- Economy, Safety and Reliability of Motor Vehicles, Bucharest 2003, Romania, vol.2, pag. 149-156
38. Ioan Halaciuga, Gheorghe Hutiu - Experiments concerning the improvement of the quality of parts reconditioned by build-up surfacing with metallic material CONAT2007, International Automotive Congress Brasov October 2004
 39. Huetner, Ch. Ş.a. - Intelligent examination methods, TUV symposium 1996.
 40. Igret, S., Halaciuga, I., Gherman, Gh.A. - State of deformation and tension of a distribution shaft from an internal combustion motor using the finite element methods, Cluj Napoca 2007
 41. Igret, S., Halaciuga, I., - Transport Safety Problems, Timisoara 2007
 42. Igret, S., Halaciuga, I., Gherman, Gh., A. - Incercari de rezistenta in functionare a arborelui cu came tubular, International Congress Automotive, Craiova 2008
 43. Igret, S., Halaciuga, I. - Piracy in transportation, International Congress Automotive, Craiova 2008
 44. Igret, S., Halaciuga, I. - The counteracting of the Terrorist Actions I Field of transportation, International Congress Automotive, Craiova 2008
 45. Igret, S., Halaciuga, I. - Combating Criminal Phenomena in Transport, The 13th International Conference, Sibiu, 2007
 46. Igret, S., Halaciuga, I. - Die Verbesserung der Eigenschaften der wiederhergestellten Automobilbauteile durch das Schweißverfahren, Oradea 2004
 47. Igret, S., Halaciuga, I. - Cercetari experimentale privind incarcarea pieselor prin metoda duplex, Arad 2004
 48. Igret, S., Halaciuga, I. - Sisteme de reducere a poluarii si a consumului de carburanti la motoarele cu ardere interna, Arad 2004
 49. Joas, H.D. - In-process measurements as an instrument for diagnosing defect mechanisms of components, Hochschulpraktikum Schadensanalyse 3/17/1998
 50. Mc.Cune, R.C. - Thermal sprazing of cylinder bore surfaces for aluminum engine blocks, Welding Journal, U.S.A., 1995, vol.74, nr.8
 51. Micloşi, V. - Tratamente termice conexe sudării prin topire a ţelurilor, 1. vol. I şi II, Editura Sudura, 2003
 52. Mihăilescu, V. ş.a. - Cercetări de noi tehnologii pentru protecția anticorozivă prin pulverizare termică și verificare rezistenței acestora în medii alcaline la temperatură ambiantă și ridicată, Proceedings of the International Conference Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000, pag. 119-122
 53. Miloş, L. ş.a. - Aspecte referitoare la influența unor factori asupra calității straturilor din materiale pulverizate și a condițiilor formării acestora, Proceedings of the International Conference Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000

54. Mitelea I., Tillmann W., - Stiinta materialelor II, p.269...300, Editura Politehnica Timisoara, 2007
55. Mitelea I. – Stiinta materialelor in constructia de masini, Editura Sudura,1999
56. Mitelea I. s.a. – Tratamentul termic al otelurilor si fontelor,Editura Didactica si Pedagogica Bucuresti 2005
57. Mitelea I., Budau V. – Materiale si tratamente termice pentru structuri sudate, Editura de Vest, Timisoara, 1991
58. Popa,B.ș.a. - Motoare pentru autovehicule, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982
59. Popa,Gh. ș.a. - Tehnologia reparației autovehiculelor, Editura Academiei Militare, București, 1982
60. Popa,I. - Pulverizarea electrică a pieselor tip tijă, Proceedings of the International Conferince Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000, pag. 171-176
61. Popescu ș.a. - Tehnologia tratamentelor termice, Editura Tehnică,1974
62. Rao,S.S. - The Finite Element Method in Engineering, Pergamon Press, Oxford, New York, 1982
63. Rotaru,F. ș.a. - Materiale de acoperire termică realizate în România, Proceedings of the International Conferince Thermal Spraying, ISIM Timișoara, iunie 2000, pag. 213-218
64. Tamaki,K. ș.a.- Temper Embrittiement in Haz of Cr-Mo Steels, Doc. I.I.W, IX/1998
65. Theil,H.ș.a. - Termotehnică și mașini termice, Editura Institutului Politehnic Timișoara, 1989
66. Trușculescu , M . - Materialotehnica, vol.II, Bazele tratamentelor termice , Editura Politehnica, Timișoara, 2005
67. Udrescu, L. - Materiale și tratamente termice, vol. I și II, Editura Politehnica Timișoara 1994
68. Udrescu L. - Materiale si tratamente termice,vol.I si II,Lito UTT,Timisoara 1994
69. Urdea,G., Buliga,N.- Mașini-unelte și agregate, Editura IPT, Timișoara, 1986
70. Vaida,O. - Aderența în metalizarea termică, Conferința jubiliară 60 de ani de cooperare științifică în domeniul sudării, Timișoara, 1997