

STUDIUL DURABILITĂȚII ORGANELOR ACTIVE LA MAȘINI DE FREZARE A ÎMBRĂCĂMIȘILOR RUTIERE

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

Ing. Ioan Doru Daș

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.dr.eur.ing. Tiberiu Babeu
Prof.dr.ing. Ioan A. Goia
Prof.dr.ing. Nicolae Faur
Conf.dr.ing. Mihai Ulea

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

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

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

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2007

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

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

Cuvânt înainte

Prezenta lucrare este rezultatul activităților prestate în producție și a stagiului ca doctorant la fără frecvență la Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Mecanică.

Dezvoltarea transportului rutier a dus la dezvoltarea parcului auto, a rețelei de drumuri și autostrăzi, care trebuie să corespundă traficului, a vitezelor de circulație, a confortului și criteriilor de siguranță rutieră.

Ca o consecință s-au dezvoltat tehnologii și utilaje noi, moderne, atât pentru construcția de drumuri noi cât și pentru reabilitarea și modernizarea celor existente.

Una dintre aceste tehnologii este frezarea îmbrăcăminților rutiere, pentru înlocuirea sau refolosirea asfaltului frezat.

Utilajele moderne pentru frezare folosesc ca parte activă dinți de frezare care au un grad avansat de uzură datorită solicitărilor la care sunt supuși.

În consecință în teză s-a studiat durabilitatea organelor active de frezare (dinți de frezare) plecând de la caracteristicile celor existente în exploatare, reușind să le realizăm în totalitate în țară.

Pentru realizarea actualei lucrări doresc să aduc alese mulțumiri conducătorului științific domnului Prof.Dr.Eur.ing. Tiberiu Babeu, domnului Prof.dr.ing. Nicolae Faur precum și cadrelor didactice de la Catedra de rezistența materialelor din Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Mecanică.

Îmi exprim întreaga considerație față de membri comisiei de doctorat, domnul președinte al comisiei, Prof.dr.ing. Negruț Nicolae, domnul Prof.dr.ing. Nicolae Faur din cadrul Universității Politehnica Timișoara, Facultatea de Mecanică, precum și domnilor profesori dr.ing. Ioan A Goia și domnului Conferențiar dr.ing. Ulea Mihai, din cadrul Universității Tehnice Brașov care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observațiile făcute și pentru timpul acordat lucrării.

Timișoara, decembrie 2007

Daș Ioan Doru

Daş, Ioan Doru

Studiul durabilităţii organelor active la maşini de frezare a îmbrăcăminţilor rutiere

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 29, Editura Politehnica, 2007, 114 pagini, figuri, tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-581-6

Cuvinte cheie:

drumuri, mixturi asfaltice, frezare la rece, dinte de frezare

Rezumat:

În lucrare se face o prezentare a elementelor constructive a drumurilor, a tipurilor de îmbrăcăminţi rutiere şi a metodelor de regenerare şi re folosire a vehiculelor asfaltice.

Plecând de la acest fapt se face o prezentare a utilajelor de frezare, detalându-se organele active de dislocare, şi anume dinţi de frezare.

Se descrie atât procesul de frezare, traiectoria dinţilor, cât şi rezultatele mecanice care apar la dislocarea mixurilor asfaltice.

În urma acestor descrieri se face o prezentare detaliată a formei dinţilor, a materialelor din care sunt fabricaţi, a defectiunilor care apar în procesul de frezare, precum şi analiza numerică a stării de tensiune şi deformaţie a organelor active a maşinilor de frezat.

În ultima parte se prezintă concluziile finale, precum şi contribuţiile personale la realizarea dinţilor de frezare.

CUPRINS

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCERE | 9 |
| CAP.1 SISTEME RUTIERE ȘI TEHNOLOGII MODERNE PENTRU REABILITAREA DRUMURILOR..... | 11 |
| 1.1 Elementele constructive ale drumurilor și clasele tehnice ale acestora | 11 |
| 1.1.1 Sisteme rutiere..... | 11 |
| 1.1.2 Îmbrăcămiinți din mixturi asfaltice..... | 16 |
| 1.1.3 Îmbrăcămiinți din beton de ciment | 17 |
| 1.2 Compoziția și proprietățile îmbrăcămiinților bituminoase | 17 |
| 1.2.1 Materiale folosite pentru producerea mixturilor asfaltice..... | 17 |
| 1.2.2 Tipuri de mixturi asfaltice | 18 |
| 1.2.3 Caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice | 20 |
| 1.3 Calitatea îmbrăcămiinților rutiere..... | 23 |
| 1.3.1 Calitatea îmbrăcămiinților din mixturi asfaltice | 23 |
| 1.3.2 Calitatea îmbrăcămiinților din beton de ciment | 23 |
| 1.4 Defecțiunile îmbrăcămiinților rutiere..... | 23 |
| 1.4.1 Defecțiunile îmbrăcămiinților din mixturi asfaltice | 24 |
| 1.4.2 Defecțiunile îmbrăcămiinților din beton de ciment..... | 26 |
| 1.5 Tehnologii moderne pentru regenerarea și reutilizarea îmbrăcămiinților bituminoase vechi..... | 28 |
| 1.5.1 Regenerarea îmbrăcămiinții asfaltice vechi fără a modifica dozajul | 28 |
| 1.5.2 Regenerarea îmbrăcămiinții asfaltice cu mixturi ,existente recuperate și corectate | 29 |
| CAP.2 UTILAJE FOLOSITE PENTRU REGENERAREA ȘI REUTILIZAREA MIXTURILOR ASFALTICE..... | 30 |
| 2.1 Generalități..... | 30 |
| 2.2 Utilaje pentru frezarea la rece..... | 30 |
| 2.3 Utilaje pentru frezarea la cald..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4 Utilaje pentru termoreprofilare..... | 34 |
| 2.5 Utilaje pentru termoregenerare..... | 34 |
| CAP.3 ELEMENTE ACTIVE ALE MAȘINILOR DE FREZAT | 35 |
| 3.1 Tamburul de frezare..... | 35 |
| 3.2 Elementul activ (așchietor) dintele de frezare..... | 37 |
| 3.3 Disponerea dinților pe tamburul de frezare | 39 |
| CAP.4 CARACTERISTICILE PROCESULUI DE FREZARE A MIXTURILOR ASFALTICE | 42 |
| 4.1. Definirea procesului de frezare..... | 42 |
| 4.2. Traectoria dinților tamburului de frezare..... | 43 |
| 4.3. Avansul dintelui..... | 45 |
| 4.4. Adâncimea de frezare..... | 46 |
| 4.5. Concluzii | 47 |
| CAP.5 REZISTENȚA MIXTURILOR ASFALTICE ÎN PROCEDEUL DE FREZARE..... | 48 |
| 5.1. Dislocarea mixturilor asfaltice prin frezare | 48 |
| 5.2. Calculul puterii necesare în procesul de frezare a mixturilor asfaltice | 49 |
| 5.3. Rezistențele apărute la tamburul de frezare | 50 |
| 5.4. Măsurători asupra rezistențelor apărute în regimul de frezare..... | 54 |
| 5.5. Concluzii..... | 61 |
| CAP.6 ANALIZA ELEMENTULUI DE ASCHIERE-DINTELE DE FREZARE | 62 |
| 6.1. Forma și dimensiunile dinților de frezare | 62 |
| 6.2. Compoziția dintelui | 64 |
| 6.3. Uzura dintelui în procesul de frezare | 68 |
| 6.4. Analiza numerică a stării de tensiune și deformație a organelor active la mașinile de frezare a îmbrăcăminților rutiere..... | 72 |
| 6.4.1. Generalități | 72 |

| | |
|---|------------|
| 6.4.2. Considerații generale privind metodele numerice de calcul..... | 73 |
| 6.4.3. Prezentare generală a metodei elementelor finite..... | 76 |
| 6.4.4. Algoritmul metodei elementelor finite în probleme de analiză a stării de tensiune și deformație | 79 |
| 6.4.5. Tipuri de elemente finite și funcții de implementare..... | 83 |
| 6.4.6. Analiza stării de tensiune folosind elemente finite și funcții tridimensionale..... | 87 |
| 6.4.7. Analiza cu elementele finite a stării de tensiune și deformare a modelului de proteză pentru mâna umană | 91 |
| 6.5 Concluzii | 104 |
| CAP.7 CONTRIBUȚII PERSONALE LA REALIZAREA DINȚILOR DE FREZAT ÎN ROMÂNIA..... | 105 |
| BIBLIOGRAFIE | 107 |

INTRODUCERE

Din totalul transporturilor, rutier, naval și aerian, transportul rutier reprezintă un rol important .

Peste 82% din totalul mărfurilor și peste 70% din totalul călătoriilor se fac cu transportul rutier.

În raport cu alte transporturi, transportul rutier are o serie de avantaje și anume:

- mobilitate mare și suplețe de traseu;
- efectuarea transporturilor direct fără manipulări și transbordare;
- realizarea de viteze comerciale superioare;
- transportul aproape a orice fel de mărfuri cu autovehicule specializate;
- capacitatea de a pătrunde în locuri inaccesibile altor mijloace de transport.

Datorită acestor avantaje transportul rutier s-a dezvoltat, ducând la creșterea parcului auto și a rețelelor de drumuri care trebuie să corespundă intensității traficului și a vitezelor de circulație cu asigurarea cerințelor de siguranță și confortul circulației.

Rețeaua de drumuri din România are următoarea structură:

| | |
|---|-------------------|
| • Autostrăzi | - 218 km |
| • Drumuri Naționale(în administrarea CNADNR) | - 15934 km |
| • Drumuri Județene(în administrarea Consiliilor Județene) | - 34668 km |
| • Drumuri Comunale (în administrarea Consiliilor Locale) | - <u>27781 km</u> |
| | TOTAL = 78601 km |

În afară de acestea în orașe există 22328 km străzi, iar în comune încă 97660 km străzi.

Volumul traficului rutier a crescut în ultimii 10 ani cu peste 47%, preconizându-se o creștere anuală medie de 7%.

Tinând seama de această creștere a traficului rutier și de faptul că peste 70% din lungimea drumurilor naționale au durata de servicii expirată, principala preocupare a Companiei Naționale de Autostrăzi și Drumuri Naționale (CNADNR) din România o constituie (pe lângă construcția de autostrăzi) reabilitarea și modernizarea drumurilor existente.

Aceste lucrări de reabilitare și modernizare a drumurilor impun tehnologii moderne, de mare productivitate, eficiente economic și cu o calitate ridicată a lucrărilor.

Una din tehnologiile moderne de regenerare și reutilizare a îmbrăcăminților rutiere, este frezarea lor pentru înlocuirea sau re folosirea materialelor frezate în diferite dozaje în vederea refacerii stratului rutier.

La această tehnologie se folosesc utilaje moderne, de mare productivitate, care au ca parte activă cuțitele de frezare (dinți) cu un ritm de uzură ridicat, ce impune folosirea unui număr foarte mare din aceste părți active.

Pornind de la acest fapt, considerăm că se necesită o cunoaștere în profunzime a modelului de lucru, a parametrilor utilajelor, a materialelor de frezat, a tehnologiilor și în primul rând a unei părți active a utilajelor: cuțitele(dinții) de frezat.

În consecință, în vederea dezvoltării cunoștințelor existente și de reducere a costurilor prin realizarea de cuțite de frezare performante, lucrarea își propune ca obiective următoarele:

- O prezentare a principalelor caracteristici a drumurilor și a îmbrăcăminților rutiere.
- Prezentarea utilajelor și tehnologiilor de reabilitare.
- Parametrii cinematici ai regimului de frezare.
- Studiul asupra cuțitelor de frezare.

Structura lucrării pe capitole s-a făcut astfel:

- Cap.I Se face o prezentare a elementelor constructive a drumurilor, a sistemelor rutiere din mixturi asfaltice precum și a calității pe care o au acestea.
- Cap.II Prezintă tipurile de utilaje folosite pentru frezarea la rece și la cald a îmbrăcăminților asfaltice în vederea reutilizării lor.
- Cap.III În acest capitol se prezintă elementele active de frezare, dinți de frezare, dispunerea lor pe tamburul de frezare precum și a parametrilor geometrici ai ansamblului tambur de frezare și dinți.
- Cap.IV Cuprinde o descriere a caracteristicilor procesului de frezare: traiectoria dinților, viteze de frezare, avansuri, făcând o analiză a regimului optim de frezare.
- Cap.V Se face o prezentare a rezistenței mecanice care apare în dislocarea mixturilor asfaltice prin frezare, calculând și puterea necesară rezultată teoretic cât și prin măsurătorile de pe standul de măsurare.
- Cap.VI În acest capitol se face o descriere detaliată a formei dinților, a materialelor din care sunt fabricați, defectiunile care apar în procesul de frezare precum și analiza numerică a stării de tensiune și deformație a organelor active a mașinilor de frezat.
- Cap.VII Se referă la concluziile finale respectiv la contribuții personale la realizarea dinților de freza

CAPITOLUL 1

SISTEME RUTIERE ȘI TEHNOLOGII MODERNE PENTRU REABILITAREA DRUMURILOR

1.1 Elemente constructive ale drumurilor și clasele tehnice ale acestora.

1.1.1 Sisteme rutiere.

Sistemul rutier este format dintr-o succesiune de straturi care constituie structura de rezistență a drumurilor.

Profilul transversal al drumurilor cuprinde elemente constructive ale infrastructurii și suprastructurii drumurilor.(fig 1.1).

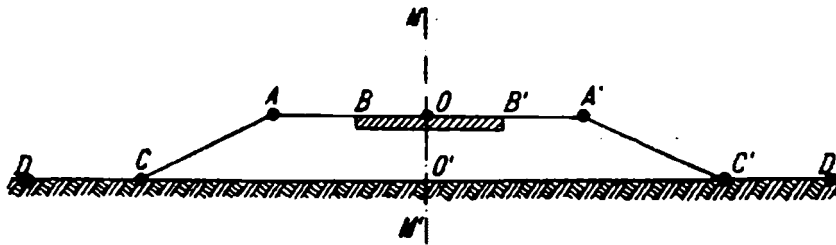


Fig 1.1

Aceste elemente sunt:

- C-C' - ampriza drumului.
- A-A' - platforma drumului.
- B-B' - partea carosabilă a drumului.
- A-B și B'-A' - acostamentele drumului.
- C-A și C'-A' - taluzurile drumului.

În funcție de configurația terenului profilul transversal al drumului poate fi diferit (fig.1.2;1.3).

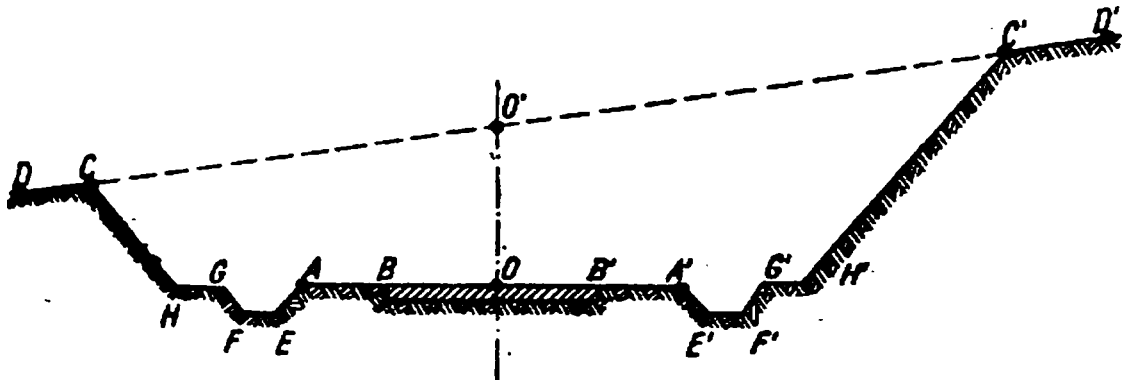


Fig 1.2

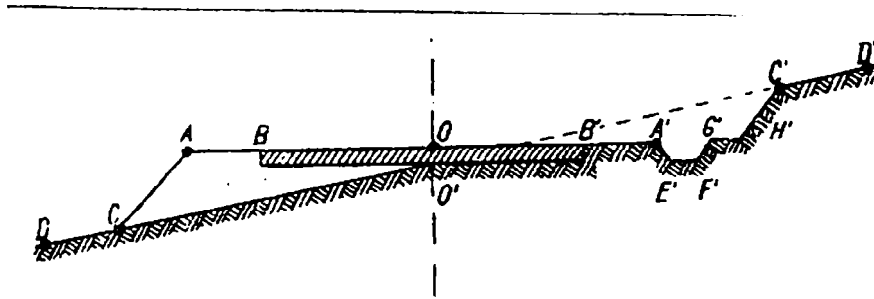


Fig 1.3

Suprastructura drumului cuprinde lucrările de amenajare și consolidare a drumului pe care se asigură circulația vehiculelor (fig.1.4).

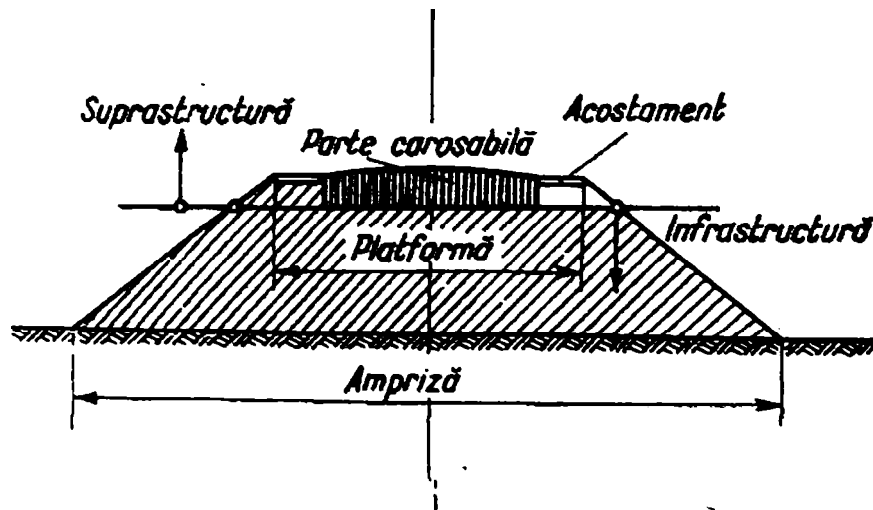


Fig 1.4

În funcție de condițiile climatice, de volumul traficului, de natura solului, de materialele locale, pe baza unui calcul tehnico-economic se stabilește numărul de straturi, grosimea lor și natura lor.

Construcția drumurilor din mai multe straturi succesive este foarte veche și are la bază sistemul roman de construcție a drumurilor.

Structura drumurilor este următoarea (fig.1.5):

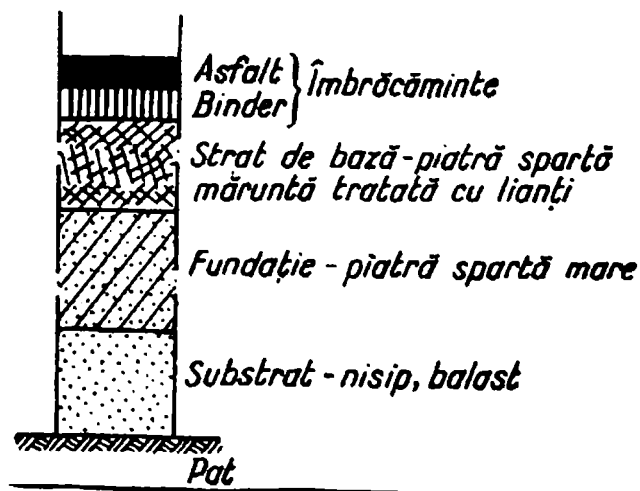


Fig 1.5

Substratul este alcătuit din nisip sau balast și are rol drenant, anticapilar, antigeliv și izolator.

Fundația drumului se execută din piatră spartă, agregate stabilizate cu diverși lianți sau pământ stabilizat mecanic.

Stratul de bază poate fi alcătuit din macadam penetrat sau nepenetrat, agregate naturale stabilizate cu lianți, beton de ciment sau mixturi asfaltice. El preia încărcările din trafic, repartizând fundației eforturi verticale în limitele capacității de rezistență a acesteia.

Îmbrăcămintea drumului poate fi din beton de ciment (mai puțin utilizat) sau din mixturi (betoane) asfaltice. Se execută unul sau două straturi în funcție de necesitățile traficului existent pe drumul respectiv.

În funcție de modul de alcătuire al sistemului rutier, acesta se clasifică în:

- Sisteme rutiere nerigide (suple): sunt alcătuite din materiale de carieră sau balastieră cu sau fără lianți puzzolanici. (fig.1.6).

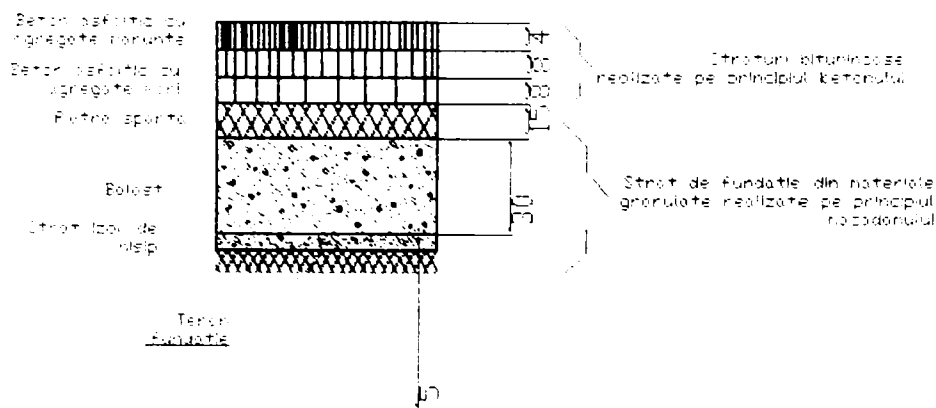


Fig. 1.6

- Sisteme rutiere rigide: sunt construite din unul sau două straturi din beton de ciment (fig.1.7).

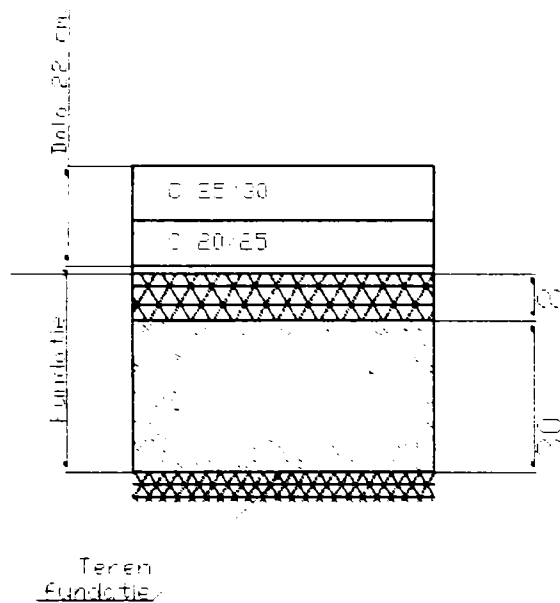


Fig. 1.7

- Sisteme rutiere mixte : sunt construite din unul sau mai multe straturi de agregate minerale care au în compoziție lianți hidraulici sau puzzolanici (fig.1.8).

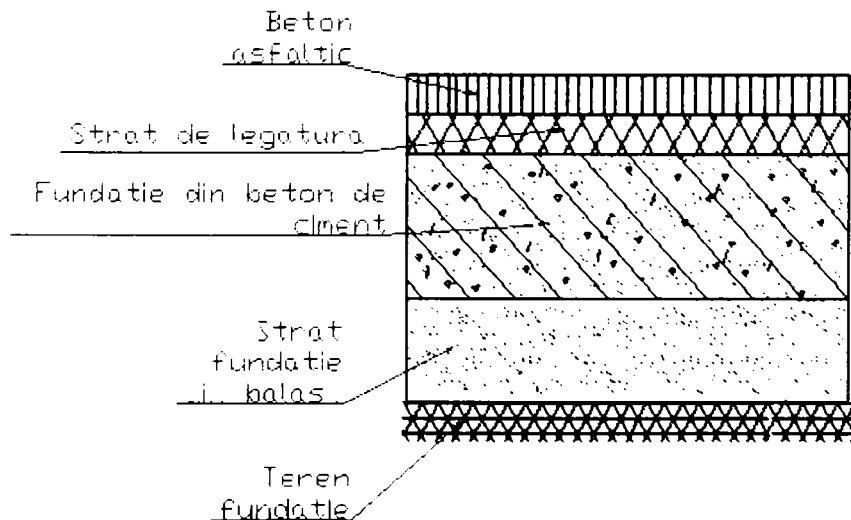


Fig.1.8

1.1.2 Îmbrăcăminti din mixturi asfaltice

1.1.2.1 Mixturile asfaltice sunt materiale de construcții realizate din amestecuri obținute pe baza unor dozaje judicios stabilite din agregate naturale sau artificiale și filer, aglomerate cu bitum printr-o tehnologie specială.

După tehnologia de preparare și punere în operă se clasifică în:

- mixturi asfaltice "la cald"
- mixturi asfaltice "la rece"

Tehnologia de producere a mixturilor asfaltice la cald se caracterizează prin faptul ca agregatele naturale si bitumul se aglomerează la temperaturi de peste 150° C.

Amestecul se face în instalații speciale numite fabrici de asfalt sau de mixturi asfaltice. Acestea sunt formate din dispozitive de predozare, de uscare, de dozare, de malaxare și de încălzire a bitumului.

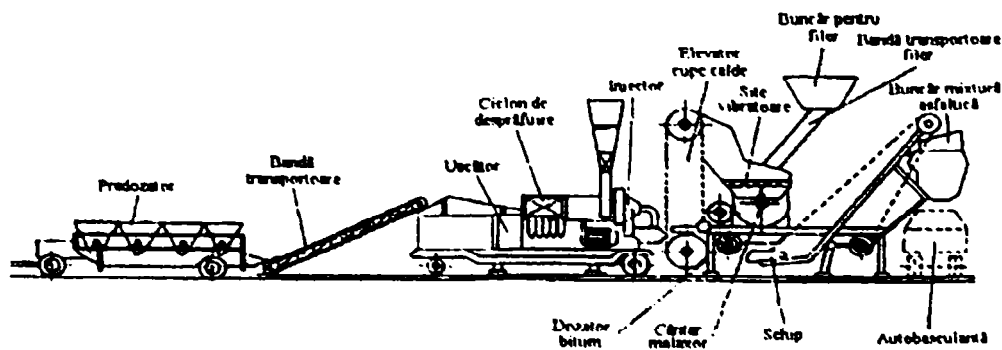


Fig.1.9 Instalația pentru produs mixturi asfaltice

O fabrică de mixturi asfaltice este formată din:

- Predozatoare;
- Uscător cu injector;
- Ciclone de desprăfuire;
- Elevator cu cupe;
- Sistem dozare-cântărire;
- Malaxor;
- Schip;
- Buncăr stocare;
- Gospodărie bitum.

În predozator se face predozarea materialelor naturale, acestea se uscă în uscător, de unde trece prin ciururi în buncăre speciale, pe dimensiuni de unde sunt dozate prin cântărire, amestecate în malaxor cu filer și bitum exact dozate și transportate în buncăre de stocare.

După fabricare mixturile se transportă cu autospeciale de mare capacitate la locul de așternere, unde cu utilaje speciale se întind iar apoi se compactează până la obținerea gradului de compactare prescris.

Tehnologia de producere a mixturilor asfaltice "la rece" utilizează pentru aglomerarea materialelor naturale și asfaltului emulsii bituminoase reci, suspensia de bitum filerizat sau bitumul tăiat.

Producerea mixturilor asfaltice "la rece" se face în instalații speciale prin malaxare după ce componentele necesare au fost dozate corespunzător.

Atât producerea cât și punerea în operă se face la rece fără a fi nevoie de încălzire doar că temperatura mediului ambiant trebuie să fie mai mare de 5° C.

Așternerea mixturii asfaltice se face în general în două straturi: un strat de legatură (binder) cu sorturi mai mari și un strat superior (uzură) din sorturi mai mici, strat care este cel de rulare pe care circulă autovehiculele.

1.1.2 Îmbrăcămiți din beton de ciment

Îmbrăcămițile rutiere din beton de ciment au apărut în anul 1865 în Scoția, în anul 1888 s-au executat în Germania iar în 1892 în SUA.

Îmbrăcămițile din beton de ciment se fabrică din următoarele materiale:

- agregate naturale de râu-neprelucrate;
- agregate naturale prelucrate – cribluri;
- ciment P40, P45 sau CD40;
- apa;
- aditivi plastilini.

Au avantajul că prezintă o rezistență mecanică mare de aproximativ 10 ori mai mare ca a îmbrăcăminților bituminoase, sunt rezistente la uzură și la acțiunea factorilor atmosferici, au o durată de viață mai lungă, lucrările de întreținere sunt mai mici, prezintă un grad ridicat de rugozitate, etc.

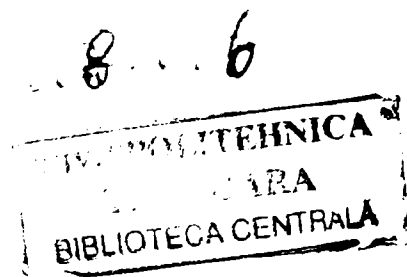
Ca dezavantaj se menționează cheltuielile inițiale de construcție foarte mari, durată mare de la execuție până la darea în circulație (circa 28 zile); datorită rosturilor dintre dale deranjează circulația prin zgomotul repetat produs la trecerea peste acestea; pe timp de iarnă nu se poate acționa la dezăpezire cu fondanți chimici deoarece aceștia distrug suprafața.

1.2 Compoziția și caracteristicile îmbrăcăminților bituminoase.

1.2.1 Materiale folosite pentru producerea mixturilor asfaltice.

Materialele folosite pentru producerea mixturilor asfaltice sunt:

- agregate naturale:
 - cribluri (piatră concasată) de sorturi (dimensiuni) 4-8, 8-16, 16-25 mm;
 - nisipuri naturale și de concasaj;
 - balastul și pietrișul de râu concasate sau neconcasate sortate la dimensiunile de mai sus .
- agregate artificiale :
 - zgura de furnal granulată și sortată;
 - granitul.



-filerul -este praf de calcar concasat care trebuie sa aibă o finețe de măcinare încât să treacă prin sita de 0,1 mm in proporție de 80 %.

-bitumul -are o importanță deosebită în fabricarea și exploatarea mixturilor asfaltice, tipul bitumului alegându-se în funcție de mixtura asfaltică fabricată.

În general tipul de bitum folosit este D60/80 sau D80/120, doar la asfaltul turnat se folosește bitum D40/50 care este mai dur.

Fiecare tip de bitum este caracterizat în funcție de punctul de înmuiere, ° C (între 38°C și 67°C pentru bitumul neparafinos de drumuri), penetrație la 25°C în zecimi de mm între 25-200, ductibilitate, etc.

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor sale bitumul poate fi aditivat sau modificat prin adaos de polimeri, procedee care duc la creșterea adhezivității sau la ameliorarea performanțelor mecanice a acestuia.

Pentru mixturile "la rece" bitumul se înlocuiește cu emulsii bituminoase la rece, mai rar cu bitum filerizat sau bitum tăiat.

1.2.2 Tipuri de mixturi asfaltice

Dupa compoziția lor atât mixturile "la cald" sau "la rece" sunt de mai multe tipuri și anume:

- betoane asfaltice (B.A)
- asfalt turnat (A.T)
- mortar asfaltic (M.A)
- anrobate bituminoase (A.B)

Betoane asfaltice executate "la cald" sunt:

- beton asfaltic bogat în cribluri (B.A.8 sau B.A.16)
- beton asfaltic cu agregat mare (B.A.25)
- beton asfaltic rugos (B.A.R.16)
- beton asfaltic cilindrat pentru calea de pod (B.A.C.P.16)
- beton asfaltic deschis cu criblura sau pietriș concasat (B.A.D.25; B.A.D.P.C.31; B.A.D.P.S.31)
- beton asfaltic realizat cu nisip bituminos (B.A.N.B.16)
- betoane asfaltice speciale:
 - colorate (roșu, galben, alb, etc.)
 - cu caracteristici superioare (bitum modificat sau aditivat)

Betoane asfaltice executate "la rece":

- beton asfaltic stocabil cu bitum tăiat (B.A.B.T.8)
- beton asfaltic stocabil cu emulsie bituminoasă (B.A.E.B.16)
- beton asfaltic cu suspensie de bitum filerizat (B.A.S.16)

Asfaltul turnat (A.T) este o mixtură asfaltică la care golurile din agregatul natural sunt complet umplute cu mastic bituminos punerea în operă făcându-se fără cilindrare .Asfaltul turnat se realizează în două variante:

- asfalt turnat dur (A.T.D.16)
- asfalt turnat (A.T.N.7)

Diferența dintre ele fiind dimensiunea agregatelor naturale folosite.

Mortarul asfaltic (M.A) este un amestec obținut în anumite condiții din nisip, filer și bitum și se realizează "la cald" și "la rece".

- la cald:

- mortar asfaltic cu bitum cald (M.A.B.C.7)
- mortar asfaltic cu nisip bituminos (M.A.B.N.7)
- mortar asfaltic turnat (M.A.T.7)

-la rece:

- mortar asfaltic cu bitum filerizat (M.A.S.7)
- mortar asfaltic cu emulsie bituminoasă (M.A.E.B.7)

Anrobate bituminoase (A.B) sunt amestecuri făcute cu dozaje stabilite, în general din balast, nisip, deșeuri de carieră aglomerate cu bitum printr-o tehnologie specială la cald sau la rece. Calitativ sunt inferioare betoanelor asfaltice.

-la cald:

- anrobate bituminoase cu bitum la cald (A.B.B.C.31)
- anrobate bituminoase cu nisip bituminos sau bitum fluid și bitum dur de petrol (A.B.N.B.31)

-la rece:

- anrobate bituminoase în suspensie de bitum filerizat (A.B.S.31)
- anrobate bituminoase cu emulsie bituminoasă (A.B.E.B.31)

În tabelul 1.2.1 se dau dozajele pentru diverse tipuri de betoane (mixturi) asfaltice realizate la cald:

Tabelul 1.2.1

| Tipul betonului asfaltic | Agregate naturale,% din agregatul total | | | | Bitum, % din masa mixturii |
|--|---|----------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------------|
| | Filer și nisip <0,1mm | Filer și nisip 0,1..4mm | Criblura peste 4 mm | Pietris sortat | |
| Beton asfaltic bogat în criblura realizat cu criblura 4-8 sau amestec 4-8 și 8-16 | 8...12 | rest până la 100 | 45...70 | - | 6,0...7,5 |
| Beton asfaltic rugos, realizat cu amestec de criblura 4-8 și 8-16 | 8...10 | rest până la 100 | 58...70 | - | 5,7...6,2 |
| Beton asfaltic cu agregat mare | 5...12 | rest până la 100 | 50...70 | - | 5,5...7,0 |
| Beton asfaltic deschis realizat cu amestec de criblura(4-8, 8-16 și 16-25) | 1...6 | rest până la 100 | 65...80 | - | 4,0...5,0 |
| Beton asfaltic deschis, realizat cu amestec de pietris sortat sau concasat (4-8 și 8-31) | 1...6 | rest până la 100 | - | 65...80 | 4,0...5,0 |

1.2.3 Caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice

Caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice se determină în laborator pe cilindrii Marshall, pe cuburi de probă, precum și pe probe (carote) extrase din corpul drumului. Aceste caracteristici sunt:

- stabilitatea **S** la 60°C (KN)
- indicele de curgere **I** (mm)
- raportul **S/I** (KN/mm)
- densitatea aparentă (Kg/m³)
- absorbția de apă (% din volum)
- volumul de goluri (%)
- rezistența la deformații permanente : fluaj dinamic la 40°C și 1800 pulsuri (mm)
- modulul de elasticitate (MPa)
- rezistența la oboseala până la fisurare (nr. cicluri)

Din punct de vedere al rezistenței la compresiune de 2,5-4,5 dN/mm², mixturile asfaltice se pot încadra la roci moi, argile nisipoase, tufuri vulcanice iar după Deere și Miller în clasa D, roci cu rezistență mică.

Ca porozitate se pot încadra (asimila) cu roci cu porozitate mică (5-10%).

Stratul de îmbrăcăminte rutieră trebuie să aibe în plus următoarele caracteristici:

- gradul de compactare: 96,0-97,0 %
- rezistența la deformații permanente se masoară prin determinarea vitezei de orneiraj exprimată în mm/h în funcție de temperatură și numărul de vehicule ce trec pe oră.

În tabelul 1.2.3 se dau caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor asfaltice determinate pe cilindrii Marshall iar în tabelul 1.2.4 cele determinate pe cuburi.

În tabelul 1.2.5 se dau grosimile minime a straturilor de beton asfaltic realizate la cald în funcție de tipul stratului de uzură (superior de rulare/sau de legatură).

Tabelul 1.2.3**Caracteristici fizico-mecaniceale betoanelor asfaltice, determinate pe cilindrii Marshall**

| Caracteristici pe cilindrii Marshall | Clasa tehnica a drumului | Categoria strazii | Tipul bitumului | Tipul mixturii | | |
|---|--------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|----------|-----------------------------|
| | | | | BA8 BA16 BA25 | BAR16 | BAD25 BADPC31 BADPS31 |
| Stabilitatea (S) la 60°C, min., kN | I, II | I, II | D60/80 | 9,0 | 9,5 | 7,0 |
| | | | D80/100 | 8,0 | 8,5 | 6,0 |
| | III | III | D60/80 | 7,5 | 8,0 | 5,5 |
| | | | D80/100 | 6,0 | 6,5 | 4,5 |
| | IV,V | IV | D60/80 | 6,0 | - | - |
| | | | D80/100 | 5,5 | - | 3,5 |
| D100/120 | | | 5,5 | - | 3,5 | |
| Indicele de curgere (I), mm | I, II | I, II | D60/80 | 1,5...3,5 | 1,5..3,0 | 1,5..4,5 |
| | | | D80/100 | 1,5..4,0 | 1,5..3,5 | 1,5..4,5 |
| | III | III | D60/80 | 1,5..4,0 | 1,5..3,0 | 1,5..4,5 |
| | | | D80/100 | 1,5..4,0 | 1,5..3,5 | 1,5..4,5 |
| | IV,V | IV | D60/80 | 1,5..4,5 | - | - |
| | | | D80/100 | 1,5..4,5 | - | 1,5..4,5 |
| D100/120 | 1,5..4,5 | - | 1,5..4,5 | | | |
| Raport (S/I), kN/mm | I, II | I, II | D60/80 | 2,5..5,0 | 2,5..4,0 | 2,0..4,0 |
| | | | D80/100 | 2,5..4,0 | 2,5..4,0 | 2,0..4,0 |
| | III | III | D60/80 | 2,0..4,0 | 2,0..4,0 | 1,5..3,0 |
| | | | D80/100 | 2,0..4,0 | 2,0..4,0 | 1,5..3,0 |
| | IV,V | IV | D60/80 | 1,5..4,0 | - | - |
| | | | D80/100 | 1,5..4,0 | - | 1,0..3,0 |
| D100/120 | 1,5..4,0 | - | 1,0..3,0 | | | |
| Densitate aparenta, min kg/m ³ | - | - | D60/80 D80/100 D100/120 | 2300 | 2300 | 2250 |
| Absorbție de apă % vol. | - | - | D60/80 D80/100 D100/120 | 2...5 | 3...5 | 3...6 |

Tabelul 1.2.4**Caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor asfaltice determinate pe cuburi**

| Caracteristici pe cuburi | Tipul bitumului | Tipul mixturii asfaltice | | |
|--|-------------------------------|--------------------------|-------|------------------------------|
| | | BA8 BA16 BA25 | BAR16 | BAD25 BADPC31 BADPCS31 |
| Rezistența la compresiune la 22°C, min., N/mm ² | D60/80 | 3,5 | 3,5 | - |
| | D80/100 D100/120 | 3,0 | 3,0 | - |
| Rezistența la compresiune la 50°C, min., N/mm ² | D60/80 | 0,7 | 0,7 | - |
| | D80/100 D100/120 | 0,7 | 0,7 | - |
| Reducerea rezistenței la compresiune la 22°C la 28 zile de păstrare în apă, max. | D60/80 D80/100 | 25 | 25 | - |
| | D60/80 D80/100 D100/120 | 30 | 30 | - |
| Densitate aparentă, min., kg/m ³ | D60/80 D80/100 D100/120 | 2250 | 2250 | 2200 |
| Absorbția de apă, %vol | D60/80 D80/100 D100/120 | 2...6 | 4...7 | 3...8 |

Tabelul 1.2.5**Grosimea minimă a straturilor din betoane asfaltice realizate la cald**

| Tipul mixturii asfaltice | Simbol | Tipul stratului | Grosimea minimă a stratului compactat [cm] | Cantitatea minimă de mixtură asfaltică [kg/m ²] |
|--|-----------------|-----------------|--|---|
| Beton asfaltic bogat în criblură | B.A 8 B.A 16 | uzura | 4 | 90 |
| Beton asfaltic riguros | B.A.R 16 | uzura | 4 | 90 |
| Beton asfaltic cu agregat mare | B.A 25 | uzura | 4 | 90 |
| Beton asfaltic deschis cu criblură | B.A.D 25 | legatura | 4 | 90 |
| Beton asfaltic deschis cu pietris concasat | B.A.D.P.C 31 | legatura | 5 | 110 |
| Beton asfaltic deschis cu pietris sortat | B.A.D.P.S 31 | legatura | 5 | 110 |

1.3 Calitatea îmbrăcăminților rutiere

1.3.1 Calitatea îmbrăcăminților din mixturi asfaltice

Calitatea îmbrăcăminților din mixturi asfaltice este dată de:

- modul de preparare a mixturilor asfaltice
- materialele folosite la fabricarea lor
- tehnologia folosită și respectarea ei
- așternerea mixturilor asfaltice
- compactarea lor.

Ca o caracteristică generală a îmbrăcăminților bituminoase este uniformitatea atât în plan longitudinal cât și transversal. O uniformitate bună înseamnă lipsa denivelarilor fapt care conduce la un confort sporit al traficului și la reducerea costurilor de întreținere a autovehiculelor .

O altă caracteristică este rugozitatea.

Această cerință conduce la un grad ridicat al siguranței rutiere. Rugozitatea se realizează prin fabricarea de betoane asfaltice ruгоase, executarea de tratamente bituminoase sau de covoare subțiri (slamuri).

Suprafața îmbrăcăminții trebuie să fie impermeabilă față de apa provenită din ploaie și din topirea zăpezii.

Durabilitatea este o altă caracteristică a calității îmbrăcăminților bituminoase, aceasta ducând la costuri mici de întreținere și reparare a drumurilor.

Toate aceste caracteristici sunt prevăzute în SR 174-1/2002 pentru îmbrăcăminți bituminoase executate la cald.

1.3.2 Calitatea îmbrăcăminților din beton de ciment

Îmbrăcămințile din beton de ciment trebuie să aibe în principal aceleași calități ca cele bituminoase și anume:

- planeitate
- durabilitate
- impermeabilitate
- rugozitate.

În plus, este necesar ca rosturile dintre dale să fie bine executate pentru a reduce zgomotul la trecerea peste ele, dalele să nu se miște (tasarea lor).

1.4 Defecțiunile îmbrăcăminților rutiere

Chiar în condițiile realizării unor lucrări rutiere de calitate, în exploatare datorită traficului, a condițiilor climaterice, a acțiunii factorilor agresivi acestea se degardează, necesitând o întreținere și reparare permanentă.

Definirea defecțiunilor rutiere este necesară la aprecierea stării de degradare a drumurilor, pe baza căreia se stabilesc strategiile de intervenție și soluțiile tehnice adecvate pentru repararea lor.

Aceste defecțiuni apar atât la îmbrăcămințile bituminoase, cât și la cele din beton de ciment. Vom detalia defecțiunile îmbrăcăminților bituminoase, pe cele de beton de ciment doar le vom enumera.

1.4.1 Defecțiunile îmbrăcăminților din mixturi asfaltice

În tabelul 1.4.1 vom prezenta o clasificare a defecțiunilor îmbrăcăminților rutiere bituminoase după locul de apariție iar în tabelul 1.4.2 se face o clasificare după urgența lor de remediere.

Toate defecțiunile îmbrăcăminților bituminoase au în general următoarele grupe de cauze:

Tabelul 1.4.1

Clasificarea defecțiunilor îmbrăcăminților rutiere bituminoase după locul de apariție

| Nr. crt. | Grupa defecțiunilor | Tipul defecțiunilor |
|----------|---|---|
| 1. | Defecțiuni ale suprafeței de rulare (D.S.R) | Suprafața slefuită Suprafața exsudată Suprafața siroită |
| 2. | Defecțiuni ale îmbrăcăminții structurii rutiere (D.I.S.R) | Pelada Valuriri și refulări Suprafața poroasă Suprafața cu ciupituri Suprafața încrețită Praguri Rupturi de margine |
| 3. | Defecțiuni ale structurii rutiere (D.ST.R) | Fisuri și crapături Faianțări Fagase longitudinale Gropi |
| 4. | Defecțiuni ale complexului rutier (D.C.R) | Degradări din îngheț-dezghet Tasări locale |

Tabelul 1.4.2**Clasificarea defecțiunilor îmbrăcăminților rutiere bituminoase după urgența de remediere**

| Urgența remedierii | Gradul defecțiunii | Tipul defecțiunii |
|--------------------|---------------------|--|
| I | Defecțiuni grave | Gropi Valuriri și refulări mari Degradări din îngheț-dezghet Tasări locale Praguri Fagase longitudinale avansate |
| II | Defecțiuni mijlocii | Pelada Suprafața slefuită Suprafața incrustată Valuriri și refulări în stare incipientă Suprafața exsudată Fisuri și crapături Rupturi de margine Fagase longitudinale incipiente |
| III | Defecțiuni ușoare | Suprafața cu ciupituri Suprafața poroasă Suprafața siroită Pelada la tratamente bituminoase |

- exploatarea sub un trafic foarte greu și intens
- capacitatea portantă necorespunzătoare a complexului rutier
- capacitatea necorespunzătoare a materialelor utilizate la construcția drumului
- realizarea lucrărilor în condiții de calitate necorespunzătoare
- condiții de exploatare neluate în calcul la proiectare
- lipsa de întreținere corespunzătoare în funcție de trafic, durata de exploatare și condiții climaterice.

Influența diferitelor grupe de cauze, asupra unui anumit tip de defecțiuni este prezentat în tabelul 1.4.3.

Tabelul 1.4.3

Cauzele și defecțiunile corespunzătoare ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase

| Grupă cauză | Tip defecțiune | O.S.R. | | D.I.S.R. | | | | | | | O.S.I.R. | | | D.C.R. | | | |
|----------------------------|--|------------------|--------------------|---------------------|---------|----------------------|-------------------|------------------------|---------------------|--------|--------------------|---------------------|-----------|----------------------|-------|------------------------------|----------------|
| | | Suprafața la fel | Supraf. neregulată | Suprafața asfaltată | Pete de | Valență și reliefuri | Suprafața poroasă | Suprafața cu ciugituri | Suprafața încrețită | Fuguri | Rupturi de margine | Fisuri și crapături | Falșitari | Fugare longitudinale | Gropi | Degradări din îngheț-dezgheț | Trenuri locale |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Trafic | Trafic greu | X | X | X | XX | | | | | | XX | | XX | | | | X |
| | Trafic canalizat | | | | | | | | | | | XX | | | | | X |
| Capacitate portanță | Capacitate portanță redusă | | | | | | | | | | | XX | XX | XX | X | X | X |
| | Capacitate portanță nesuficientă | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X |
| | Reasignare la înghiț-abuziv | | | | | | | | | | | X | XX | X | X | XX | |
| | Consistență bolonului (moale) | | | X | XX | | XX | | XX | | | | | | X | X | |
| Calitatea materialului | Agregat a lăsată, emulsie cu impurități | | | | | X | | XX | | | | | X | XX | | | |
| | Densitatea redusă a agregatelor | XX | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fier cu cocloșe | | | | | | | X | | | | X | X | X | | XX | |
| | Pământ galb | | | | | | | | | | | X | X | X | | XX | |
| Stabilitate | Doză mare în cas | | XX | | | XX | | | | XX | | | | | XX | X | |
| | Doză agregat scăzută | | | | | XX | | | | | | | XX | | X | | |
| | Amorsă slabă | | | X | | XX | | | | | | | | | X | | XX |
| | Asternere (temperatura scăzută) | | | | XX | X | X | | | | XX | | XX | | X | X | |
| Stabilitate la uzură | Compoziție necorespunzătoare | | | X | | XX | | | | X | X | | X | XX | X | | XX |
| | Bitum an | | | X | | XX | | | | | | X | X | | XX | | |
| | Lipsa încălzirii | | | | | X | | | | | XX | | X | | | | |
| Cădere de apă | Defecțiunile la peteții drumului | | | | | | | | | | | X | X | X | | | XX |
| | Deversare și evacuare apă nesatisfăcătoare | | | | | | | | | | | | XX | X | XX | XX | X |
| Stabilitate la temperatură | Temperatura ambianță ridicată | | XX | | | X | | | | | | X | X | XX | | | |
| | Deversare și probare după (absența) | X | | | | | | | | | | XX | XX | X | XX | | |
| Lacrimi de beton | Contractie la fundul | | | | | | | | | | | XX | X | | | | |
| | Conținutul de apă în ciment | | | | | | | | | | | X | XX | XX | X | XX | |
| Lacrimi de beton | Lipsa etanșării la îmbinări | | | | | | | X | | | | X | X | | | | |
| | Calitatea necorespunzătoare a agregatelor | | X | XX | XX | | X | | | | X | X | X | | XX | XX | X |
| Lacrimi de beton | Amplasarea necorespunzătoare a agregatelor | X | | | | | | | | | | X | XX | X | XX | X | |
| | Amplasarea necorespunzătoare a agregatelor | | | | | | | | | | | X | XX | X | XX | X | |

Vom prezenta fotografiile a câtorva din aceste defecțiuni precizând că tehnologiile de remediere și reparare diferă, dar în final după eliminarea acestora se ajunge la frezare la cald sau la rece în funcție de gravitatea defecțiunilor, de soluția aleasă pentru reparare, de importanța drumului și bineînțeles de factorii economici.

1.4.2 Defecțiunile îmbrăcăminților din beton de ciment

Vom prezenta foarte succint aceste defecțiuni deoarece îmbrăcămințile din beton de ciment nu se reabilitează după tehnologiile folosite la îmbrăcămințile bituminoase.

Tabelul 1.4.4**Clasificarea defecțiunilor după locul de apariție**

| Nr. crt | Grupa defecțiunilor | Tipul defecțiunii |
|---------|------------------------------|---|
| 1. | Defecțiuni ale suprafeței | Suprafața slefuită Suprafața alunecoasă Suprafața exfoliată Pelada |
| 2. | Defecțiuni ale rosturilor | Decolmatarea rosturilor Deschiderea rosturilor longitudinale Rosturi cu mastic în exces |
| 3. | Defecțiuni ale îmbrăcăminții | Rupturi Fisuri și crapaturi Gropi |
| 4. | Defecțiuni ale structurii | Pompaj Tasarea dalelor Faiantare Distrușgerea totală a dalelor |

Tabelul 1.4.5**Clasificarea defecțiunilor după urgența de remediere**

| Nr.crt. | Gradul defecțiunii | Tipul defecțiunii |
|---------|---------------------|--|
| I | Defecțiuni grave | Distrușgerea totală a dalelor Tasarea dalelor Gropi Faiantare Suprafața exfoliată în stare avansată |
| II | Defecțiuni mijlocii | Fisuri și crapaturi Decolmatarea rosturilor Pelada Rupturi Suprafața exfoliată în stare incipientă Suprafața slefuită Suprafața alunecoasă Pompaj |
| III | Defecțiuni ușoare | Deschiderea rosturilor longitudinale Rosturi cu mastic în exces |

1.5 Tehnologii moderne pentru regenerarea și revitalizarea îmbrăcăminților bituminoase vechi.

În general până de curând întreținerea îmbrăcăminților bituminoase s-a făcut aproape în totalitate prin tehnologii diverse care constau în acoperirea în totalitate a straturilor vechi cu învelișuri bituminoase, fără să reutilizeze stratul inițial.

În prezent se practică tehnologii pentru re folosirea și regenerarea îmbrăcăminților bituminoase vechi după diverse procedee.

Prezentăm două din aceste procedee:

1.5.1 Regenerarea îmbrăcăminții bituminoase vechi fără a modifica dozajul mixturii asfaltice prin:

Aceasta metodă se practică prin mai multe tehnologii și anume:

- frezare la rece
- rabotare sau frezare la cald
- termoreprofilare
- termoregenerare

1.5.1.1 Frezare la rece

Se face cu utilaje speciale, aplicându-se atunci când denivelările nu depășesc 2-3 cm iar structura rutieră nu necesită ramforsare. În urma frezării suprafața rămasă este rugoasă, aceasta putând fi dată sub circulație sau acoperită cu un tratament bituminos ori de mixtură asfaltică.

Materialul rezultat din frezare poate fi reutilizat la producerea de mixturi asfaltice.

1.5.1.2 Rabotarea sau frezarea la cald

Se execută cu un sistem special de utilaje formate din: elemente active (dinți) fixe sau rotative (în cazul frezării), totul dispus pe un șasiu cu sistem de rulare și antrenată cu motor termic.

Tehnologia se aplică când îmbrăcămintea bituminoasă veche prezintă semne de oboseală ca fisuri, crăpături, făgașe, faianțări, etc., sau când suprafața trebuie să fie înlocuită complet. Rabotarea se face pe adâncime de 4,5-5 cm, materialul rezultat putând fi re folosit.

1.5.1.3 Termoreprofilarea.

Constă în refacerea profilului unei îmbrăcăminți bituminoase vechi prin încălzire, scarificare ușoară și recompartare la fața locului fără a se ridica materialul scarificat și fără adaos de material nou.

1.5.1.4 Termoregenerarea.

Se face pentru îmbunătățirea caracteristicilor stratului de rulare, prin încălzire, scarificare pe o grosime de 3-4 cm, reutilizând materialul scarificat total sau parțial și aplicarea unui strat nou de mixtură asfaltică care trebuie să aibe caracteristici antiderapante.

1.5.2 Regenerarea îmbrăcăminții bituminoase vechi recuperată și corectată prin:

- metoda regenerării la fața locului
- metoda refolosirii la cald a mixturii vechi prin corectarea dozajului și reamestecarea în instalații de produs mixturii asfaltice.

Îmbrăcămințile bituminoase vechi care prezintă defecțiuni de tipul: fisuri, crăpături, suprafețe poroase etc., pot fi refolosite prin două procedee.

1.5.2.1 Metoda regenerării la fața locului.

Această metodă se realizează prin două tehnologii:

- reciclarea la cald
- reciclarea la rece.

Prin normativele existente la noi în țară (AND 557-2002 și AND 532-1997) cu aceste tehnologii se pot realiza mixturii asfaltice pentru straturi de bază, strat de legătură sau stratului de uzură (de rulare).

Reciclarea la cald a îmbrăcăminții bituminoase vechi se realizează "in situ" cu adaos de lianți bituminoși și cu sau fără adaos de agregate minerale, utilizându-se în totalitate materialul existent. Reciclarea la cald se face cu un complex de utilaje care frezează la cald sau la rece suprafața existentă, o reamestecă cu componente noi, bitum sau agregate minerale o așterne și o precompactează.

Reciclarea la rece se face tot "in situ" folosind un complex de utilaje asemănător, dar liantul folosit nu este bitumul cald ci o emulsie bituminoasă rece cu rupere lentă, adăugându-se ciment și agregate naturale. Și prin această metodă se utilizează întregul material rezultat din îmbrăcămințea veche.

1.5.2.2 Metoda refolosirii la cald a mixturilor vechi prin corectarea dozajului și reamestecarea în instalații de produs mixturi asfaltice.

Tehnologia folosită în acest caz este de a freza sau decapa materialul la fața locului, încărcarea lui în mijloace de transport și dus în șantier unde se reintroduce în anumite dozaje cu material de adaos în instalațiile de produs mixturi asfaltice readucându-se apoi la locul de așternere. Utilajele folosite sunt mai simple, dar sunt costuri mai mari cu transportul. În cazul în care se frezează materialul se poate introduce direct în instalațiile de produs mixtură, iar în cazul în care se decapează, bucățile mari se mărunțesc prin concasare, introducându-se apoi în instalațiile speciale de produs mixturi asfaltice.

CAPITOLUL 2

UTILAJE FOLOSITE PENTRU REGENERAREA ȘI REUTILIZAREA MIXTURILOR ASFALTICE

2.1. Generalități

Dezvoltarea și diversificarea tehnologiilor pentru regenerarea și reutilizarea mixturilor asfaltice a condus la fabricarea de utilaje care să realizeze aceste tehnologii.

La aproape toate tehnologiile folosite, metoda frezării este cea mai des întâlnită. Concomitent cu dezvoltarea metodei s-au dezvoltat și utilajele de frezat, ajungând să aibe productivități tot mai mari.

Din analiza utilajelor de frezare existente s-a constatat că există mașini cu caracteristici foarte variate:

- lățimi de lucru de la 300 la 4500 mm
- adâncimi de frezare de la 0 la 400 mm
- putere instalată de la 20 la 1000 kw
- masa de la 2000 la 50000 kg
- sistem de rulare pe pneuri, pe șenile sau mixte.

2.2 Utilaje pentru frezarea la rece

Utilajele pentru frezarea la rece se pot clasifica după următoarele criterii:

- sistem de deplasare
- sistem de acționare a tamburului de frezare
- după metoda de lucru
- după sistemul de frezare
- după clasa dimensională

Dupa sistemul de deplasare :

- deplasare pe roți;
- deplasare pe șenile;
- deplasare mixtă pe roți și șenile.

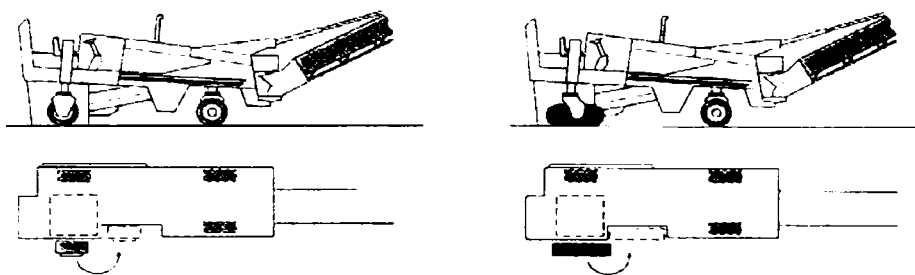


Fig.2.1 Deplasare pe roți

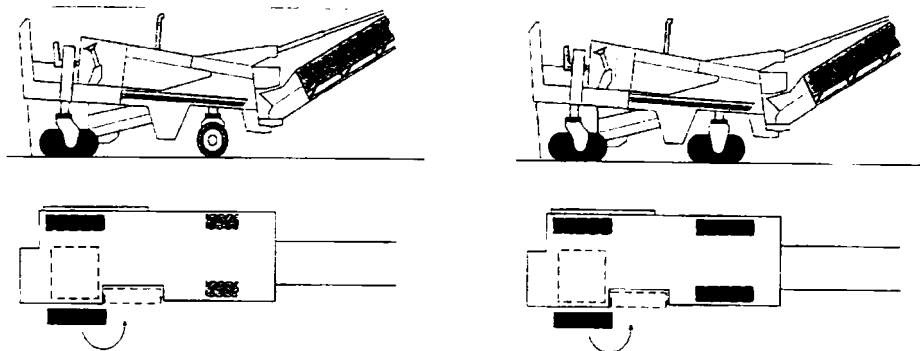


Fig.2.2 Deplasare pe șenile

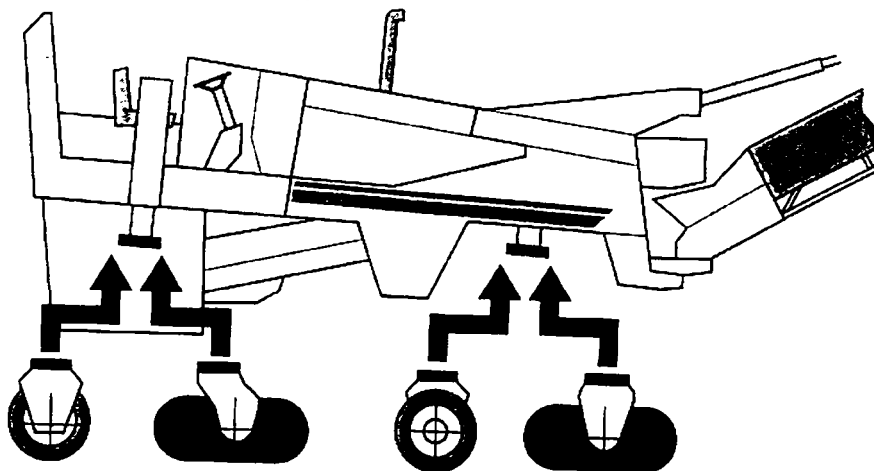


Fig.2.3 Deplasare mixtă pe roți și șenile

Dupa sistemul de acționare al tamburului de frezare:

- hidraulic;
- mecanic –cu curele de transmisie sau lanț;

Dupa sistemul de frezare:

- frezare ascendentă –tamburul de frezare rotește în sensul deplasării mașinii de frezat;
- frezare descendentă –tamburul de frezare se rotește în sens invers sensului deplasării mașinii de frezat.

Dupa metoda de lucru:

- mașina de frezat propriu-zisă –materialul frezat se transportă în șantier pentru neutralizare ;
- reciclatoare –materialul frezat rămâne pe loc și se refolosește prin diverse procedee.

Dupa clasele dimensionale:

Tabelul 2.1.1

| Caracteristici | Clasa compact | Clasa medie | Clasa grea |
|-----------------------------|---------------|-------------|------------|
| Latimea de frezare L[mm] | 300-1000 | 1000-2000 | 2000-4500 |
| Adancimea de frezare H [mm] | 0-280 | 0-300 | 0-400 |
| Puterea motorului [kw] | 20-200 | 160-400 | 300-1000 |
| Masa [t] | 3-17 | 17-40 | 40-50 |

Constructiv mașinile se compun din:

- șasiu
- sistem de rulare
- tambur de frezare
- motor termic
- sistem hidraulic de acționare
- bandă de încărcare a mterialului frezat (nu la toate tipurile)

Caracteristicile tehnice ale principalelor mașini de frezat mixturi asfaltice sunt date în tabelul de mai jos:

Tabelul 2.1.2

| Caracteristică Firma | Lățimea max. de frezare, m | Grosimea de frezare max., mm | Numărul de dinți pe tambur | Puterea, kW | Masa, t |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|------------------|
| Arrow | 0,30-3,81 | 115-150 | 69-169 | 50-270 | 6,1-21,8 |
| Barber-Greene | 1,22-3,81 | 152-254 | 82-252 | 167-642 | 14,0-47,3 |
| Bitelli | 0,60-2,12 | 100-200 | 56-150 | 68-340 | 5,6-31,0 |
| Caterpillar | 2,01-4,28 | 152-254 | 48-264 | 57-745 | 6,5-51,6 |
| C.M.I | 1,90-3,81 | 305-381 | - | 390-985 | 22,7-39,8 |
| Dynapac | 0,75-2,00 | 70-150 | 37-166 | 200-294 | 7,1-28,8 |
| Ingersoll-Rand | 0,50-1,98 | 152-254 | 48-141 | 91-391 | 9,7-35,0 |
| Marini | 1,00-2,10 | 320 | - | 179-440 | 17,5-31,5 |
| Roadtec | 1,00-3,80 | 203-381 | - | 171-766 | - |
| Vielhaben | 0,30-4,20 | 65-250 | 29-341 | 26-559 | 2,4-44,0 |
| Wirtgen | 0,35-2,00 | 100-300 | - | 32-448 | 4,4-37,9 |

Reciclatoarele au în plus sisteme de dozare a liantului, sistem de dozare a materialului de adaos (agregate minerale și ciment).

Pentru păstrarea planeității se folosesc sisteme de frezare pe fir (palpatoare), sisteme de frezare cu laser, sau cu ultrasunete care elimină denivelările existente pe drum.

2.3 Utilaje pentru frezarea la cald

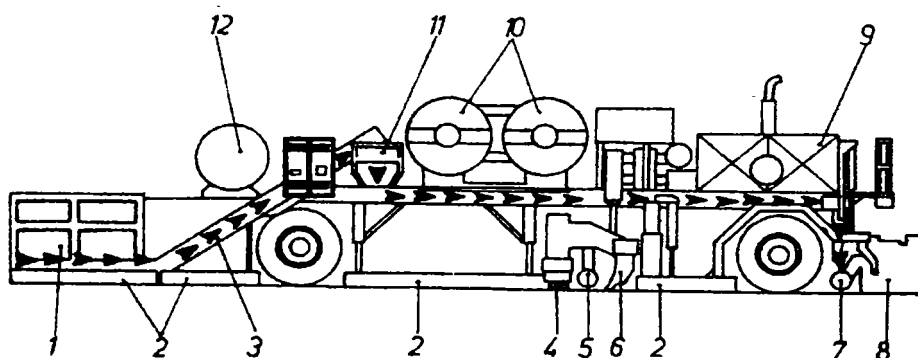
Sunt formate dintr-un complex de utilaje și anume –freza propriu-zisă și un sistem de încălzire cu infraroșu, anterior frezei.

Sistemul de încălzire poate fi independent de freza sau fixat pe șasiul acesteia. Se încălzește suprafața îmbrăcăminteii asfaltice până la 160° ușurând astfel frezarea. Metoda se folosește în general la reciclarea la cald la fața locului sau la termoregenerare.

2.4 Utilaje pentru termoreprofilare

Utilajul este format dintr-un sistem de încălzire cu infraroșu până la 160° C, un scarificator care are dinți astfel dispuși încât să producă reamestecarea materialului fără a sparge agregatele, lama vibrantă în spatele scarificatorului care nivelează materialul rezultat prin mișcări transversale pe direcția transversală; sistem de precompactare a materialului și aducerea lui la planeitate cu o grindă vibrantă. Urmând apoi compactarea cu utilaje separate.

2.5 Utilaje pentru termoregenerare



Termoregeneratorul

- buncăr; 2 - plăci de încălzire; 3 - transportor; 4 - scarificator; 5,7 - melc de repartizare; 6 - lamă de nivelare; 8 - grindă de precompactare; 9 - motor; 10 - rezervoare de gaz; 11 - buncăr de stocare; 12 - rezervor de motorină

Utilajele pentru termoregenerare sunt complexe formate din următoarele:

- 1- buncăr pentru material de adaos
- 2- plăci de încălzire
- 3- transportor
- 4- scarificator
- 5- melc de repartizare
- 6- lamă de nivelare
- 7- melc de repartizare
- 8- grindă de precompactare
- 9- motor
- 10- rezervoare de gaz
- 11- buncăr de stocare
- 12- rezervor de motorină

CAPITOLUL 3

ELEMENTELE ACTIVE ALE MAȘINILOR DE FREZAT

3.1 Tamburul de frezare

Tamburul de frezare este un ansamblu de piese care constituie organul de lucru al frezelor și reciclatoarelor de mixturi asfaltice.

Este alcătuit dintr-un cilindru metalic pe care sunt fixați printr-un suport special dinții de frezare.

Tamburul de frezare este prevăzut la capete cu axe pentru fixarea în lagăre de rostogolire și cu sistem de antrenare.

Antrenarea se poate face hidraulic (cu motoare hidraulice) sau mecanic printr-o transmisie cu lanț sau curele și redactor planetar.

În figura 3.1; 3.2 și 3.3 se prezintă două tipuri de tamburi și un model constructiv prin plăci demontabile.



Fig. 3.1



Fig.3.2

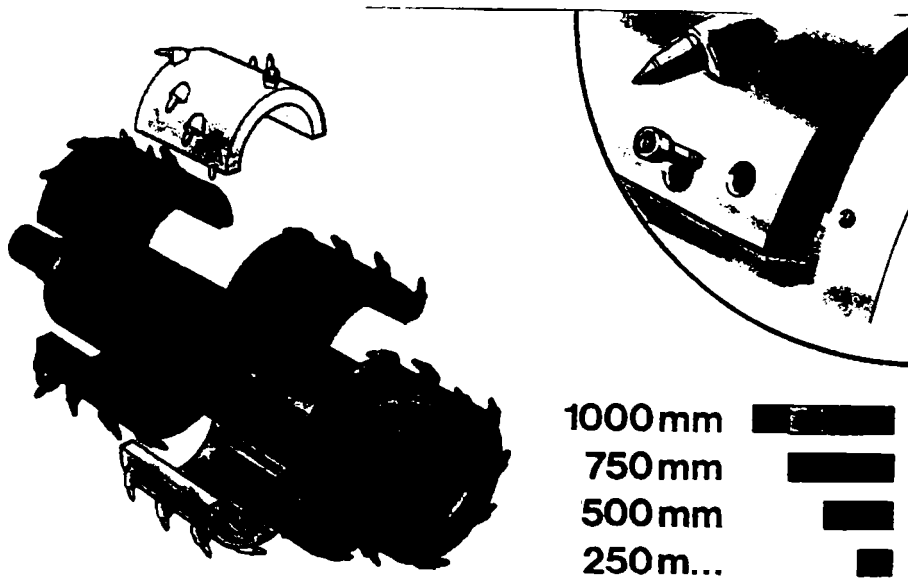


Fig.3.3

Diametrele lășimii de frezare variașă de la 460 mm la 1480 mm, iar numărul de dinșii în funcșie de lungimea de frezare de la 36 bucășii la 672 bucășii.

Turașia de lucru a tamburului este de 100-200 rot/min rezultând o viteză tangenșială a vârfului dintelui de 2,5-1,5 m/s viteză care ține seama de natura materialului, de grosimea stratului și a gradului de mărunșire necesar.

3.2 Elementul activ (așchietor)- dintele de frezare

Dintele de frezare este de formă cilindrică din oșel prevăzut cu un vârf din carbură de tungsten (wolfram) atașat prin brazare. Forma de bază variașă în funcșie de natura materialului frezat și de scopul frezării.

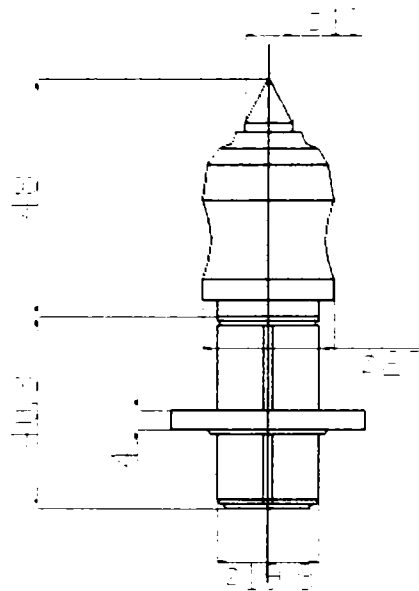


Fig.3.4

Montarea dintelui pe tambur se face prin intermediul unui suport inferior fixat pe tambur prin sudare și suport superior în care se montează dintelui. Fixarea dintelui în suportul superior se face printr-un sistem elastic care să permită rotirea dintelui în suportul superior dar și demontarea lui ușoară în cazul schimbării.

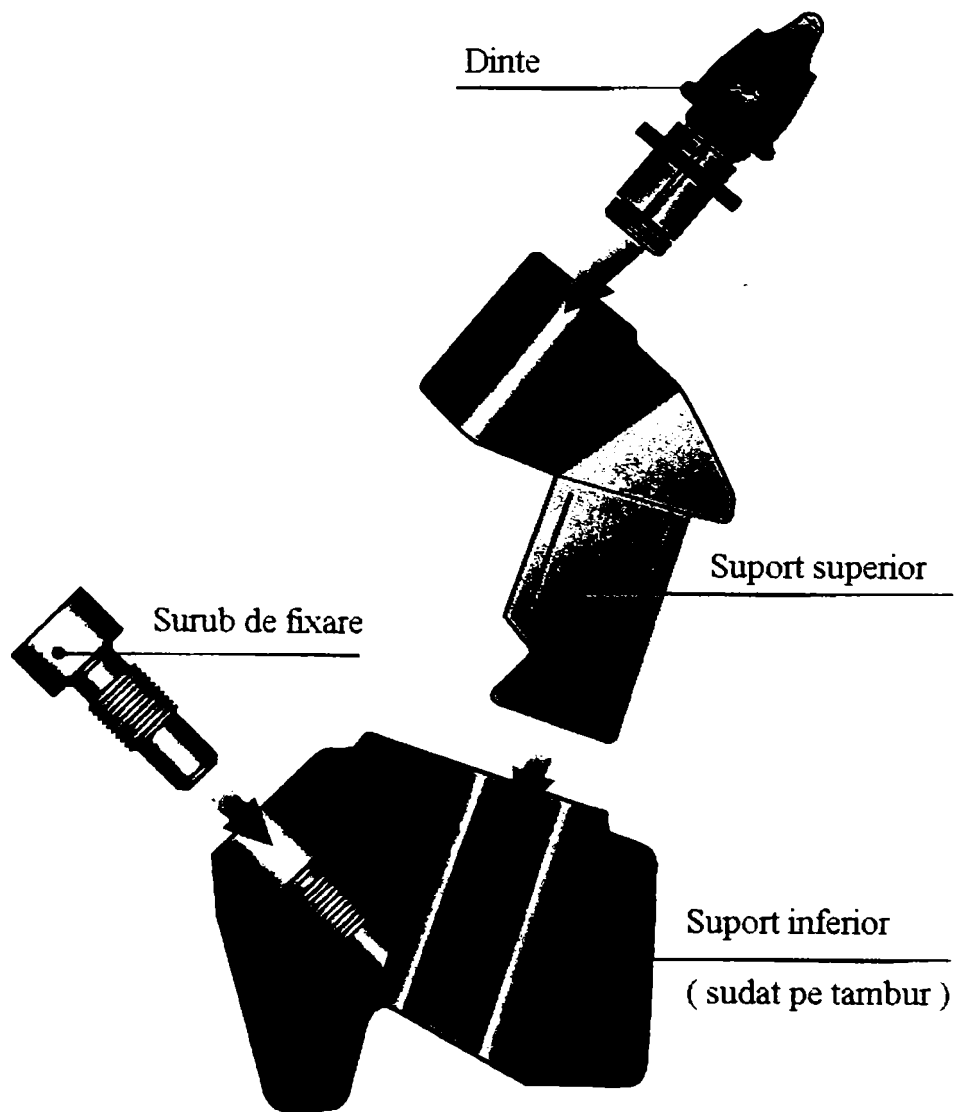


Fig.3.5

3.3 Dispunerea dinților pe tamburul de frezare

Dinți de frezare sunt dispuși elicoidal pe cilindrul metalic împreună cu care formează tamburul de frezare.

Dispunerea dinților pe tamburul de frezare influențează pe lângă uzura lor întreg procesul de frezare, trebuind să asigure o utilizare optimă a puterii motorului și limitarea vibrațiilor transmise mașinii.

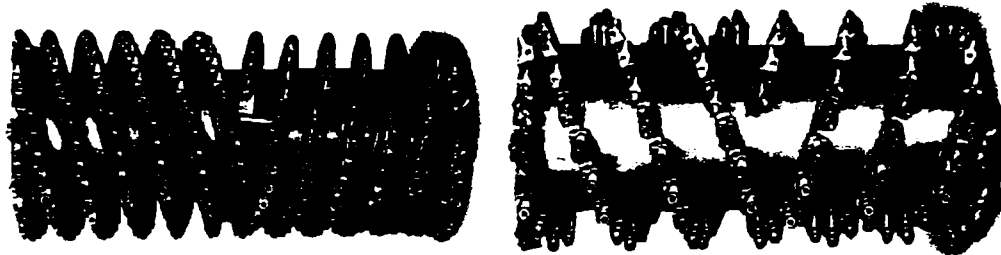


Fig.3.6

Elementele geometrice de montare a dinților care determină parametrii optimi de frezare sunt:

- distanța dintre dinți (pasul)
- unghiul de așezare a dinților în plan vertical
- unghiul de așezare a dinților în plan longitudinal.

Distanța dintre dinți:

Distanța dintre dinți (pasul) măsurată pe generatoarea tamburului (cilindrului) este cuprinsă între 3 și 20 mm, mai des întâlnită fiind distanța de 15 mm (fig.) și respectiv 8 mm.



Fig.3.7

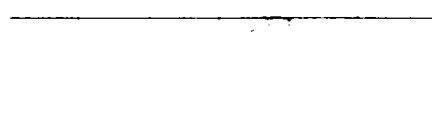


Fig.3.8

Mărimea distanței (pasului) determină rugozitatea rezultată a suprafeței frezate.

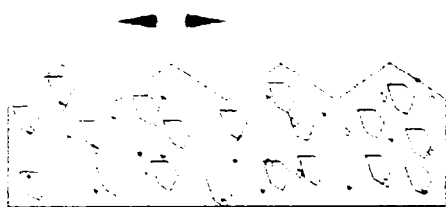


Fig.3.9



Fig.3.10

Pasul dintelui determină rezistența la dislocare.

Astfel la un pas mic, număr mare de dinți rezultă rezistența mai mare la dislocare, deci un avans mai mic, dar și o rugozitate mai mică.

Un număr mai mic de dinți (pas mare) conduce la scăderea rezistenței la frezare, la creșterea avansului și la o rugozitate mai mare a suprafeței .

Unghiul de așezare al dinților în plan vertical:

Este un element deosebit de important deoarece influențează atât rezistența la uzură cât și rezistența la frezare .Ca unghi optim se recomandă unghiul cuprins între 35° și 45° .

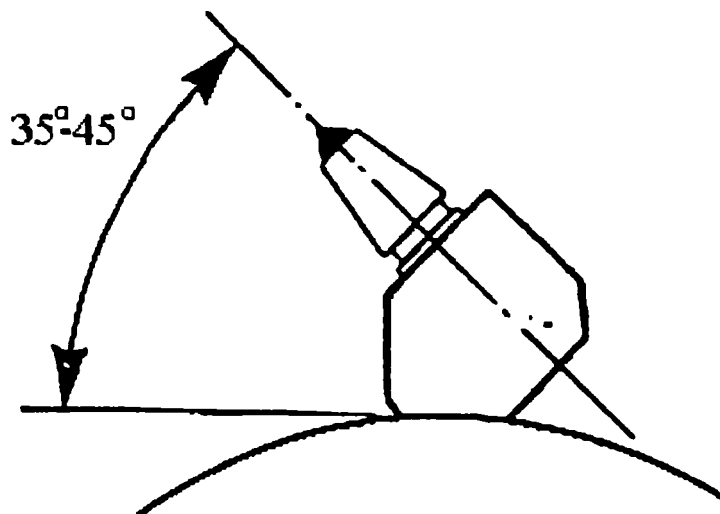


Fig. 3.11

Unghiul de așezare al dinților în plan longitudinal:

Pentru ca uzura dinților să fie uniformă este necesar ca aceștia să fie montați la un unghi de 5° - 7° față de perpendiculara pe generatoarea tamburului de frezare.

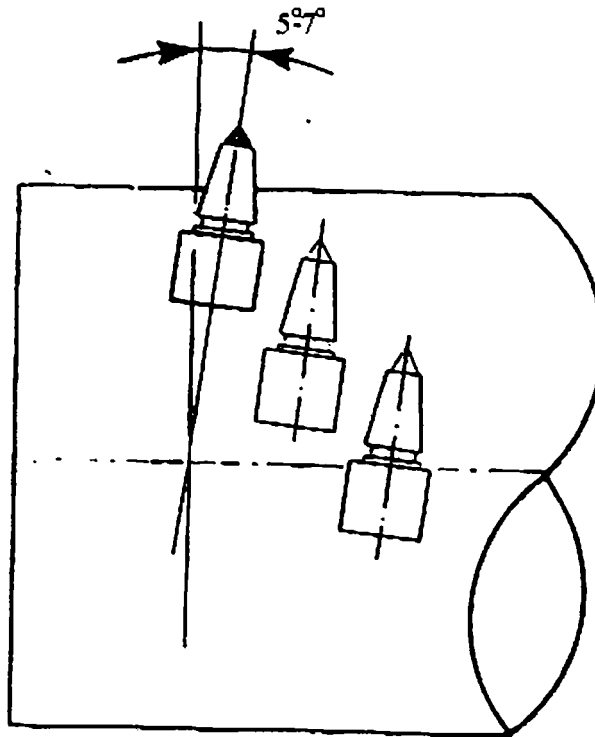


Fig.3.12

Prin rotirea dinților în suportul superior, în procesul de frezare se produce și autoascutire a lor care favorizează procesul de frezare și crește durata de folosire a acestora.

Trebuie menționat că modul de montare a dinților pe tambur este determinat de parametrii fizico-mecanici ai materialului de frezat, de grosimea stratului frezat la o trecere, de scopul frezării (reciclare, nivelare, reparare, etc.)

CAPITOLUL 4

CARACTERISTICILE PROCESULUI DE FREZARE A MIXTURILOR ASFALTICE

4.1. Definirea procesului de frezare

În procesul de reabilitare și reciclare a îmbrăcămintilor bituminoase vechi metoda care s-a impus este frezarea la rece.

Acest proces constă în decaparea prin frezare a stratului deteriorat și înlocuirea lui în totalitate sau parțial cu unul nou.

Tamburul de frezare, prin suprapunerea mișcării de rotație cu deplasarea longitudinală generează o nouă suprafață plană adecvată agenților de reparare care urmează.

Procesul de frezare este unul periferic și se realizează în două moduri:

- frezare ascendentă, când sensul de rotire al tamburului coincide cu sensul deplasării mașinii de frezat (fig.4.2)
- frezare descendentă, când sensul de rotire al tamburului este invers sensului de înaintare al mașinii de frezat (fig.4.1)

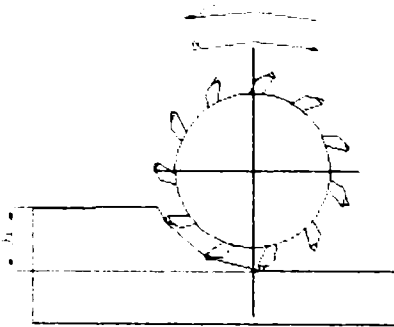


Fig.4.1

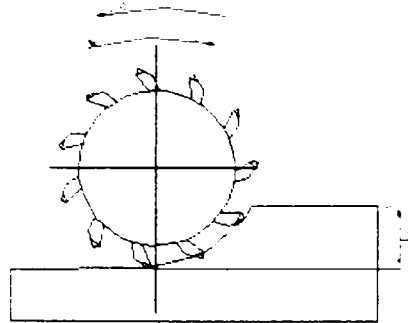


Fig. 4.2

În timpul procesului de frezare axa tamburului este perpendiculară pe direcția de înaintare și paralelă pe direcția și paralelă cu suprafață (orizontală) de frezare.

În procesul de frezare există mai multe mișcări care definesc cinematica procesului. Acestea sunt:

- mișcarea de rotație a tamburului
- mișcarea de avans a frezei
- mișcarea principală are viteza cea mai mare și efectuează lucrul mecanic cel mai mare
- mișcarea efectivă de dislocare care este o rezultantă a mișcării de avans și a mișcării principale.

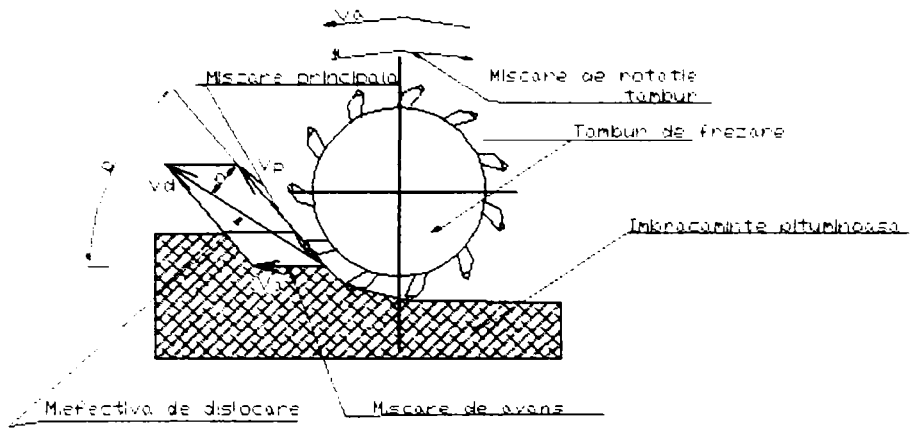


Fig.4.3

4.2. Traiectoria dinților tamburului de frezare

Traiectoria vârfului cuțitelor de frezare este determinată de compunerea celor două mișcări de rotație și avans (longitudinală) și este sub forma unei curbe cicloide alungite.

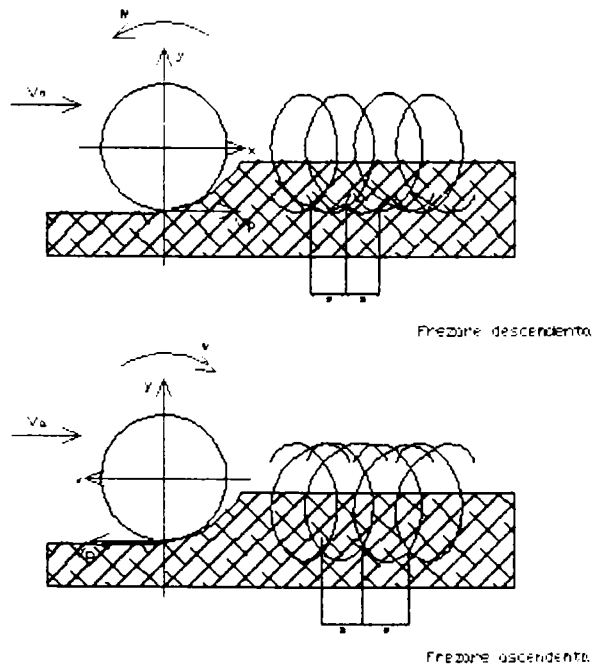


Fig.4.4

Raportând traiectoria dinților la un sistem de axe x-y, ecuația curbei rezultate este:

$$x = \frac{D}{2 \sin \omega t} \pm V_a t \quad [4.1]$$

$$y = \frac{D}{2 \cos \omega t}$$

unde, D =diametrul la vârful dinților
t =timpul considerat
 ω =viteza unghiulară a tamburului.

Semnul + sau - al ecuației depinde de tipul frezării, ascendentă sau descendentă.

Prin compunerea celor doua mișcări ale tamburului de frezare care are viteza periferică V_p și a mișcării de avans longitudinală V_a , rezultă viteza de dislocare, V_d - viteza la vârful dinților. Acesta viteză este funcție și de tipul frezării descendente sau ascendente. (fig 4.5)

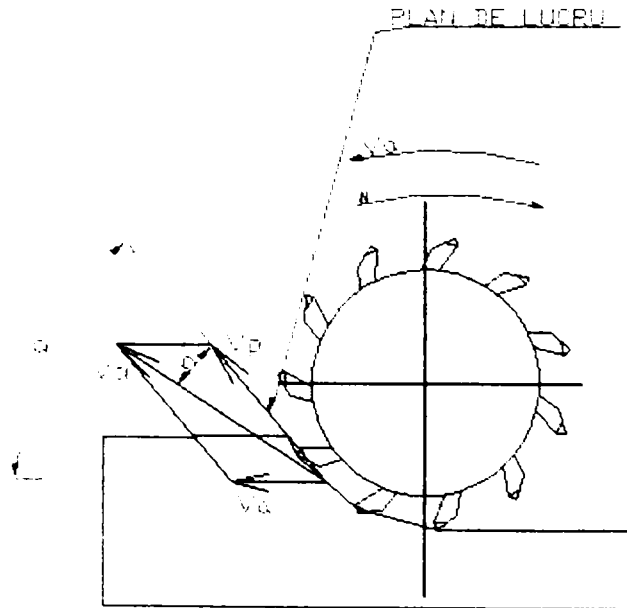


Fig.4.5 Frezare ascendentă

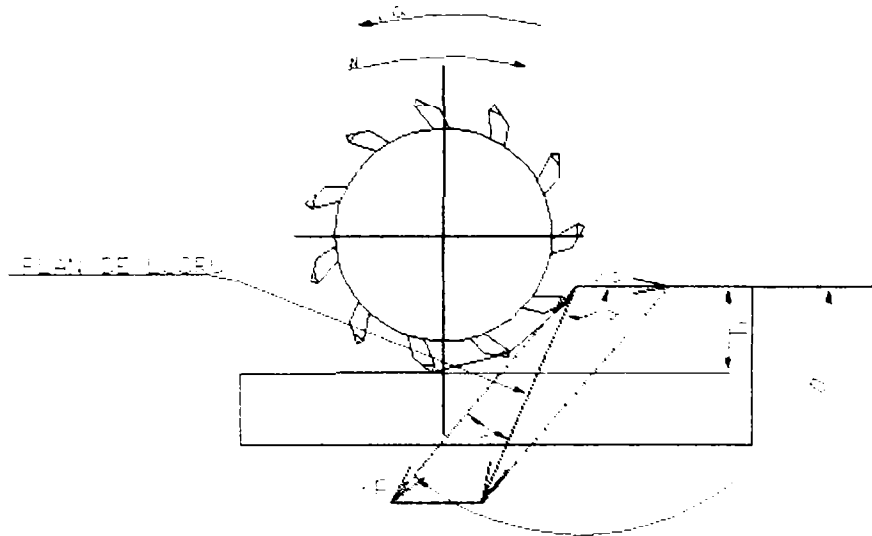


Fig.4.6 Frezare descendentă

Prin diferențierea ecuațiilor [4.1] raportate la timp rezultă cele două direcții pe axele x și y .

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \frac{D}{2\omega \cos \omega t} \pm V_a \quad [4.2]$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = \frac{D}{2\omega \sin \omega t} \quad [4.3]$$

$$V_d = \sqrt{V_x^2} + \sqrt{V_y^2} = \sqrt{\omega^2 D^2 \pm 4V_a D \omega \cos \omega t + 4V_a^2} \quad [4.4]$$

Viteza de dislocare este unul din elementele care conduce la productivitatea mașinilor de frezat.

4.3. Avansul dintelui

Dinții de frezare sunt dispuși elicoidal pe tamburul de frezare fapt care face ca în funcție de tipul constructiv al tamburului și de rugozitatea necesară rezultă că dislocarea se face de către un dinte pe linia de dislocare la un moment dat. Notând cu S mărimea avansului pe dinte rezultă:

$$S = \frac{V_a}{nz} \quad [4.5]$$

unde, V_a = viteza de avans
 z = numărul de dinți dintr-o linie de dezvoltare
 n = turatia tamburului de frezare

4.4. Adâncimea de frezare

În funcție de tehnologia procesului de reabilitare se stabilește și adâncimea de frezare.

În funcție de tipul frezării ascendente sau descendente, adâncimea de frezare este dată de relația:

$$h = \frac{D}{2(1 - \cos \varphi)} \quad \text{-pentru frezarea ascendentă} \quad [4.6]$$

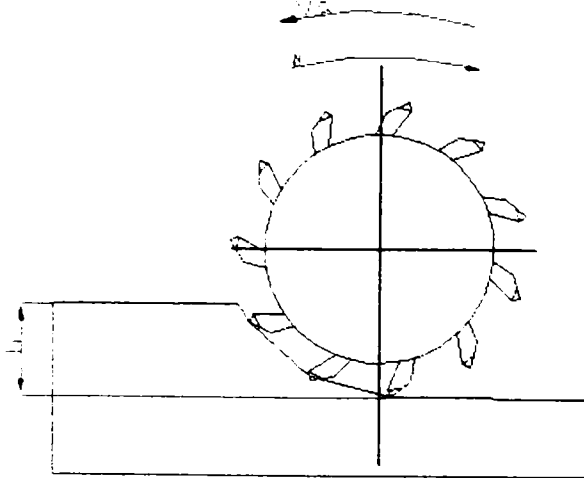


Fig.4.7 Frezare ascendant

La frezarea descendentă trebuie ținut seama de condiția:

$$V_p = \cos \varphi \geq V_a \quad \text{rezultă} \quad \cos \omega = \frac{V_a}{V_p} \quad [4.7]$$

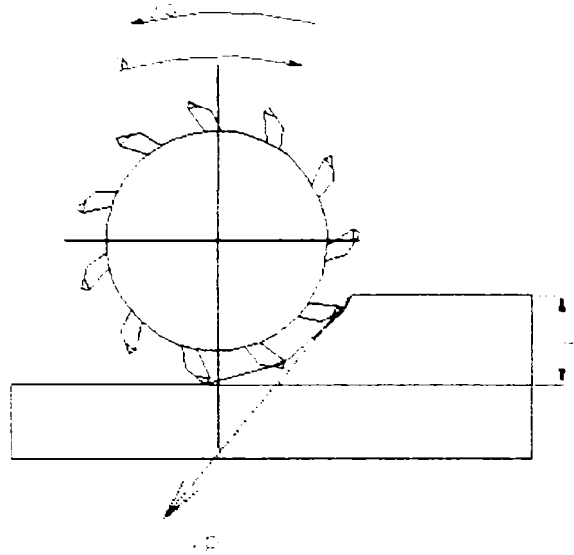


Fig. 4.8 Frezare descendentă

Adâncimea de frezare uniformă :

$$h = \frac{D}{2\left(1 - \frac{V_a}{V_p}\right)} \quad [4.8]$$

4.5. Concluzii

Analizând parametrii regimului de frezare rezultă următoarele:

- adâncimea stratului (grosimea) frezat depinde de diametrul tamburului de frezare: cu cât diametrul este mai mare cu atât crește și grosimea stratului frezat la o trecere

- avansul pe dinte crește odată cu diametrul tamburului și se raportează la turația și numărul de dinți

- viteza de frezare este dependentă de turația și de diametrul tamburului de frezare.

Toate acestea se corelează cu puterea motorului termic care se determină în capitolul următor.

CAPITOLUL 5

REZISTENȚA MIXTURILOR ASFALTICE ÎN PROCESUL DE FREZARE

5.1. Dislocarea mixturilor asfaltice prin frezare

Mixturile asfaltice sunt aglomerări de agregate naturale sau artificiale cu filer și cu o anumită cantitate de liant bituminos.

În general au o structură omogenă cu goluri puține, rezistența ei fiind dată de forțele de coeziune și de rezistența agregatelor care formează scheletul mineral.

La pătrunderea unui material dur în mixtură, se creează o stare de tensiune foarte complexă, determinată de componentele și compoziția mixturii.

Cu cât dimensiunile agregatelor sunt mai mici comparative cu suprafața corpului de contact dintre elementul de pătrundere și mixtură cu atât starea de tensiune este mai uniformă.

În literatura de specialitate nu s-au găsit date despre dislocarea mixturilor asfaltice, de aceea considerăm că se poate lua în considerație fenomenele de dislocare a rocilor moi.

Dislocarea materialului din stratul de mixtură se realizează prin apăsarea însoțită de deplasare a dinților aflați pe tamburul de frezare. Datorită tensiunilor normale și tangențiale care apar simultan se produc ruperi și foarfecări însoțite de desprinderi și alunecări.

Considerând apăsarea specifică realizată la vârful dinților "p", în funcție de valoarea lui, dislocarea poate fi superficială sau volumică.

Ω

C.



Fig. 5 1

Pe domeniul OA, pentru $p \leq p_0$, este dislocarea superficială și în material apar numai deformații elastice. Particulele de material, preiau presiunea dată de vârful dinților de frezare la deplasarea lor transmițându-se particulelor straine și provocând desprinderea lor din masa de material.

Particulele dislocate sunt de dimensiuni mici cu aspect de praf, amestecat și cu particule mai mari.

În domeniul AB al curbei apar apăsări specifice care depășesc limita de curgere $p_0 < p < p_{cr}$ și la care în material apar fisuri mici insuficiente pentru dislocarea efectivă.

În momentul în care apăsarea specifică a depășit valoarea critică $p > p_{cr}$ se trece în domeniul BC al curbei care corespunde dislocării efective în volum a mixturii asfaltice.

5.2. Calculul puterii necesare în procesul de frezare a mixturii asfaltice

La calculul puterii necesare mașinii de frezat se ține seama de totalitatea organelor mecanice în mișcare și anume:

- deplasarea mașinii
- acționarea tamburului pentru frezare
- acționarea transportorului de evacuare a mixturii frezate
- aruncarea materialului frezat pe banda de evacuare a transportorului.

Ținând seama de faptul ca tratăm doar fenomenul de frezare, vom efectua calculul necesar acestui procedeu.

Cunoscând rezistența la compresiune a mixturii asfaltice ($\sigma_c = 3-5,2 \text{ daN/cm}^2$) vom porni cu calculul de la acest element. În calculule practice vom lua valoarea maximă a valorii rezistenței la compresiune:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [5.1]$$

F =forța necesară frezării pe un dinte [daN]

A =suprafața de frezat pe un dinte (max 15 mm) [cm²]

$$F = A\sigma_c K \quad [5.2]$$

K =coeficient=0,6 aplicat suprafeței de frezare deoarece considerăm că practic suprafața frezată de un dinte nu este în general cea calculată.

Având în vedere că pe tambur sunt mai mulți dinți = n_d =forța totală va fi :

$$F = A\sigma_c K n_d \quad [5.3]$$

Pentru calculul momentului maxim de frezare ținând seama de diametrul tamburului peste vârful dinților.

$$M_{ifr} = \frac{D_t}{2F_{tot}} = R_t F_{tot} \quad [5.4]$$

M_{ifr} = momentul total de frezare

D_t = diametrul tamburului peste dinți

F_{tot} = forța totală de frezare necesară

Pentru a afla puterea vom calcula :

$$M_{ifr} = \frac{3 \cdot 10^7}{\pi} \frac{P}{n} = 9,55 \cdot 10^6 \frac{P}{n} \quad [5.5]$$

Unde: $\frac{3 \cdot 10^7}{\pi} = 9,55 \cdot 10^6$ -coeficientul pentru obținerea puterii in KW. [5.6]

P = puterea necesară tamburului numai pentru frezare

n = turația tamburului (rot/min)

$$P = \frac{M_{in}}{9,55 \cdot 10^6} \quad [KW] \quad [5.7]$$

ținând seama și de randamentul transmisiei , η_t , puterea necesară frezării va fi:

$$P = \frac{M_{in}}{9,55 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{\eta_t} \quad [KW] \quad [5.8]$$

Pentru a calcula puterea totală a motorului de acționare se vor totaliza puterile necesare mișcării de avans, de aruncare a materialului frezat pe bandă și de acționare a benzii transportului de material frezat.

5.3. Rezistențele apărute la tamburul de frezare

Conform celor prezentate anterior frezarea îmbrăcămișilor asfaltice se realizează prin combinarea a două mișcări: de rotație cu viteza periferică V_p și mișcarea de avans V_a .

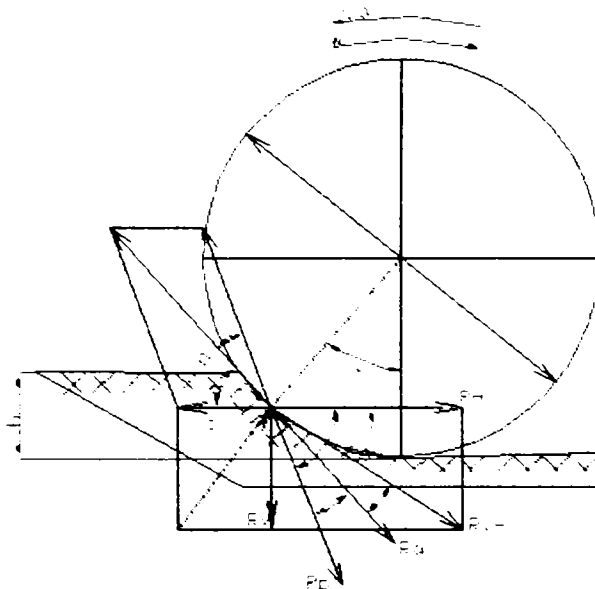


Fig.5.2

Vârful unui dinte M aflat pe tamburul de diametru D va avea o viteză de dislocare V_D care se consideră viteza absolută.

Pe direcțiile vitezelor V_p , V_a și V_d se găsesc rezistențele R_p , R_D , R_H (pe V_a) precum și R_V .

Asupra dintelui acționează forța verticală R_V și forța orizontală R_H . Acestea reprezintă reacțiunile mediului, rezultanta lor fiind:

$$R_{VH} = \sqrt{R_V^2 + R_H^2} \quad [5.9]$$

Rezistența la dislocare pe direcția vitezei V_a va fi:

$$R_D = R_{VH} \cos \sigma \quad [5.10]$$

R_p = rezistența periferică
 R_D = rezistența la dislocare
 R_H = rezistența la avans
 R_V = rezistența verticală

Din figura (5.2) rezultă:

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{V_p \sin \varphi}{V_a + V_p \cos \varphi} \quad [5.11]$$

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{R_r}{R_h}$$

$$\sigma = \alpha - \gamma$$

Mărima rezistențelor este variabilă pornind de la 0 în momentul intrării în contact cu materialul crescând odată cu unghiul φ și reajungând la 0 în momentul ieșirii din material.

În funcție de adâncimea de frezare "h" și de uzură cuțitelor rezistențele la frezare sunt variabile și cresc proporțional cu creșterea adâncimii de frezare și a gradului de uzură a cuțitelor.

Dacă comparăm caracteristicile fizico-mecanice ale mixturii asfaltice cu cele ale rocilor, după Belorusov și Saparnii rezistența la tăiere depinde de proprietățile fizico-mecanice ale rocilor, de geometria cuțitelor și tăieturii și de regimul de lucru.

În acest context se propune o formulă simplă pentru determinarea rezistenței la tăiere.

$$R_t = K \cdot b \cdot h \cdot e^\sigma \quad [5.12]$$

Unde: K = rezistența specifică la tăiere
b = lățimea cuțitului
h = înălțimea de tăiere
 σ = unghiul de tăiere

Calculul rezistenței specifice la tăiere se face cu relația:

$$K = 0,4\sigma \cdot (1 + 0,25 \cdot V) \quad [5.13]$$

σ = rezistența la compresiune monoaxială a rocii
V = viteza de tăiere a rocii

În procesul de frezare muchia tăietoare a cuțitului se tocește putând să fie reprezentată de o sumă de fațete infinit mici dispuse pe perimetrul treit sub unghiul de tăiere σ_1 față de traiectoria cuțitului.

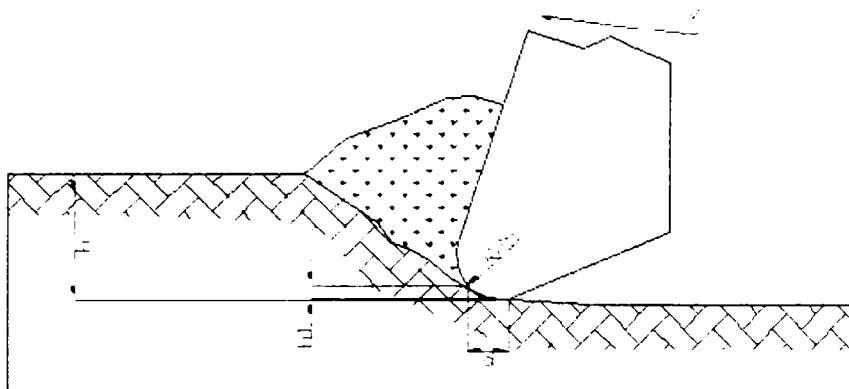


Fig. 5.3

Înălțimea fașetei muchiei tăietoare este:

$$h_i = R_0 \cdot \sin \sigma \cdot d\sigma \quad [5.14]$$

Rezistența elementară suplimentară datorită uzurii cușitului va fi:

$$dR_{ii} = K \cdot b \cdot e^\sigma \cdot R_0 \cdot \sin \sigma \cdot d\sigma \quad [5.15]$$

Prin integrare rezultă rezistența suplimentară totală datorită uzurii cușitului:

$$R_{iu} = \int_{\sigma}^{\pi} dR_{ii} = \frac{1}{2} K \cdot b \cdot R_0 [e^\pi - e^\sigma (\sin \sigma - \cos \sigma)] \quad [5.16]$$

Notând cu a_0 și A_0 coeficienți de influență ai unghiului de tăiere:

$$a_0 = \frac{1}{2} [e^\pi - e^\sigma (\sin \sigma - \cos \sigma)] \quad [5.17]$$

$$A_0 = \frac{1}{2} [e^\pi - e(2 + \sin \sigma + \cos \sigma)] \quad [5.18]$$

Obținem rezistența suplimentară în cazul muchiei tocite și respective rezistența totală la tăiere în general:

$$R_{iu} = 0,4 \cdot \sigma_c \cdot b \cdot (1 + 0,25 \cdot V) R_0 a_0 \quad [5.19]$$

$$R = 0,4 \cdot \sigma_c \cdot (1 + 0,25 \cdot V) (h \cdot e^\sigma + R_0 \cdot A_0) \quad [5.20]$$

5.4 Măsurători asupra rezistențelor aparente în procesul de frezare.

În vederea determinării practice a rezistențelor de frezare asupra mixturilor asfaltice în cadrul catedrei de tehnologie mecanică și organe de mașini din U.T.C București (conf.dr.ing.M.Ștefănescu) a fost construit un stand de măsurători folosind o mașina de frezat tip FU-32 care realizează trepte de turație între 30 și 1500 rot/min și viteze de avans între 19-950 mm/min. Componentele standului sunt:

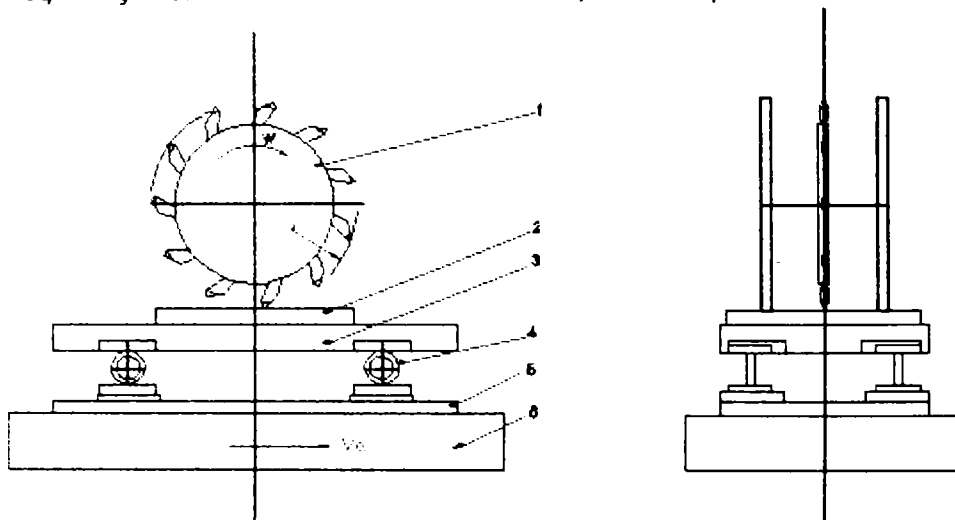


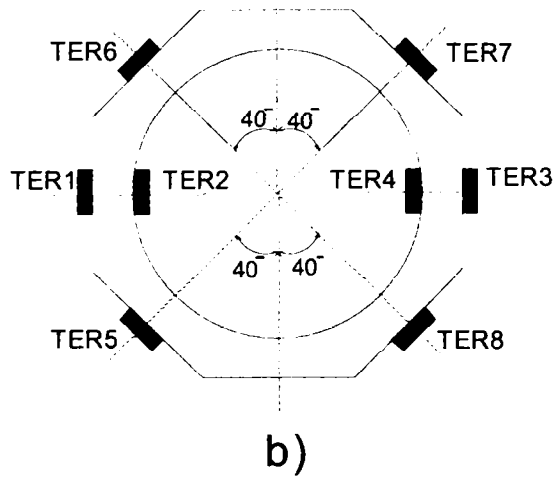
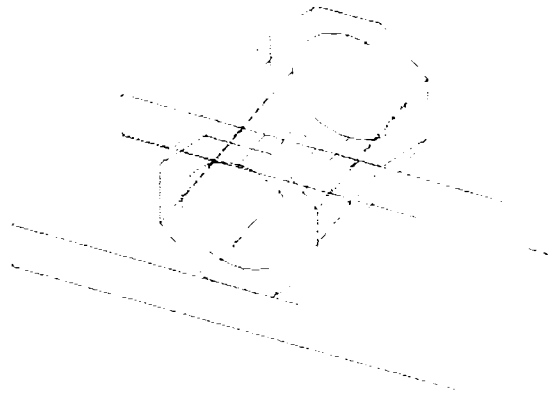
Fig.5.4

- 1.-organul de lucru
- 2.-presa de mixtură asfaltică
- 3.-dispozitivul de măsurare
- 4.-captorul tensometric
- 5.-placa inferioară
- 6.-mașina de frezat

Organul de frezare este construit dintr-un suport montat pe arborele rezultat al mașinii de frezat pe care sunt montați doi dinți decalajați la 180° echilibrând astfel freza. Diametrul la vârful dinților este $D=280$ mm, cât permite diametrul maxim al mașinii de frezat.

S-au efectuat încercări pe două tipuri de mixturi BA8 și BA16, cu o densitate măsurată de 2230 kg/m^3 corespunzătoare normelor în vigoare.

Dispozitivul de măsurare este prevăzut cu patru captoare tensometrice alcătuite din inele elastice octogonale la exterior și circulare în interior.



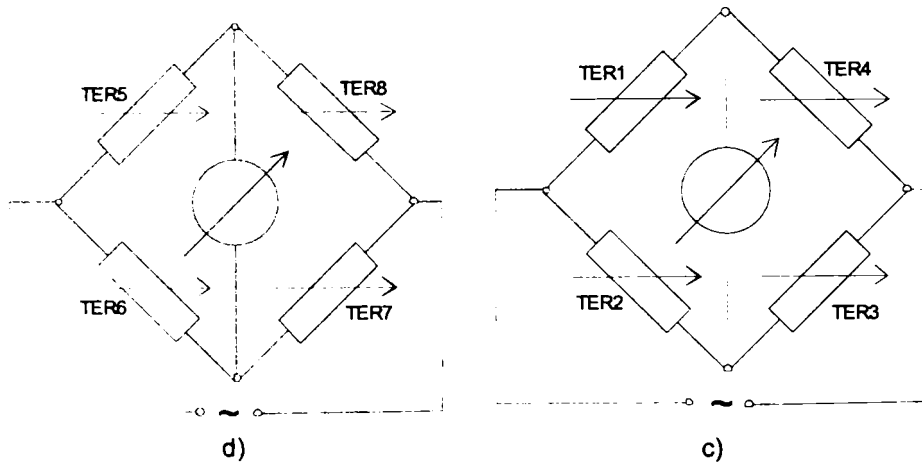


Fig.5.5

Inelele elastice s-au executat din oțel 40 Cr 10 cu dimensiunile $R=12$ mm, $b=16$ mm, $h=8$ mm, pe partea interioară și exterioră a inelului s-au lipit traductoare electrezistive (TER) care transformă variația deformațiilor mecanice a inelului în variația rezistenței electrice a circuitului.

Pentru ca semnalele de ieșire a celor două punți de măsură să nu se influențeze între ele, TER sau lipit ca în fig. 5.5 b, deoarece în secțiunile respective momentele încovoietoare ce iau naștere în urma acțiunii celor două forțe se anulează unul câte unul : pe diametrul orizontal momentul dat de F_H iar pe diametrul vertical momentul dat de forța F_V .

Semnalele de ieșire a punților complete ca în fig. 5.5 și d) sunt proporționale cu forțele F_V și F_H .

$$F_V = 0,299 \cdot c \cdot \frac{b \cdot h^2}{R} E \varepsilon_v^* \quad [5.21]$$

$$F_H = 0,108 \cdot c \cdot \frac{b \cdot h^2}{R} E \varepsilon_H^* \quad [5.22]$$

$$\text{Unde: } c = \frac{K_{AP}}{K_{TER}} \quad [5.23]$$

K_{AP} = constanta punții tensometrice

K_{TER} = constanta TER

ε_v^* , ε_H^* = indicațiile punții tensometrice

Pentru captorul utilizat s-au folosit TER produse în Cheia având coeficientul de tensosensibilitate $K=2$ și rezistența electrică aproximativ 120Ω .

Pentru efectuarea măsurătorilor în regim dinamic s-a folosit lanțul de măsurare format din :

- dispozitiv de măsurare
- tensiometru electric cu 6 canale tip N2302 produs în România.
- oscilograf magnetic cu 12 canale tip 12LS-1 (Germania)

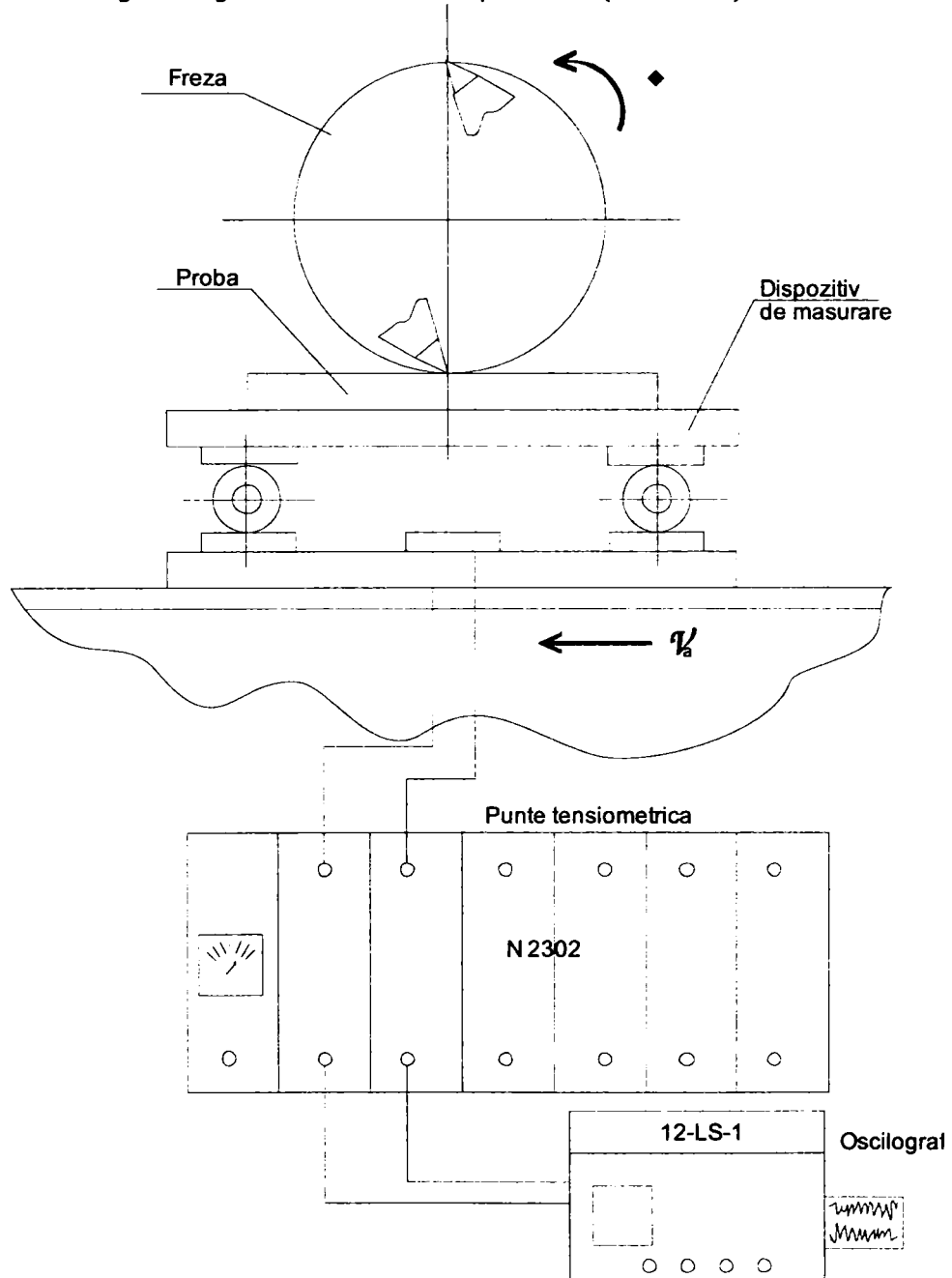


Fig. 5.6

Schema bloc a lanțului de măsurare cu captor electrotensometric folosind amplificator de frecvență purtătoare este prezentată în fig.5.7

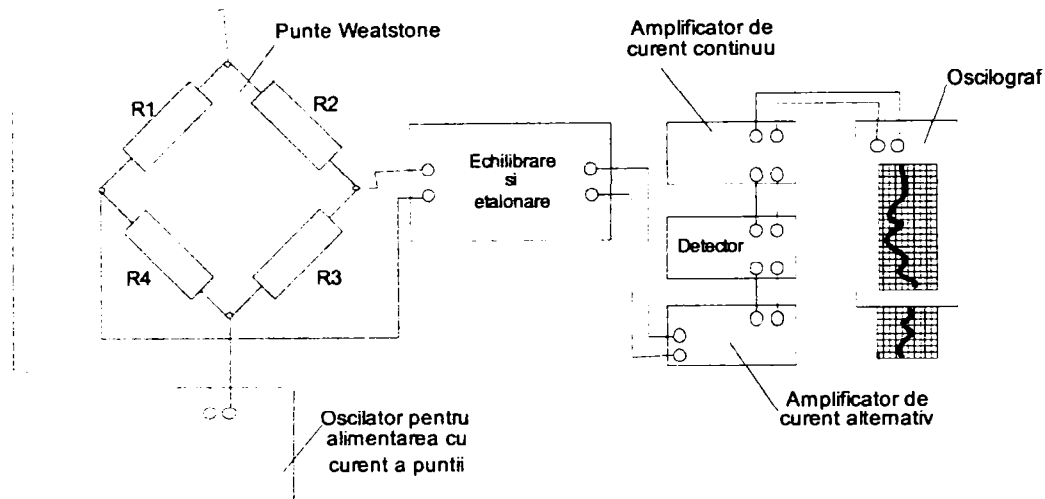


Fig. 5.7

Etapele necesare măsurătorilor au fost:

- verificarea notării și conectării curente a traductoarelor
- alegerea scalelor potrivite în funcție de valorile estimate a se măsura
- etalonarea punților tensometrice
- etalonarea semnalelor de ieșire
- alegerea vitezei de înregistrare și a bazei de timp
- așezarea spoturilor de pe oscilograf pe lățimea hârtiei de înregistrare
- efectuarea înregistrării în regim dinamic

Măsurătorile efectuate au avut ca scop determinarea rezistenței la frezarea mixturilor asfaltice pentru diverse regiuni de frezare și tipuri de mixturi.

S-au măsurat rezistențele verticale și orizontale prin prelucrarea lor în conformitate cu etalonările făcute, valorile lor fiind trecute în tabelele 5.1-5.5 atât pentru frezarea ascendentă cât și descendentă.

Valoarea rezistenței de dislocare R [N]·10 s-a calculat folosind expresiile 5.9 și 5.10

Tabelul 5.1

| Nr. crt | | | UM | s [mm] | h 10[mm] | | |
|---------|----------------|-------|----|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | R _v [N]·10 | R _H [N]·10 | R _p [N]·10 |
| 1. | v _p | 1,1 | m | 6 | 9 | 72 | 70 |
| | v _a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 70 | - | | | | |
| 2. | v _p | 2,2 | m | 3 | 8 | 46 | 46 |
| | v _a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 140 | - | | | | |
| 3. | v _p | 4,4 | m | 1,5 | 7 | 49 | 24 |
| | v _a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 280 | - | | | | |
| 4. | v _p | 1,1 | m | 4 | 10 | 75 | 74 |
| | v _a | 0,01 | s | | | | |
| | λ | 110 | - | | | | |
| 5. | v _p | 2,2 | m | 2 | 7 | 43 | 42 |
| | v _a | 0,01 | s | | | | |
| | λ | 220 | - | | | | |
| 6. | v _p | 2,8 | m | 2 | 6 | 35 | 35 |
| | v _a | 0,012 | s | | | | |
| | λ | 224 | - | | | | |

Tabelul 5.2

| Nr. crt | | | UM | s [mm] | h 20[mm] | | |
|---------|----------------|-------|----|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | | | R _v [N] · 10 | R _H [N] · 10 | R _p [N] · 10 |
| 1. | v _p | 1,1 | m | 6 | 34 | 148 | 144 |
| | v _a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 70 | - | | | | |
| 2. | v _p | 2,2 | m | 3 | 8 | 78 | 72 |
| | v _a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 140 | - | | | | |
| 3. | v _p | 4,4 | m | 1,5 | 4 | 44 | 40 |
| | v _a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 280 | - | | | | |
| 4. | v _p | 1,1 | m | 4 | 13 | 132 | 120 |
| | v _a | 0,01 | s | | | | |
| | λ | 110 | - | | | | |
| 5. | v _p | 2,2 | m | 2 | 5 | 58 | 53 |
| | v _a | 0,01 | s | | | | |
| | λ | 220 | - | | | | |
| 6. | v _p | 2,8 | m | 2 | 7 | 64 | 59 |
| | v _a | 0,012 | s | | | | |
| | λ | 224 | - | | | | |

Tabelul 5.3

| Nr. crt | | | UM | s [mm] | h 30[mm] | | |
|---------|-----------|-------|----|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | $R_v[N] \cdot 10$ | $R_H[N] \cdot 10$ | $R_p[N] \cdot 10$ |
| 1. | v_p | 1,1 | m | 6 | 126 | 184 | 222 |
| | v_a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 70 | - | | | | |
| 2. | v_p | 2,2 | m | 3 | 103 | 113 | 152 |
| | v_a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 140 | - | | | | |
| 3. | v_p | 4,4 | m | 1,5 | 46 | 104 | 111 |
| | v_a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 280 | - | | | | |
| 4. | v_p | 1,1 | m | 4 | 195 | 361 | 404 |
| | v_a | 0,01 | s | | | | |
| | λ | 110 | - | | | | |
| 5. | v_p | 2,2 | m | 2 | 55 | 126 | 133 |
| | v_a | 0,01 | s | | | | |
| | λ | 220 | - | | | | |
| 6. | v_p | 2,8 | m | 2 | 63 | 65 | 89 |
| | v_a | 0,012 | s | | | | |
| | λ | 224 | - | | | | |

Tabelul 5.4

| Nr. crt | | | UM | s [mm] | h 20[mm] | | |
|---------|-----------|-------|----|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | $R_v[N] \cdot 10$ | $R_H[N] \cdot 10$ | $R_p[N] \cdot 10$ |
| 1. | v_p | 1,4 | m | 5 | 18 | 109 | 102 |
| | v_a | 0,016 | s | | | | |
| | λ | 88 | - | | | | |
| 2. | v_p | 0,44 | m | 5 | 100 | 143 | 174 |
| | v_a | 0,005 | s | | | | |
| | λ | 88 | - | | | | |
| 3. | v_p | 0,7 | m | 5 | 68 | 166 | 177 |
| | v_a | 0,008 | s | | | | |
| | λ | 88 | - | | | | |
| 4. | v_p | 1,1 | m | 3,2 | 11 | 74 | 69 |
| | v_a | 0,008 | s | | | | |
| | λ | 138 | - | | | | |

Tabel 5.5

| Nr. crt | | | UM | s [mm] | h 20[mm] | | |
|---------|----------------|-------|----|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | | | R _v [N] · 10 | R _H [N] · 10 | R _p [N] · 10 |
| 1. | v _p | 0,44 | m | 5 | 30 | 81 | 84 |
| | v _a | 0,005 | s | | | | |
| | λ | 88 | - | | | | |
| 2. | v _p | 0,7 | m | 5 | 37 | 71 | 80 |
| | v _a | 0,008 | s | | | | |
| | λ | 88 | - | | | | |
| 3. | v _p | 1,4 | m | 5 | 19 | 49 | 51 |
| | v _a | 0,016 | S | | | | |
| | λ | 88 | - | | | | |
| 4. | v _p | 1,1 | m | 3,2 | 30 | 59 | 66 |
| | v _a | 0,008 | s | | | | |
| | λ | 138 | - | | | | |

Unde: v_p = viteza periferică tamburului
v_a = viteza de avans a tamburului

$$\lambda = \frac{v_p}{v_a} = \text{indicele cinematic}$$

S = avansul [mm]

5.5. Concluzii

Determinarea puterii necesare și a rezistențelor ce apar, necesita o analiză complexă, care are la baza mai multe elemente și anume:

- cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice
- cunoașterea parametrilor constructivi ai organului de frezare
- cunoașterea parametrilor regimului de frezare și a modului cum se executa aceasta.

Concret trebuie cunoscută rezistența la compresiune a mixturilor, diametrul tamburului, numărul de dinți, suprafața dizlocată de un dinte, avansul pe dinți, viteza periferică și de avans a tamburului precum și adâncimea de frezare.

CAPITOLUL 6

ANALIZA ELEMENTULUI DE AȘCHIERE. DINTELE DE FREZARE.

6.1. Forma și dimensiunile dinților de frezare

Conform celor prezentate în capitolul 3.1.2 elementul activ al mașinii de frezat este dintelul de frezare.

În funcție de natura materialului frezat dinții pot avea diverse forme și dimensiuni.

Pentru frezarea amestecurilor asfaltice dintelul de frezare are formă cilindrică dimensiunile variind în funcție de tipul amestecului, de regimul de frezare la cald, sau la rece, adâncimea de frezare, viteză de avans.

Dintelul de frezare are următoarele părți constructive :

-vârful dintelui, corpul dintelui și elementul de fixare.

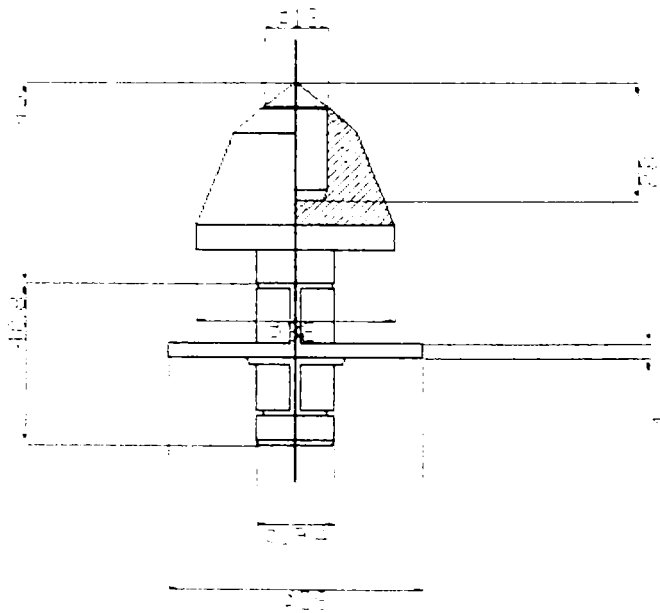


Fig 6.1

Corpul dintelui se fabrică din oțel aliat. Studiind dinții de frezare produși de firme specializate ca WIRTGEN, BOART LONGYEAR, VIELHABEN, KENANMETAL. Se observă o asemănare a formelor de dinți folosiți.

Corpul dinților se realizează prin turnare sau forjare la cald și prelucrări mecanice necesare obținerii formei și dimensiunilor cerute.

În funcție de tehnologia folosită la frezare, de natura materialului frezat și de caracteristicile mașinilor de frezat dinții de frezare recomandați de firmele specializate au forma din figurile alăturate.

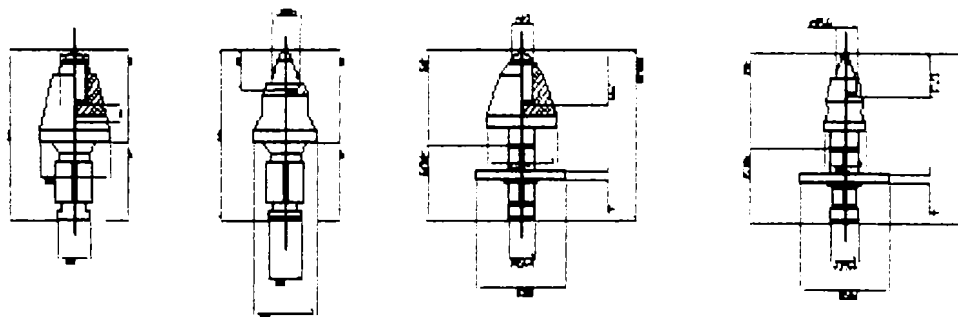


Fig.6.2

Cuțitele pot avea partea activă (vârful) subțire și ascuțit sau cu vârful dur și gros în formă de clopot și cu suprafața de așezare mare.

Există și forme mixte în funcție de necesitățile din exploatare.

Cuțitele cu vârf subțire și corpul subțire determină o pătrundere (rezistența de penetrare) mai ușoară și se recomandă pentru materialele dure. Având o masă mai mică aceste cuțite se uzează mai repede.

Cuțitele cu vârful în forma de clopot și corpul mai gros prezintă o rezistență la penetrare mai mare dar și o uzură mai mică având masa mai mare.

Vârful dintelui se realizează din carburi metalice și poate avea diverse forme cilindrice cu vârful conic, sub formă de clopot, cilindrice cu vârful rotund sau poligonale.

Vârful cuțitului se brazează pe corpul cuțitului printr-o tehnologie adecvată.

Elementul de fixare este în general o bucsă elastică care intră în suportul superior al cuțitului permițând acestuia să se rotească în suport pentru a avea o uzură uniformă.

În unele cazuri cuțitul se montează în suport prin intermediul unui inel elastic care nu permite căderea lui din suport dar îi permite rotirea în suport.

6.2. Compoziția dintelui

Vom trata compoziția dintelui separat pe cele două părți componente care sunt supuse uzurii .

Corpul cuțitului

Corpul cuțitului se fabrică din oțel aliat cu caracteristicile din tab.6.1 și 6.2.

În tabelul 6.1 sunt prevăzute caracteristicile oțetului sunt cuțite folosite în mod curent iar în tabelul 6.2 cele realizate cu firma ECONET România.

Tabelul 6.1.

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr |
|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|
| Mo | | | | | | | |
| 1 | 97,6 | 0,254 | 0,114 | 0,666 | <0,0030 | 0,0031 | 1,11 |
| 0,0400 | | | | | | | |
| 2 | 97,6 | 0,247 | 0,110 | 0,670 | 0,0049 | 0,0044 | 1,12 |
| 0,0389 | | | | | | | |
| 3 | 97,6 | 0,258 | 0,114 | 0,683 | 0,0040 | 0,0040 | 1,10 |
| 0,0383 | | | | | | | |
| Media | 97,6 | 0,253 | 0,113 | 0,673 | 0,0035 | 0,0038 | 1,11 |
| 0,0391 | | | | | | | |
| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V |
| W | | | | | | | |
| 1 | 0,0293 | 0,0311 | 0,0050 | 0,0487 | 0,0028 | 0,0358 | 0,0043 |
| 0,0155 | | | | | | | |
| 2 | 0,0281 | 0,0281 | 0,0050 | 0,0472 | 0,0022 | 0,0347 | 0,0047 |
| 0,0198 | | | | | | | |
| 3 | 0,0241 | 0,0299 | 0,0052 | 0,0498 | 0,0029 | 0,0363 | 0,0052 |
| < 0,0150 | | | | | | | |
| Media | 0,0272 | 0,0297 | 0,0050 | 0,0486 | 0,0026 | 0,0356 | 0,0047 |
| < 0,0150 | | | | | | | |
| | Pb | Sn | B | Ca | Zr | As | |
| 1 | < 0,0250 | < 0,0020 | 0,0019 | > 0,0010 | < 0,0020 | < 0,0050 | |
| 2 | < 0,0250 | < 0,0020 | 0,0021 | 0,0008 | < 0,0020 | < 0,0050 | |
| 3 | < 0,0250 | < 0,0020 | 0,0019 | 0,0009 | < 0,0020 | < 0,0050 | |
| Media | < 0,0250 | < 0,0020 | 0,0020 | 0,0009 | < 0,0020 | < 0,0050 | |

Analizând compoziția corpului fabricat de diverse firme specializate s-a ales un oțel 40 Cr 10 care prezintă caracteristici apropiate.

Tabelul 6.2.

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr |
|----------|----------|--------|----------|--------|----------|----------|--------|
| Mo | | | | | | | |
| 1 | 95,9 | 0,352 | 0,549 | 0,812 | 0,0219 | 0,0178 | 1,67 |
| 0,0447 | | | | | | | |
| 2 | 96,0 | 0,339 | 0,555 | 0,816 | 0,0211 | 0,0159 | 1,65 |
| 0,0446 | | | | | | | |
| 3 | 96,0 | 0,338 | 0,550 | 0,814 | 0,0175 | 0,0131 | 1,65 |
| 0,0481 | | | | | | | |
| Media | 96,0 | 0,343 | 0,551 | 0,814 | 0,0202 | 0,0156 | 1,66 |
| 0,0458 | | | | | | | |
| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V |
| W | | | | | | | |
| 1 | 0,123 | 0,166 | 0,0113 | 0,0192 | 0,0027 | 0,0057 | 0,0105 |
| < 0,0150 | | | | | | | |
| 2 | 0,119 | 0,159 | 0,0117 | 0,0195 | 0,0032 | 0,0059 | 0,0108 |
| < 0,0150 | | | | | | | |
| 3 | 0,114 | 0,156 | 0,0113 | 0,0198 | 0,0022 | 0,0053 | 0,0108 |
| < 0,0150 | | | | | | | |
| Media | 0,118 | 0,160 | 0,0115 | 0,0195 | 0,0027 | 0,0057 | 0,0107 |
| < 0,0150 | | | | | | | |
| | Pb | Sn | B | Ca | Zr | As | |
| 1 | < 0,0250 | 0,0117 | < 0,0010 | 0,0004 | < 0,0020 | 0,0068 | |
| 2 | < 0,0250 | 0,0111 | < 0,0010 | 0,0005 | < 0,0020 | 0,0071 | |
| 3 | < 0,0250 | 0,0101 | < 0,0010 | 0,0002 | < 0,0020 | < 0,0050 | |
| Media | < 0,0250 | 0,0110 | < 0,0010 | 0,0004 | < 0,0020 | 0,0054 | |

Corpul cuțitului trebuie să fie tenace să reziste la solicitări repetate și să permită o adevărată ridicată la brazare a vârfului dintelui.

În procesul de frezare prin loviri repetate a suprafeței corpului de materialul de frezat apare o ecurisare a acestuia care local îi crește rezistența la uzură.

Vârful cuțitului (partea de atac) se fabrică din materiale dure sinterizate compuse din materiale metalice dure și un material liant, ceea ce le dă o duritate ridicată și o bună rezistență la uzură.

Diferitele clase de carburi metalice se realizează cu ajutorul unei combinații de carburi de wolfram cu diferite dimensiuni a granulelor (0,8-30 micrometri), din metale de legătură și aditiv (lianti) speciali de aliere.

Ca materialul de legătură se folosește pudră metalică de cobalt sau nichel (4-30%) fin granulată, iar ca aditivi speciali de aliere carburile de tantal, niobin sau titaniu.

După Bort Longyear caracteristicile materialelor sinterizate folosite pentru dinții de frezare sunt:

Tabelul 6.3

| Caracteristica | | U.M | Mărimea |
|-----------------------------------|---------|-----------------------------|-------------------------|
| Densitatea | | g/cm^3 | 13-15 |
| Saturația magnetică | | Gcm^3/g | 5-40(G=gaus) |
| Coeficientul de dilatație termică | | 10^{-5} K | 4,5-5,5 (între 0-800°C) |
| Coeficientul lui Poisson | | - | 0,21-0,25 |
| Duritatea | Rokwel | HRA | 85-93 |
| | Vickers | Kg/mm^2 | 800-1800 |
| Rezistența la încovoiere | | N/mm^2 | 1000-3500 |
| Rezistența la compresiune | | MPa | 2800-6000 |
| Modulul de elasticitate | | GPa | 350-700 |
| Reziliența la rupere | | $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ | 8-20 |

După aceeași firmă diagrama proprietăților mecanice a unui aliaj Wc-Co este următoarea :

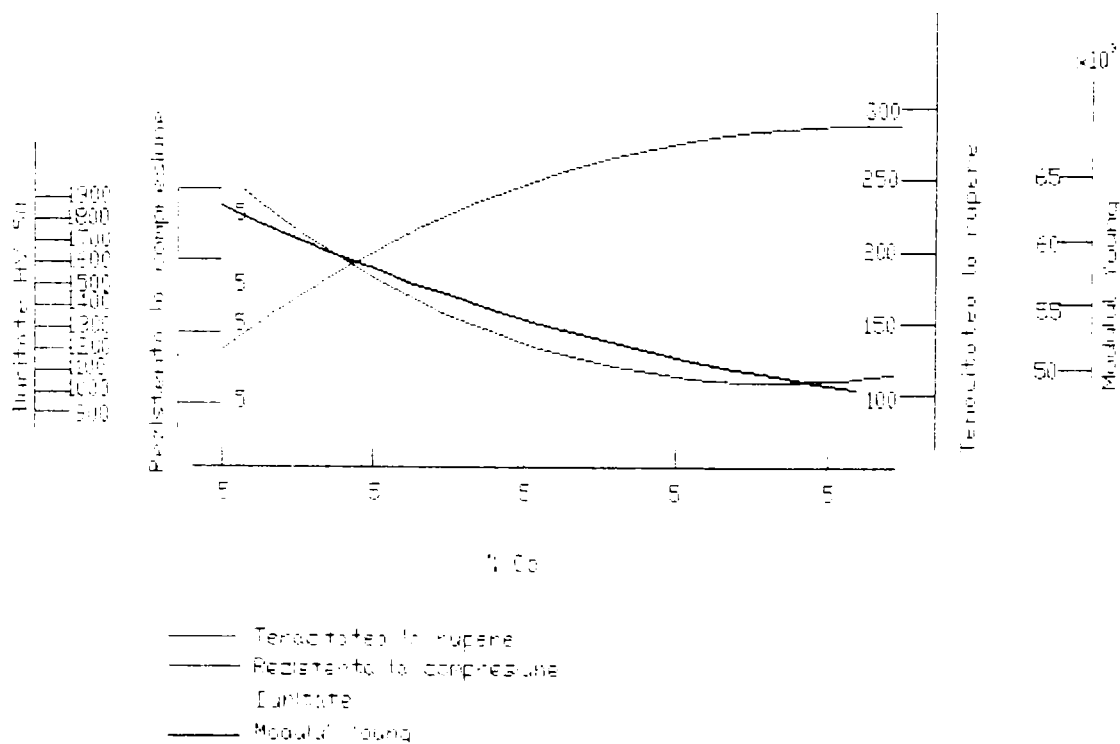


Fig.6.3

La realizarea carburilor de frezare de către firma ECONET S.R.L din România s-a ținut seama de aceste caracteristici folosind carburi metalice cu următoarele caracteristici:

Compoziție chimică : Wc-Ni-Co (90-1-9%)
 Duritate : 90,4 HRA
 Densitate : 14,82 g/cm³

Tehnologia de sinterizare a carburilor metalice este următoarea:

- dozarea pulberii
- pregătirea matriței metalice de presare
- alimentarea cubului de presare
- presarea pulberii la presiune cuprinsă între 145-150 [MPa]
- extragerea din matriță a semifabricatului
- tratamentul termic de eliminarea liantului tehnologic.

Vârfurile de carbură realizate au fost de două tipuri:

- cilindric
- clopot

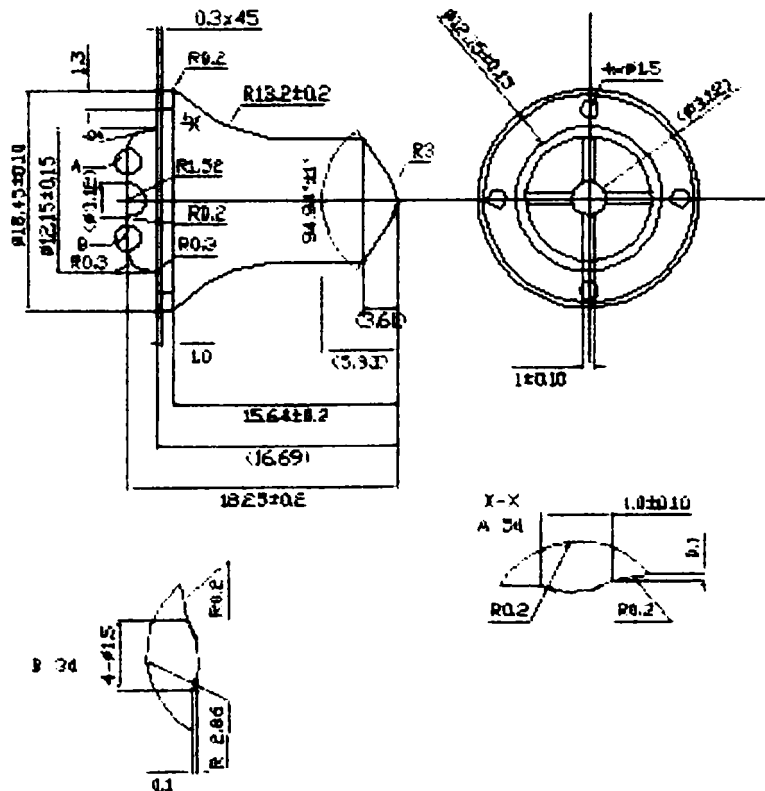


Fig.6.4 Vârf tip clopot

Vârful se lipeşte prin brazare pe corpul cuţitului ca material de brazare folosindu-se aliaje pe bază de argint.

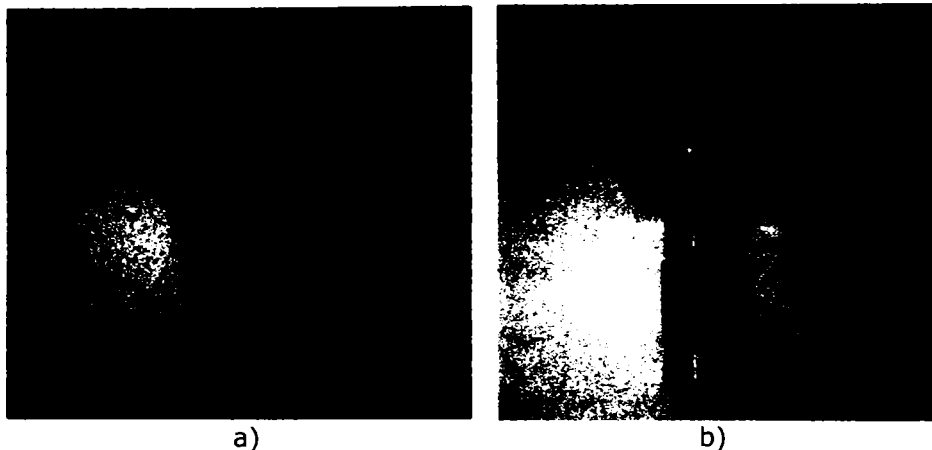


Fig 6.5 Cuţite realizate cu firma ECONET

- a) cu nevuri
- b) fără nervure

6.3.Uzura dintelui în procesul de frezare

Uzura dinţilor în procesul de frezare este un fenomen care se produce inevitabil şi influenţează durata lor de viaţă generând costuri diferite în funcţie de perioada de uzare.

În general se poate aprecia că în condiţii normale de exploatare cu un set de dinţi se pot freza aproximativ 800-1000 m² de mixtură asfaltică o grosime de 5-6 cm.

Perioada de lucru a dinţilor până la uzură este influenţată de caracteristicile fizico-mecanice ale stratului de frezat, de regimul de lucru, de folosirea adecvată a lichidului de răcire (apă) de modul de montare a dinţilor pe tambur.

În figura 6.6 se prezintă parametrii care conduc la uzura dinților.

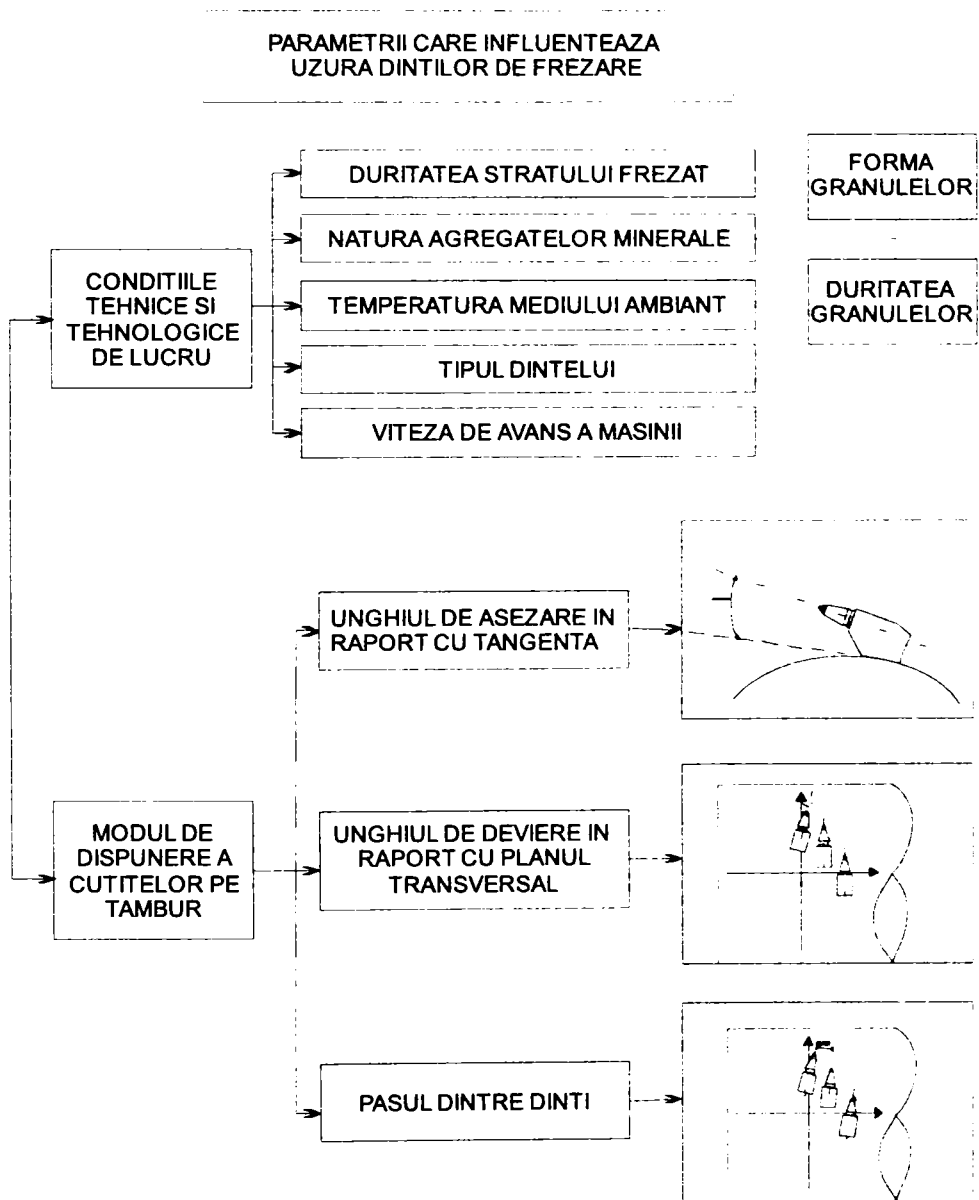


Fig. 6.6

În general uzurile se observă la vârful dinţilor şi mai puţin la corpul dinţilor.
În exploatare s-au constatat două moduri de generare a uzurilor şi anume:

6.3.1. Uzuri generate de defecţiunile de fabricare a dinţilor.

6.3.2. Uzuri datorate condiţiilor de exploatare

Primul caz este mai rar întâlnit în exploatarea curentă însă nu poate fi eliminat în totalitate.

6.3.1. Uzuri generate de defecţiunile de fabricare a dinţilor pot fi:

- uzura prematură a vârfului din carbură metalică generat de duritatea scăzută a acestuia prin nerespectarea de aliaje sau a tehnologiei de fabricare
- ruperea corpului cuţitului datorită folosirii de materiale necorespunzătoare sau a tratamentelor termice, acesta poate deveni casant.
- uzura neuniformă a cuţitului datorită blocării cuţitului în suport, fapt generat de nerespectarea cotelor de fabricare a cuţitului sau a suportului acestuia.
- dezlipirea vârfului cuţitului de pe corpul cuţitului, datorită nerespectării tehnologiei de brazare.

6.3.2. Uzura generată de condiţiile de exploatare:

Acest tip de uzură poate fi o uzură normală generată de condiţiile prezentate în tabelul 6.6 sau uzuri accelerate care sunt generate de nerespectarea acestor condiţii şi anume:

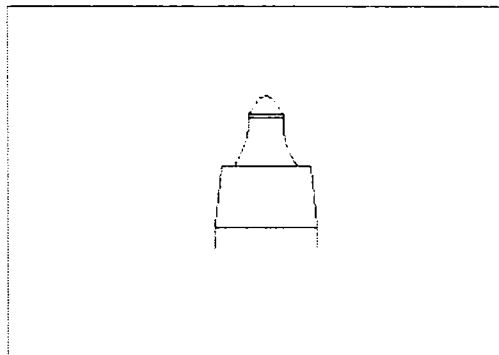
- folosirea de cuţite neadecvate pentru materialul frezat.
- lipsa lichidului (apei) de răcire şi înlăturare a prafului.
- nerespectarea parametrilor de aşchiere (viteză de lucru, avans, adâncimea de frezare)
- neîntreţinerea utilajului de frezare în special a tamburului de frezare.

Ca o menţiune specială precizăm că o uzură normală a dintelui este condiţionată de rotirea acestuia în locul suportului superior.

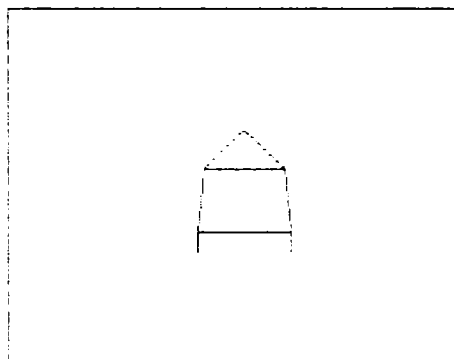
În capitolul 3 paragraful 3.1.3 s-a prezentat nodul de montare a dinţilor pe tambur precizând că se necesită un unghi β al cuţitului faţa de axa orizontală a tamburului. Acesta generează o rotire a cuţitului în suport asigurând o uzură uniformă a acestuia precum şi o autoaşchiere.

Pornind de la acest deziderat la un tip de cuţit creat cu S.C. ECONET S.R.L., s-au prevăzut patru nervuri care să asigure rotirea cuţitului prin creerea forţei suplimentare de rotire a cuţitului, la contactul dintre nervură şi suprafaţa materialului de frezat.

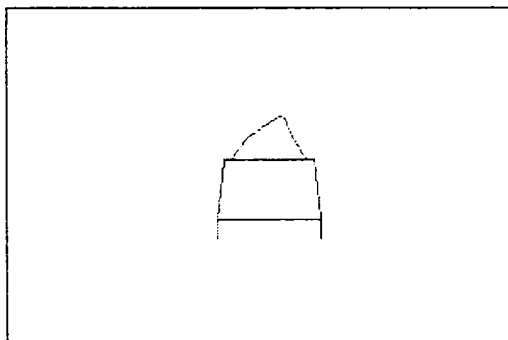
În fig. 6.7, se prezintă uzurile caracteristice ale vârfului cuţitelor de frezare.

Uzurile caracteristice ale vârfurilor cuțitelor de frezare.

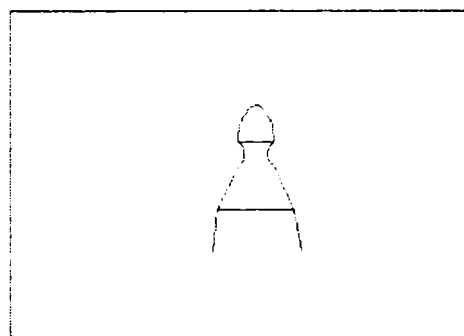
Cuțit de frezare nou



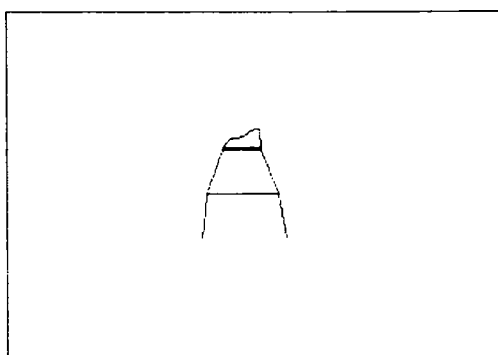
Cuțit de frezare uzat normal



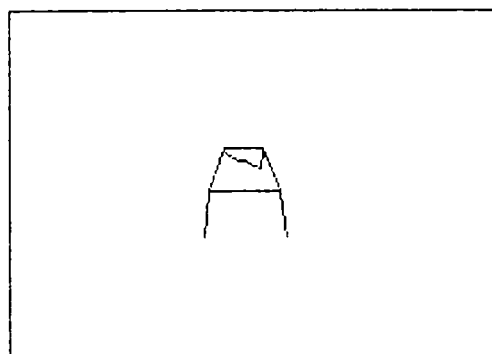
Cuțit de frezare uzat pe o parte



Cuțit de frezare cu uzură mare a corpului și vârf



Cuțit de frezare cu vârful rupt



Cuțit de frezare la care s-a dezlipit vârful din carbură

Fig.6.7

6.4 Analiza numerică a stării de tensiune și de deformare a organelor active la mașinile de frezare a îmbrăcăminților asfaltice

6.4.1 Generalități.

Calculule moderne de rezistența materialelor, chiar dacă se aplica în cazul problemelor clasice de teoria elasticității sau plasticității nu pot fi concepute fără utilizarea metodelor numerice de calcul. Această situație este o consecință directă a progreselor obținute în domeniul calculatoarelor electronice, atât în domeniul hardware cât și software.

Evoluția metodelor de calcul numeric executate pe calculatoarele electronice trebuie privite în strânsă concordanță cu următoarele direcții principale de cercetare:

- Analiza erorilor care este deosebit de importantă în problemele de algebră liniară, cum este de exemplu rezolvarea sistemelor algebrice liniare, calculul valorilor vectorilor proprii ai matricelor, rezolvarea ecuațiilor polinomiale etc.

- Normele matriceale utilizate în studiul calitativ al metodelor de calcul numeric.

- Metode de extrapolare foarte utile în integrarea numerică, probleme cu valori la limită și inițiale, în rezolvarea ecuațiilor diferențiale ordinare.

- Metode de interpolare care conduc la obținerea unei funcții polinomiale a cărui ordin este determinat de continuitatea pe intervalul considerat.

- Analiza funcțională utilizată la rezolvarea numerică a ecuațiilor cu derivate parțiale și la rezolvarea numerică a ecuațiilor diferențiale ordinare.

- Metoda elementului finit ca instrument de lucru generalizat în domeniul ingineriei structurilor de rezistență, transferului termic, curgerilor de fluide și studiul câmpurilor electromagnetice. Trebuie remarcat faptul că metoda elementului finit are o largă aplicabilitate în studiul calitativ al algoritmilor de calcul numeric.

Prin algoritm de calcul se înțelege un sistem de reguli care aplicat la o anumită clasă de probleme de același tip conduce la obținerea soluției problemei pornind de la condițiile inițiale ale clasei din care face parte cu ajutorul unor operații succesive, unic determinate. Rezultă concluzia că un algoritm trebuie să aibă un caracter de generalitate, de finitudine și unicitate.

Utilizarea calculatorului în rezolvarea unei probleme presupune parcurgerea următoarelor etape:

1. Enunțarea problemei și formularea datelor de intrare.

2. Elaborarea modelului de calcul care pornind de la un ansamblu coerent de ipoteze stabilește o schemă de calcul care descrie atât cantitativ cât și calitativ fenomenul.

3. Alegerea celei mai potrivite metode numerice de calcul. Alegerea metodei de calcul numeric începe cu elaborarea algoritmului. Dintre criteriile care stau la baza alegerii metodei numerice de calcul amintim: simplitatea, precizia, viteza de calcul.

4. Elaborarea schemei logice pentru descrierea algoritmului metodei numerice. Schema logică reprezintă de fapt o prezentare grafică a algoritmului de

calcul, prin punerea în evidență a succesiunii etapelor principale de calcul precum și deciziile logice necesare obținerii soluției.

5. Elaborarea programului de calcul. În această etapă algoritmul de calcul pus în evidență de schema logică se transcrie într-un limbaj de programare.

6. Verificarea corectitudinii rezultatelor se face de obicei aplicând metoda numerică elaborată pentru probleme simple a căror soluție analitică (considerată exactă) este cunoscută.

7. Prelucrarea datelor și interpretarea rezultatelor pentru problema studiată.

6.4.2. Considerații generale privind metodele numerice de calcul al stărilor de tensiune și deformație

Metodele elementelor finite, sau analiza cu elemente finite, se bazează pe conceptul construirii obiectelor complicate din obiecte mai simple, sau divizarea obiectelor complicate în obiecte mai simple pentru care se pot aplica scheme de calcul cunoscute. În multe situații, pentru rezolvarea unei probleme practice, matematica nu oferă procedee suficient de puternice pentru găsirea soluției exacte, iar, de multe ori, nici măcar a unei soluții aproximative. De aici ideea de bază a metodei elementului finit de a găsi soluția unei probleme complicate, prin divizarea acesteia în componente individuale sau *elemente* al căror comportament este pe deplin cunoscut.

În numeroase situații, un model adecvat este obținut folosind un număr finit de componente foarte bine definite, categorie în care se încadrează problemele *discrete*. În alte situații, subdivizarea este continuată la infinit iar problema poate fi definită folosind exprimarea matematică infinitezimală. Aceasta conduce la sisteme de ecuații diferențiale, care implică un număr infinit de elemente. Astfel de sisteme se numesc *continue*.

O dată cu dezvoltarea calculatoarelor, care au devenit tot mai performante, problemele discrete au devenit destul de ușor rezolvabile, chiar dacă numărul de elemente este foarte mare. Capacitatea finită a calculatoarelor face, însă, ca problemele continue să fie rezolvabile numai prin manipulare matematică. Tehnicile matematice existente pentru obținerea unor soluții exacte, de cele mai multe ori, limitează posibilitățile la soluții super simplificate. Pentru a preîntâmpina dificultatea de rezolvare a problemelor reale continue, numeroși oameni de știință au propus, de-a lungul timpului, diverse metode de discretizare. Toate aceste metode presupun aproximare, dar, din fericire, ele se apropie de limita soluției continue pe măsură ce numărul de variabile discrete crește.

Discretizarea problemelor continue a fost abordată în mod diferit de către matematicieni și ingineri. Matematicienii au dezvoltat tehnici generale aplicabile direct asupra sistemelor de ecuații diferențiale care guvernează problema, precum aproximarea diferențelor finite sau diverse proceduri cu reziduuri ponderate. Inginerii, pe de altă parte, de cele mai multe ori au abordat problema intuitiv, prin crearea unei analogii între elemente discrete reale și porțiuni finite ale unui domeniu continuu. Tocmai din această „analogie directă” a inginerilor s-a născut termenul de *element finit*. Primul care se pare că a folosit acest termen este R.W. Clough, care îl introduce într-o metodologie standard aplicabilă sistemelor discrete. Atât din punct de vedere conceptual, cât și din punct de vedere computațional, această abordare este de o importanță majoră. Conceptual acesta asigură obținerea unui nivel de

înţelegere îmbunătăţit, computaţional oferă o metodă unică pentru varietatea mare de probleme şi dezvoltarea unor proceduri computaţionale standard.

În analiza problemelor de natură discretă a fost dezvoltată, de-a lungul anilor, o metodologie standard. Inginerul constructor care ridică o casă, în primă instanţă, calculează relaţiile forţă-deplasare pentru fiecare element al structurii, apoi asamblează întregul pe baza unei proceduri foarte bine definite de stabilire a echilibrului local la nivelul fiecărui „nod” sau punct de conectare al structurii. Ecuaţiile care se obţin pot fi rezolvate pentru determinarea deplasărilor necunoscute. În mod similar, inginerul în electronică sau hidraulică, lucrând cu o reţea de componente electronice (rezistoare, condensatoare etc.) sau de conducte hidraulice, stabilesc, în prima fază, o relaţie între curenţii (fluxurile) şi nivelurile de potenţial ale elementelor individuale, apoi trec la asamblarea sistemului, asigurând continuitatea circulaţiei.

Toate analizele de acest gen urmează un şablon general, care este universal adaptabil sistemelor discrete, fiind, astfel, posibilă definirea unui *sistem discret standard*. Existenţa acestui şablon pentru rezolvarea sistemelor discrete standard conduce la prima definiţie a procesului cu elemente finite ca o metodă de aproximare pentru problemele continue astfel încât:

- continuitatea este divizată într-un număr finit de elemente, al căror comportament este specificat printr-un număr finit de parametri;
- soluţia sistemului complet, ca ansamblu al elementelor sale, urmăreşte cu precizie aceleaşi reguli precum cele aplicate problemelor discrete standard.

Metodele analitice de calcul sunt aplicabile la un număr restrâns de clase de probleme particulare. Limitarea este impusă de geometria structurii care se studiază şi de configuraţia sistemului de sarcini.

Metodele aproximative de calcul sunt utilizate pentru soluţionarea unor probleme mai complicate, caz în care soluţia exactă este imposibil de găsit. Din păcate, din această categorie fac parte marea majoritate a problemelor practice de calcul a structurilor de rezistenţă. Pentru ca metoda aproximativă de calcul să fie acceptabilă, trebuie să permită determinarea soluţiei problemei cu o precizie suficientă, satisfăcătoare pentru problema concretă care se rezolvă, ţinând cont de scopul practic căreia îi este determinată.

Pentru metodele aproximative de calcul s-au dezvoltat două direcţii principale:

- se scriu ecuaţiile care descriu problema dată iar rezolvarea acestora se face aproximativ prin următoarele metode:
 - se neglijează unii termeni cu pondere secundară, obţinându-se, în acest mod, ecuaţii simplificate care se pot rezolva analitic;
 - se aplică metode numerice pentru integrarea ecuaţiilor diferenţiale, sau se aplică metode speciale, precum metoda diferenţelor finite, metoda relaxării, utilizarea unor serii de funcţii etc.
- se caută o rezolvare exactă a ecuaţiilor obţinute pentru un model aproximativ de calcul, elaborat pe baza unor ipoteze simplificatoare, privind o

anumită configurație considerată cea mai probabilă pentru problema dată și care satisface condițiile pe contur. Ipotezele privind cea mai probabilă configurație a deplasărilor sunt de două categorii:

- ipoteze globale, care se referă la modul în care se comportă o anumite entitate geometrică (dreaptă sau plan) din corpul sau structura studiată: ipoteza secțiunilor plane și normale a lui Bernoulli, ipoteza dreptei normale a lui Kirchoff, ipoteza nedeformabilității conturului secțiunii sau ipoteza privind deformarea suprafeței neutre a barelor sau a plăcilor;
- ipoteze locale, care constau în admiterea unei configurații a deplasărilor pentru elemente de formă convenabil alese și de dimensiuni mici, dar finite, în care s-a descompus corpul sau structura care se studiază. Pe acest fundament s-a dezvoltat metoda elementelor finite, care a căpătat în ultima vreme un înalt grad de generalitate, aplicându-se cu succes în toate domeniile ingineriei.

Metoda elementului finit a apărut ca o consecință a necesității de a calcula structuri de rezistență complexe pentru care metodele de calcul analitice nu sunt operabile. Ideea de bază este aceea că, dacă structura se împarte în mai multe părți numite *elemente finite*, pentru fiecare dintre acestea se pot aplica teorii de calcul corespunzătoare schematizării adoptate (teoria de bară, placă sau masiv). Împărțirea întregului în părți de dimensiuni mai mici, operație denumită *discretizare*, va avea drept efect obținerea de forme simple pentru elementele finite componente ale structurii. Modelul de calcul utilizat în analiza cu elemente finite este un model aproximativ, obținut prin asamblarea elementelor finite componente, ținând cont de geometria structurii. Conectarea elementelor finite se realizează numai în anumite puncte, numite puncte nodale sau noduri. Nodurile reprezintă punctele de intersecție ale liniilor de contur, rectilinii sau curbe, ale elementelor finite. Elementele finite pot fi unidimensionale, bidimensionale sau tridimensionale, în funcție de geometria structurii pe care o modelează.

Nodurile sunt plasate, de obicei, pe contururile elementului, în locurile în care elementele adiacente sunt conectate între ele. Deoarece variația reală a variabilei de câmp (precum deplasarea, tensiunea, temperatura, presiunea sau viteza) nu este cunoscută în interiorul structurii, se admite că variația variabilei de câmp pe domeniu unui element finit poate fi aproximată printr-o funcție simplă. Aceste funcții de aproximare, numite modele de interpolare, sunt definite în funcție de valorile variabilelor de câmp în noduri.

Caracterul aproximativ al metodei elementului finit rezultă ca urmare a faptului că geometria reală este întotdeauna înlocuită cu o rețea de elemente finite care urmărește forma reală, dar nu o poate reda cu exactitate (redarea totală este posibilă numai pentru anumite geometrii particulare) datorită numărului finit de elemente. De asemenea, mărimile necunoscute ale problemei sunt calculate numai în nodurile structurii. Drept consecință, precizia de calcul crește o dată cu creșterea numărului de elemente finite. Continuitatea rezultatelor obținute depinde de caracterul de continuitate pe care funcțiile de aproximare trebuie să îl asigure la nivelul zonelor interelemente.

Formularea metodei elementului finit se bazează pe exprimarea condițiilor de extrem pe care unele mărimi, care intervin în fenomenul studiat, trebuie să le

satisfacă. Metoda elementelor finite este o metodă cu un vast domeniu de aplicabilitate. Caracterul de generalitate al metodei îi conferă avantajul de a se adapta, cu modificări simple, celor mai complexe și variate probleme precum: probleme liniare și neliniare, solicitări statice și dinamice, structuri de bare, plăci plane sau curbe și masive, solicitări de contact, probleme de mecanica ruperii. Toate acestea sunt grupate în trei tipuri de probleme cu soluții pe contur:

- Probleme de echilibru (sau staționare) sau probleme independente de timp. În astfel de probleme trebuie determinată deplasarea în starea de echilibru sau distribuția tensiunii (probleme de mecanica solidului), distribuția temperaturii sau a fluxului de căldură (probleme de transfer a căldurii) și distribuția presiunii sau a vitezei (probleme de mecanica fluidului);
- Probleme de valori proprii. În cadrul acestor probleme, timpul nu apare în mod explicit și pot fi considerate extensii ale problemelor de echilibru. În plus, în problemele de valori proprii trebuie determinate valori critice ale unor anumiți parametri care intervin în formulările acestora. Astfel, trebuie găsite frecvențele naturale (probleme de mecanica solidului), caracteristicile de rezonanță (probleme de circuit electric), trebuie realizat studiul regimurilor curgerii laminare (probleme de mecanica fluidului)
- Probleme de propagare sau de tranziție. Aceste probleme sunt dependente de timp și apar, spre exemplu, ori de câte ori este necesară găsirea răspunsului corpului care este supus la sarcini variabile în timp în mecanica solidului deformabil, sau în cazul încălzirii sau răcirii bruște în transferul de căldură.

6.4.3. Prezentare generală a metodei elementelor finite

Deși metoda elementelor finite a fost utilizată pe scară largă în domeniul mecanicii structurale, ea a fost aplicată cu succes și pentru rezolvarea altor tipuri de probleme de inginerie, în domenii precum conductibilitatea termică, dinamica fluidelor, curgerile de infiltrație și câmpurile electromagnetice. Aplicabilitatea generală a metodei a făcut ca ea să fie folosită pentru soluția unor valori de contur complicate și pentru alte tipuri de probleme. Acest lucru poate fi observat din similitudinile puternice existente între diferitele tipuri de probleme tehnice. Pentru a folosi metoda elementului finit în rezolvarea unor probleme, trebuie parcurse câteva etape, prezentate în cele ce urmează.

A) Studiul structurii

Acesta trebuie realizat pentru corecta determinare a modelului de calcul și a elementelor finite adecvate (în concordanță cu precizia și calitatea rezultatelor urmărite), care să modeleze cât mai fidel starea reală de tensiune și deformație.

B) Discretizarea structurii

Aceasta trebuie realizată astfel încât, în zonele de interes în care se dorește un calcul cât mai exact, dimensiunea elementelor finite să fie cât mai mici. Structura discretizată poate să conțină atât zone cu elemente finite mici, cât și zone cu elemente finite mari ca dimensiune. Trecerea dintre cele două tipuri de zone trebuie, întotdeauna, să se facă prin intermediul unor elemente de trecere progresive, pentru a fi eliminate distorsiunile care pot să apară la treceri bruște (Fig. 6.4.3.1).

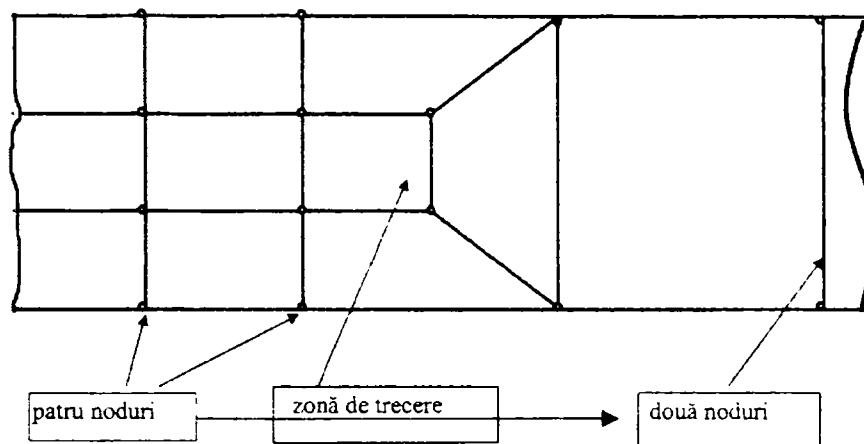


Fig. 6.4.3.1 Discretizarea unei structuri

Un pas foarte important în cadrul alegerii modului de discretizare constă în verificarea elementelor finite pentru a nu fi distorsionate. În acest sens, specialiștii recomandă ca raportul dintre lungimile laturilor să fie apropiat de unu, iar în cazul elementelor finite de tip patrulater sau hexaedru unghiurile dintre laturi să aibă o valoare cât mai apropiată de 90°. Distorsiunile care, dintr-un anumit motiv, au apărut în geometria elementelor finite pot induce distorsiuni severe ale rezultatelor obținute.

C) Studiul elementelor finite

Acesta este necesar pentru stabilirea ecuațiilor elementelor finite (denumite *ecuații elementale*), care descriu comportarea mediului în cuprinsul unui element. În aceste ecuații, necunoscuta este reprezentată de gradele de libertate impuse tipului de element utilizat și sunt determinate dependent de categoria din care face parte problema.

Metoda directă este simplă, intuitivă și ușor de aplicat, dar poate fi utilizată doar la calculul structurilor alcătuite din bare. În analiza cu elemente finite a problemelor mecanice și termice sunt utilizate *metodele variaționale*, precum principiul lucrului mecanic virtual și teorema minimului energiei interne de deformare. În cazurile în care metodele variaționale nu pot fi aplicate, se folosește *metoda reziduurilor*. Aceasta permite o abordare unitară a problemelor liniare și neliniare, de propagare și de valori proprii. Problemele specifice mecanicii mediilor continue în domeniul liniar și neliniar, ale câmpurilor electromagnetice, ale câmpurilor termice sunt rezolvate cu *formularea pe baza bilanțului energetic*.

D) Transformarea matricelor de rigiditate

Această transformare este necesară pentru transferul elementelor din sistemul de coordonate local în sistemul de coordonate global al structurii (Fig. 6.4.3.2).

E) Asamblarea ecuațiilor elementale

Această etapă presupune asamblarea ecuațiilor elementare în sistemul de ecuații atașat structurii (asamblarea elementelor finite). Se impune condiția ca funcțiile necunoscute ale problemei să aibă aceleași valori în nodurile comune. Se realizează,

de fapt, pe de o parte, asamblarea matricelor de rigiditate $[K_e]$ ale elementelor finite în matricea de rigiditate $[K_g]$ a structurii și, pe de altă parte, asamblarea vectorilor forțelor nodale generalizate $\{P_e\}$ în vectorul forțelor nodale generalizate $\{P_g\}$ pentru întreaga structură, obținându-se un sistem de ecuații de forma:

$$\{P_g\} = [K_g] \cdot \{U_g\} \quad [6.4.3.1]$$

unde U reprezintă vectorul funcțiilor necunoscute pentru întreaga structură.

Pentru a rezolva problema, se consideră condițiile de contur. Cum anumite elemente sunt cunoscute (deplasări, forțe din noduri etc.) numărul necunoscutelor problemei se va reduce semnificativ, rezultând sistemul redus:

$$\{P_r\} = [K_r] \cdot \{U_r\} \quad [6.4.3.2]$$

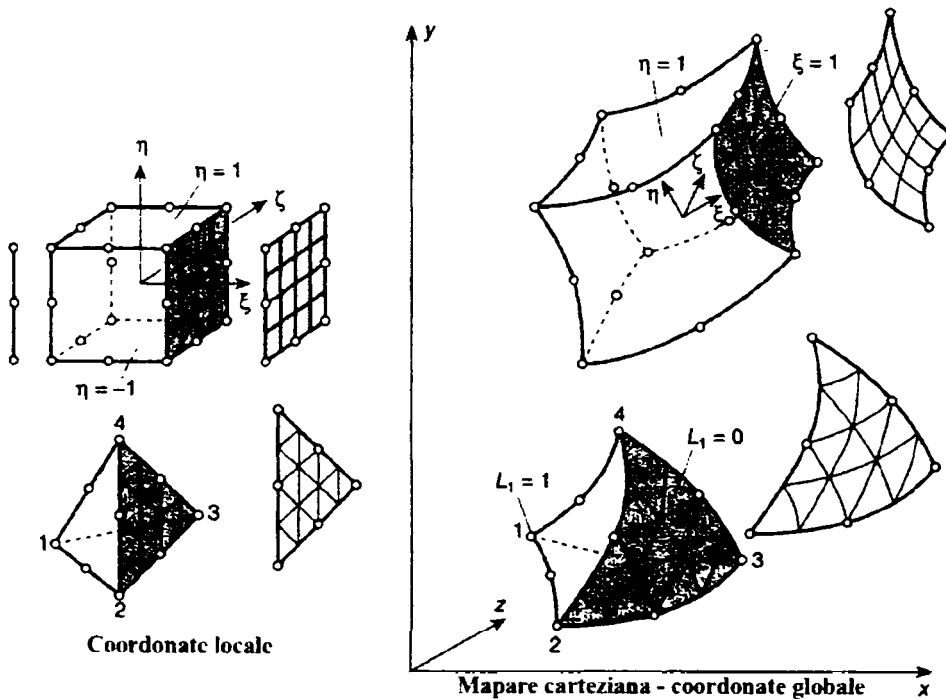


Fig. 6.4.3.2 Transformarea matricelor de rigiditate

F) Rezolvarea sistemului de ecuații

După obținerea sistemului de ecuații redus, acesta se rezolvă prin procedee numerice cunoscute (metoda Gauss, metoda iterativă Jacobi, metoda Gauss-Siedel și metoda relaxării). Se determină, astfel, valorile gradelor de libertate din noduri, reprezentând necunoscutele principale ale sistemului.

G) Calculul necunoscutelor secundare

După determinarea necunoscutelor principale se trece la aflarea necunoscutelor secundare, acestea fiind, pentru structura de rezistență, deformațiile specifice ϵ , γ și componentele σ , τ ale tensorului de tensiune.

6.4.4. Algoritmul metodelor elementului finit în problemele de analiză a stării de tensiune și deformație

Formularea problemelor de analiză a stării de tensiune și deformație se poate face în deplasări (cea mai utilizată), în eforturi sau mixtură. Pentru exemplificare, se consideră o bară dreaptă, de secțiune variabilă, încărcată cu sarcini axiale $q(x)$, repartizate de-a lungul axei geometrice, conform Fig. 6.4.4.1. De asemenea, se admite ipoteza că singurele deplasări diferite de zero sunt deplasările $u(x)$ de-a lungul axei x a barei. Pentru aplicarea metodei elementului finit, bara trebuie împărțită în n elemente finite de tip bară sau monoaxiale unite prin $n+1$ noduri. Drept necunoscute ale problemei se consideră deplasările u și derivatele sale din nodurile $1, 2, 3, \dots, n+1$, de abscise x_1, x_2, \dots, x_n .

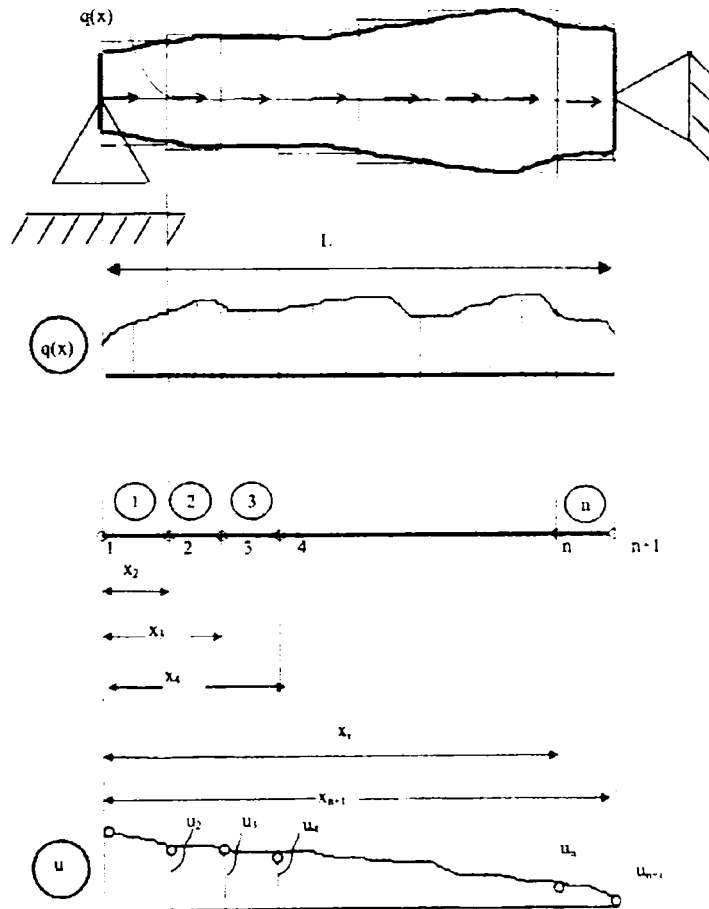


Fig. 6.4.4.1 Bară dreaptă încărcată cu sarcini axiale

În primă fază se consideră că se cunosc atât deplasările u din noduri, cât și derivatele acestora și se dorește calcularea aceluiași mărimi în oricare punct aparținând domeniului fiecărui element finit în parte, $x \in (x_i, x_{i+1})$ unde $i = 1, 2, \dots, n+1$. În acest scop, se utilizează interpolarea cu polinoame de gradul unu.

Se consideră ecuația dreptei de interpolare I (Fig. 6.4.4.2):

$$u_f(x) = c_1 + c_2x \quad [6.4.4.2]$$

Unde c_1 și c_2 se determină din condițiile:

$$x = x_i \Rightarrow u_f(x_i) = u_i$$

$$x = x_{i+1} \Rightarrow u_f(x_{i+1}) = u_{i+1} \quad [6.4.4.2']$$

Se obține sistemul de ecuații:

$$u_i = c_1 + c_2x_i \quad [6.4.4.3]$$

$$u_{i+1} = c_1 + c_2x_{i+1}$$

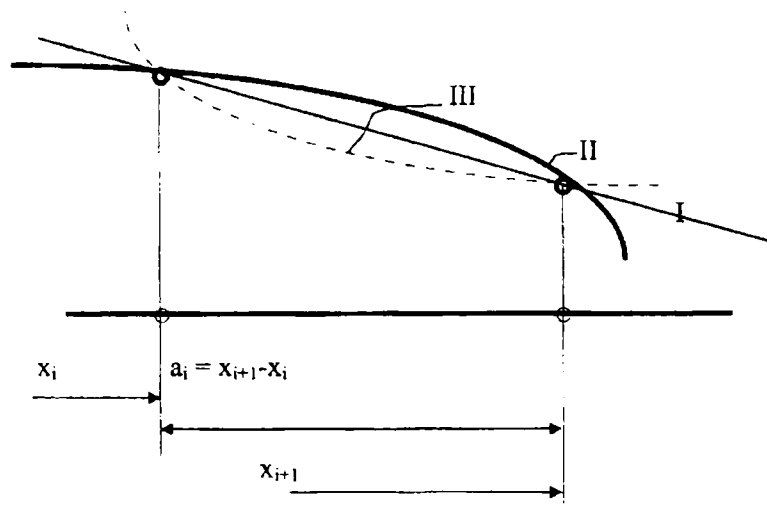


Fig. 6.4.4.2. Dreaptă de interpolare

Din rezolvarea acestui sistem și notând $x_{i+1} - x_i = a_i$ se obțin cei doi parametri:

$$c_1 = u_i \frac{x_{i+1} - x}{a_i} - u_{i+1} \frac{x - x_i}{a_i} \quad [6.4.4.4]$$

$$c_2 = \frac{u_{i+1} - u_i}{a_i}$$

Înlocuind cele două constante în ecuația (5.3) rezultă:

$$u_f(x) = u_i \frac{x_{i+1} - x}{a} + u_{i+1} \frac{x - x_i}{a} \quad [6.4.4.5]$$

Curba din relația (6.4.4.5) are pante diferite de curba reală la capetele intervalului. Totodată sunt diferite și pantele dreptelor de interpolare la dreapta și la

stânga nodurilor considerate. O aproximare mai bună se poate obține folosind un polinom de interpolare de grad superior:

$$u_{II}(x) = c_1 + c_2x + c_3x^2 + c_4x^3 \quad [6.4.4.6]$$

În acest caz, determinarea coeficienților se va face din condițiile:

$$x = x_i \Rightarrow u_{II}(x_i) = u_i$$

$$x = x_{i+1} \Rightarrow u_{II}(x_{i+1}) = u_{i+1} \quad [6.4.4.7]$$

și din condițiile care exprimă continuitatea pantelor la extremitățile intervalului:

$$x = x_i \Rightarrow \left(\frac{du_{II}}{dx} \right)_{x=x_i} = u'_i$$

$$x = x_{i+1} \Rightarrow \left(\frac{du_{II}}{dx} \right)_{x=x_{i+1}} = u'_{i+1} \quad [6.4.4.8]$$

Pe măsură ce se mărește gradul polinomului de interpolare, se îmbunătățește și procesul de aproximare prin impunerea mai multor condiții de continuitate în noduri.

După alegerea formei funcției de interpolare, deplasarea $u(x)$ a unui punct poate fi exprimată prin intermediul valorilor funcției în noduri și al derivatelor sale, acestea fiind interpretate drept grade de libertate care definesc în întregime funcția pe domeniul considerat. Într-un sens generalizat, aceste grade de libertate reprezintă nu numai parametri care definesc poziția punctului într-un sistem de referință dat, ci și parametrii care definesc vecinătățile lui diferențiale. Astfel, u_i , u'_i , u''_i , ..., reprezintă deplasările nodale (necunoscutele problemei), iar parametrii c_1, c_2, \dots, c_n reprezintă deplasările generalizate, fiind combinații ale deplasărilor nodale.

Pentru calculul deplasărilor nodale se constituie un sistem de ecuații algebrice în care se impun condițiile pe contur, date de modul de rezemare și de modul de încărcare a structurii studiate. Sistemul de ecuații se determină prin aplicarea teoremei de minim a energiei potențiale totale de deformare sau prin aplicarea principiului lucrului mecanic virtual. Aplicând cea de-a doua metodă, deplasarea și deformarea virtuală într-un punct curent al unui element finit sunt date de relațiile:

$$\delta u(x) = \delta u_i \frac{x_{i+1} - x}{a_i} + \delta u_{i+1} \frac{x - x_i}{a_i} \quad [6.4.4.9]$$

$$\delta \varepsilon(x) = \frac{\delta u_{i+1} - \delta u_i}{a_i}$$

Lucrul mecanic virtual al forțelor exterioare $q(x)$ care acționează asupra elementului finit i este:

$$2\delta L = \int_{(i)} q(x) \delta u(x) dx = \delta u_i \int_{(i)} \frac{x_{i+1} - x}{a_i} q(x) dx + \delta u_{i+1} \int_{(i)} \frac{x - x_i}{a_i} q(x) dx \quad [6.4.4.10]$$

Variația energiei potențiale de deformare a elementului finit i atunci când se impun deplasările specifice virtuale $\delta \varepsilon(x)$:

$$\begin{aligned} 2\delta W &= \iiint_{(i)} \sigma_x \cdot \delta \varepsilon_x \cdot dV = \iiint_{(i)} E_i \cdot \frac{u_{i+1} - u_i}{a_i} \cdot \frac{\delta u_{i+1} - \delta u_i}{a_i} \cdot dV = \\ &= \frac{E_i}{a_i^2} \cdot (u_{i+1} - u_i) \cdot (\delta u_{i+1} - \delta u_i) \iiint_{(i)} dA \cdot dx \end{aligned} \quad [6.4.4.11]$$

Energia potențială de deformare și lucrul mecanic virtual pentru întreaga bară se obțin însumând relațiile de forma (5.12) și (5.13) pentru toate cele n elemente ale structurii. Cum, conform principiului lucrului mecanic virtual, $\delta L = \delta W$, rezultă:

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i A_i}{a_i} \cdot (u_{i+1} - u_i) \cdot (\delta u_{i+1} - \delta u_i) = \sum_{i=1}^n \left(\delta u_i \cdot \int_{(i)} \frac{x_{i+1} - x}{a_i} \cdot q(x) \cdot dx + \delta u_{i+1} \cdot \int_{(i)} \frac{x - x_i}{a_i} \cdot q(x) \cdot dx \right) \quad (*)$$

Cum deplasările δu_i sunt arbitrare, se consideră două elemente finite învecinate $j-1$ și j , pentru care se impun următoarele deplasări virtuale:

— pentru elementul $j-1$: $\delta u_{j-1} = 0 \rightarrow \delta u_j = 1$

— pentru elementul j : $\delta u_j = 1 \rightarrow \delta u_{j+1} = 0$

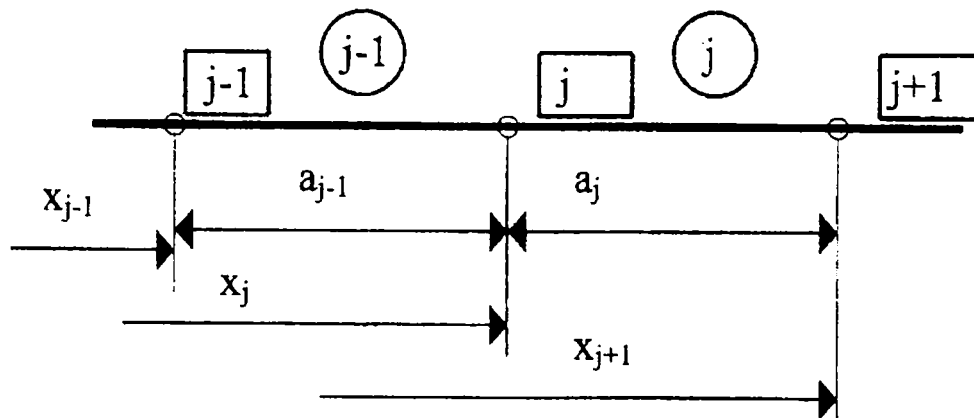


Fig. 6.4.4.2. Elemente finite învecinate

Se aplică relația (*) pentru cele două elemente finite învecinate și se obține:

$$\frac{E_{j-1}A_{j-1}}{a_{j-1}} \cdot (u_j - u_{j-1}) - \frac{E_j A_j}{a_j} \cdot (u_{j+1} - u_j) = \int_{(j-1)}^{x-x_{j-1}} q(x) \cdot dx + \int_{(i)}^{x_{j+1}-x_j} q(x) \cdot dx \quad [6.4.4.12]$$

Pentru toate perechile de elemente învecinate se vor scrie ecuații de forma (6.4.4.12) și se obține un sistem algebric de ecuații în care necunoscutele sunt deplasările u_j din nodurile structurii. Acestea li se adaugă condițiile de rezemare, conform cărora se impun anumite deplasări. Rezolvând sistemul de ecuații se determină deplasările din nodurile structurii, iar apoi, pe baza funcției de aproximare folosite, se pot calcula deplasările în orice punct situat între noduri.

În continuare, se poate rezolva problema de calcul a stării de tensiune, ținând cont de relațiile fizice care fac legătura între deformațiile specifice și tensiuni:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_1}{\partial x} = u_i \frac{-1}{a_i} + u_{i+1} \frac{1}{a_i} = \frac{1}{a_i} (u_{i+1} - u_i) \quad [6.4.4.13]$$

$$\sigma_x = \varepsilon_x \cdot E = \frac{E}{a_i} (u_{i+1} - u_i) \quad [6.4.4.14]$$

În concluzie, precizia de calcul va crește:

- cu cât discretizarea este mai fină;
- dacă numărul de noduri este mai mare;
- dacă se utilizează funcții de interpolare de grad superior.

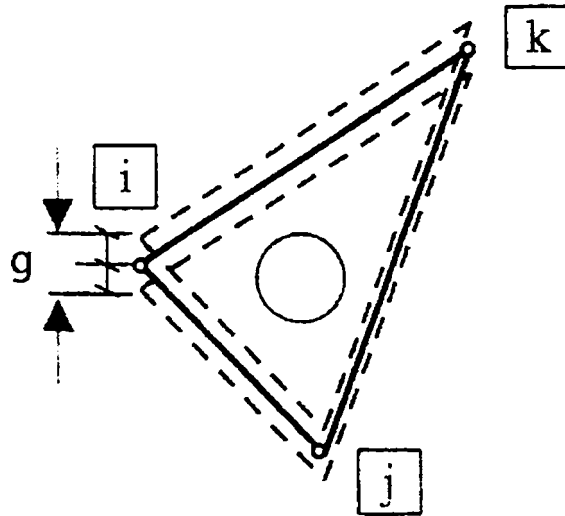
6.4.5. Tipuri de elemente finite și funcții de interpolare

Pentru ca analiza cu elemente finite să ofere rezultate cât mai apropiate de fenomenul real, trebuie alese cu mare grijă discretizarea și tipul de elemente finite. Acestea din urmă se deosebesc între ele prin forma geometrică, numărul și tipul nodurilor sale, tipul variabilelor de nod (deplasări generalizate) și tipul funcțiilor de interpolare folosite. Funcțiile de interpolare nu se aleg arbitrar, ci ele trebuie să îndeplinească *condițiile de continuitate* și *condițiile de convergență* a soluției approximate.

În anumite condiții, continuitatea poate fi asigurată alegând funcția de interpolare un polinom algebric. Condițiile de compatibilitate între elemente impun ca funcția care descrie comportamentul necunoscutelor problemei pe domeniul elementului finit, precum și o parte dintre derivatele ei, să fie continue. Spre exemplu, pentru barele solicitate numai de sarcini axiale este suficientă satisfacerea continuității funcției de deplasare $u(x)$. În cazul barelor solicitate la încovoiere, pe lângă funcția de deplasare $v(x)$, trebuie asigurată și continuitate derivatei dv/dx .

În cazul elementelor finite cu două sau trei dimensiuni (cazul stărilor plane de tensiune și deformație, problemele de elasticitate tridimensionale, cazul plăcilor) asigurarea continuității are un caracter diferit. Pentru exemplificare, se consideră

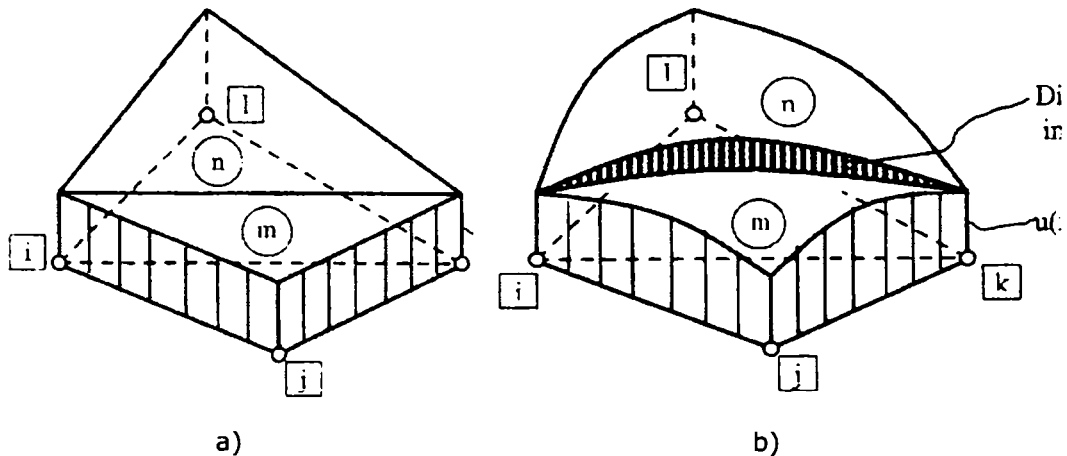
elementul finit triunghiular m , a cărei grosime g este reprezentată cu linii întrerupte, fiind o constantă pe întreg domeniul.



6.4.5.1 Element finit triunghiular

În Fig. 6.4.5.2 este reprezentată variația funcției de deplasare $u(x,y)$ pentru două elemente finite m și n , în cazul folosirii unor polinoame de interpolare liniare. În acest caz, continuitatea interelemente este satisfăcută implicit prin impunerea continuității funcției în noduri.

Dacă se utilizează polinoame de interpolare de ordin superior, apare posibilitatea ca, la nivelul zonelor interelemente, condiția de continuitate să nu fie satisfăcută b).



6.4.5.2 Variația funcției de interpolare pentru două elemente finite

Condiția de convergență este satisfăcută dacă funcțiile de interpolare sunt alese astfel încât să fie îndeplinite următoarele condiții:

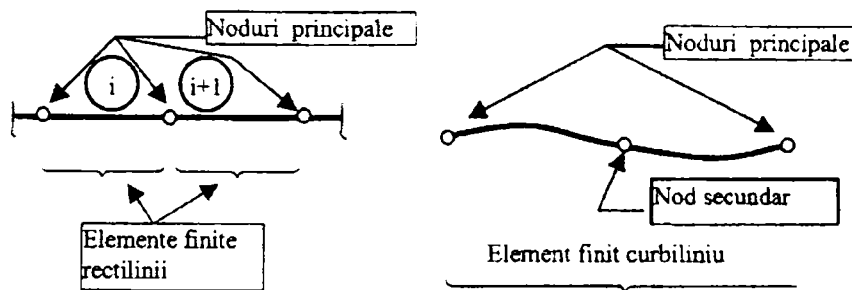
- să poată reprezenta corect deplasările de corp rigid;
- să conțină termeni care să conducă la expresii ale tensiunilor capabile

să reprezinte starea de tensiune omogenă pe element.

Condițiile de continuitate și convergență pot fi satisfăcute integral dacă polinoamele de interpolare au gradul cel puțin egal cu cel mai mare ordin de derivare care apare în relațiile diferențiale dintre deformații și deplasări.

Din punct de vedere al principiilor care stau la baza formulării continuității lor, elementele finite se împart în:

- structurale (elemente finite de tip bară și de tip înveliș);
- continue (elemente finite de stare plană și de tip masiv).



6.4.5.3. Elemente finite unidimensionale

După configurația geometrică, elementele finite se împart în:

- unidimensionale: sunt simple și au o configurație rectilinie sau curbilinie,

noduri principale plasate la capete pentru conectarea cu elementele finite învecinate (6.4.5.3). Pot exista și unul sau două noduri secundare, plasate echidistant față de extremități. Aceste elemente finite pot aparține unor structuri plane sau tridimensionale.

- bidimensionale: sunt elemente la care configurația geometrică și parametrii asociați se definesc în funcție de două coordonate independente, (6.4.5.4). Cel mai simplu este elementul de tip triunghiular cu următoarele situații:

- a) cu trei noduri pe element;
- b) cu un secundar interior;
- c) cu noduri secundare externe, plasate pe laturile elementului finit;
- d) curbiliniu, cu noduri secundare externe și un nod secundar intern.

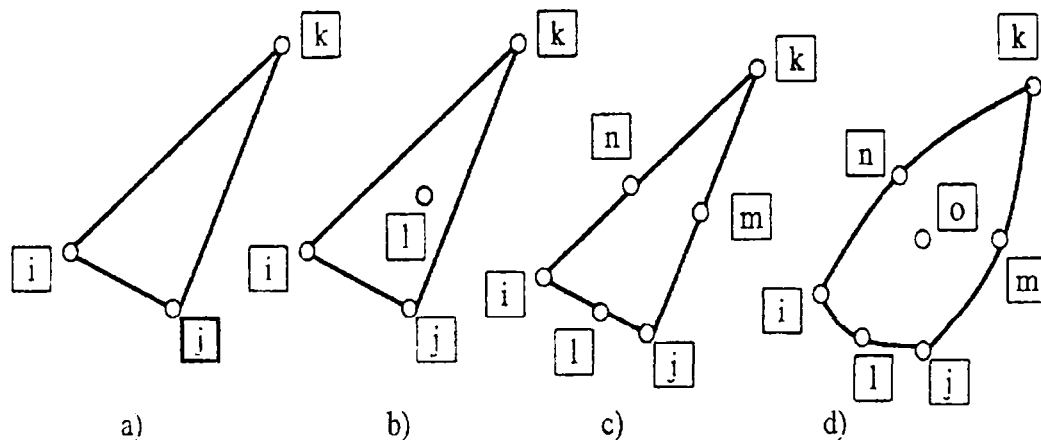


Fig. 6.4.5.4. Elemente finite bidimensionale

—axial simetrice: prezintă un interes practic deosebit deoarece, atunci când pot fi folosite, se reduce considerabil volumul calculului. Structurile tridimensionale axial simetrice se reduc la studiul unor probleme unidimensionale sau bidimensionale. Simetria axială trebuie satisfăcută din punct de vedere geometric, al rigidității și al condițiilor pe contur (Fig. 6.4.5.5)

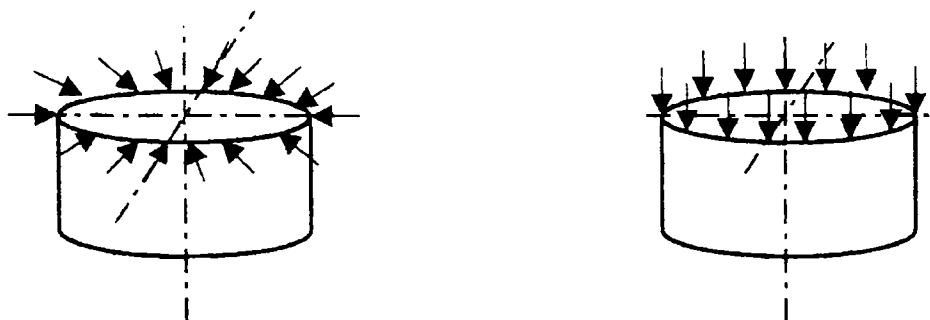


Fig. 6.4.5.5. Elemente finite axial simetrice

—tridimensionale: sunt utilizate pentru studiul structurilor de tip masiv sau al altor structuri cu pereți groși care nu pot fi modelate cu elementele finite enumerate anterior. Acestea pot fi tetraedrale sau hexaedrale (Fig. 6.4.5.6)

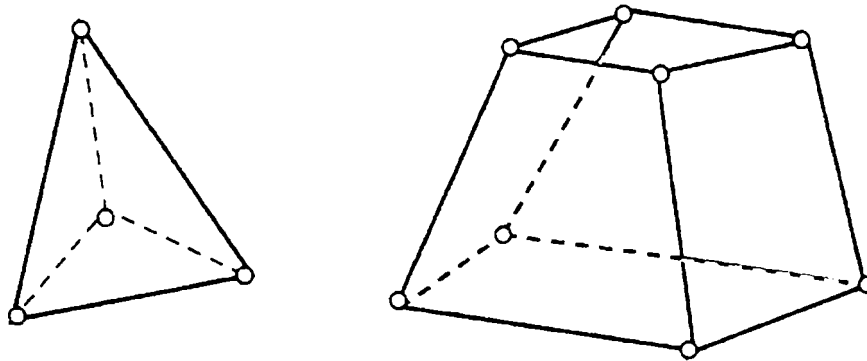


Fig. 6.4.5.6. Elemente finite tridimensionale

Dacă se folosesc elemente finite pătratice sau cubice, pe laturile acestora pot să mai apară unul sau două noduri suplimentare, plasate la mijloc sau la o treime de capetele muchiilor.

6.4.6. Analiza stării de tensiune folosind elemente finite tridimensionale

Toate probleme practice necesită folosirea unor elemente finite tridimensionale pentru realizarea discretizării. Dacă cel mai simplu element bidimensional este triunghiul, echivalentul tridimensional al acestuia este tetraedrul, un element cu patru colțuri nodale. Din păcate, numărul de elemente tetraedrale simple, care trebuie utilizate pentru obținerea acurateții dorite, trebuie să fie foarte mare, generând un număr la fel de mare de ecuații simultane în problemele practice, inducând limitări severe ale utilizării metodei.

6.4.6.1. Funcții de deplasare

În Fig. 6.4.6.1.1, se prezintă un element tetraedral. Starea de deplasare a unui punct este definită de trei componente ale deplasării (u , v și w) pe direcțiile celor trei coordonate ale sistemului de referință (x , y și z), astfel:

$$u = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \quad [6.4.6.1.1]$$

Variația liniară a elementului este definită de cele patru valori nodale:

$$u_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i + \alpha_4 z_i \quad [6.4.6.1.2]$$

unde α_i pot să fie evaluate.

Soluția poate fi scrisă sub următoarea formă:

$$u = \frac{1}{6V} \left[(a_i + b_i x + c_i y + d_i z) u_i + (a_j + b_j x + c_j y + d_j z) u_j + (a_m + b_m x + c_m y + d_m z) u_m + (a_p + b_p x + c_p y + d_p z) u_p \right]$$

$$6V = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_j & y_j & z_j \\ 1 & x_m & y_m & z_m \\ 1 & x_p & y_p & z_p \end{vmatrix} \quad [6.4.6.1.3]$$

unde V este volumul tetraedrului. În acest mod, se pot determina cei patru coeficienți ca având următoarea formă:

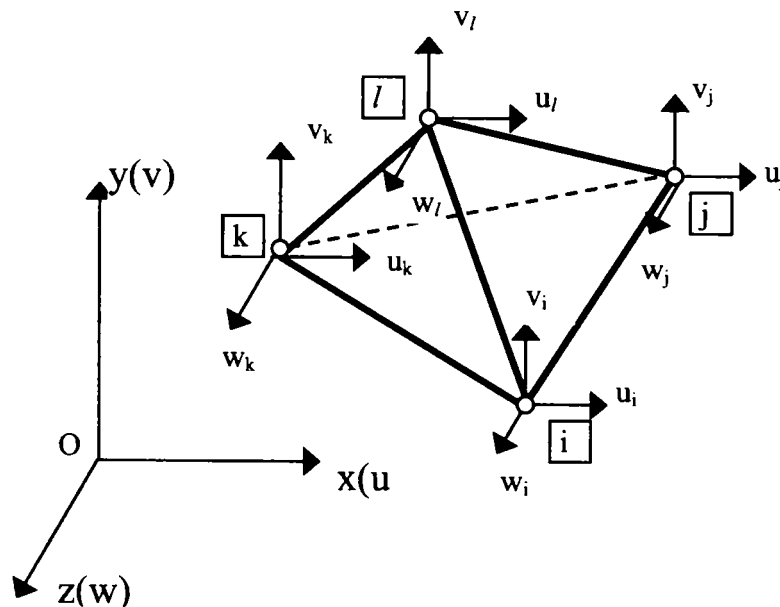


Fig. 6.4.6.1.1. Un exemplu de element tetraedric

$$a_i = \begin{vmatrix} x_j & y_j & z_j \\ x_m & y_m & z_m \\ x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}$$

$$b_i = - \begin{vmatrix} 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_m & z_m \\ 1 & y_p & z_p \end{vmatrix}$$

$$c_i = \begin{vmatrix} x_j & 1 & z_j \\ x_m & 1 & z_m \\ x_p & 1 & z_p \end{vmatrix} \quad d_i = \begin{vmatrix} x_j & y_j & 1 \\ x_m & y_m & 1 \\ x_p & y_p & 1 \end{vmatrix} \quad [6.4.6.1.4]$$

Deplasarea elementului este definită de cele 12 componente de deplasare ale nodurilor:

$$a^e = \begin{Bmatrix} a_i \\ a_j \\ a_m \\ a_p \end{Bmatrix} \quad \text{unde } a_i = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{Bmatrix}, \dots \quad [6.4.6.1.5]$$

Deplasarea unui punct elementar poate fi exprimată de relația:

$$u = [IN_i, IN_j, IN_m, IN_p] a^e = N a^e \quad [6.4.6.1.6]$$

$$\text{unde } N_i = \frac{a_i + b_i x + c_i y + d_i z}{6V}, \dots$$

iar I este matricea unitate.

6.4.6.2. Vectorul deformație specifică și vectorul tensiune

Pentru problemele de elasticitate spațială, vectorul deformație specifică are următoarea formă:

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} = S u \quad [6.4.6.2.1]$$

Se poate verifica uşor că:

$$\varepsilon = SNa^e = Ba^e = [B_i, B_j, B_m, B_p]a^e \quad [6.4.6.2.2]$$

$$\text{unde } B_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} = \frac{1}{6V} \begin{bmatrix} b_i & 0 & 0 \\ 0 & c_i & 0 \\ 0 & 0 & d_i \\ c_i & b_i & 0 \\ 0 & d_i & c_i \\ d_i & 0 & b_i \end{bmatrix} \quad [6.4.6.2.3]$$

şi reprezintă matricea de interpolare a deformaţiilor specifice pe element.

Pentru problemele de elasticitate, vectorul tensiune este de forma:

$$\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad [6.4.6.2.4.]$$

Matricea K de rigiditate a elementului se calculează cu relaţia:

$$K = \int_V B^T \cdot D \cdot B \cdot dV \quad [6.4.6.2.5]$$

În aceste condiţii, tensiunile vor fi:

$$\sigma = D \cdot \varepsilon = D \cdot B \cdot a^e \quad [6.4.6.2.6]$$

Matricea D care apare în expresiile (5.29) şi (5.30) reprezintă matricea de elasticitate a materialului pentru starea de tensiune triaxială, dată de relaţia:

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad [6.4.6.2.7]$$

6.4.7. Analiza cu elemente finite a stării de tensiune și deformare a modelului de proteză pentru mâna umană

Pentru analiza cu elemente finite a stării de tensiune și deformare s-a folosit un software specializat, CosmosWorks, care dezvoltat împreună cu pachetul CAD CAE Solid Works. Programul CosmosWorks, formulează ecuațiile care guvernează comportamentul fiecărui element luând în considerație conectivitatea acestuia cu alte elemente. Ecuațiile vor genera răspunsul pe baza unor informații cunoscute, precum proprietăți de material, restricții și sarcini. În continuare, programul organizează ecuațiile într-un set extins de ecuații algebrice simultane pe care le rezolvă pentru a afla necunoscutele. În analiza tensiunii, de exemplu, se determină deplasările în fiecare nod și apoi se calculează deformările specifice și tensiunile. Materialele din care este realizat cuțitul de frezare pentru studiu, sunt prezentate în Fig. 6.4.7.1, Fig. 6.4.7.21, Fig. 6.4.7.3, Fig.6.4.7.4.

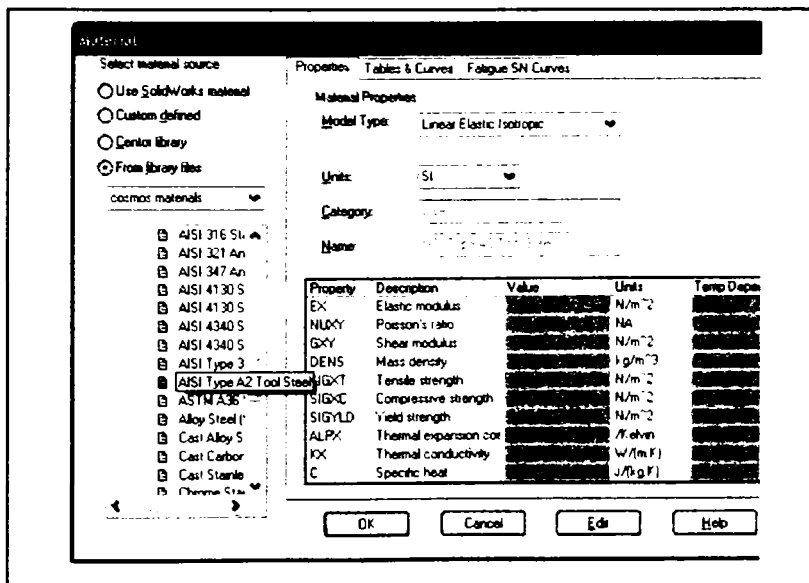


Fig. 6.4.7.1. Proprietățile de material pentru cuțit, în conformitate cu biblioteca de material de care dispune pachetul Software COSMOSWORKS

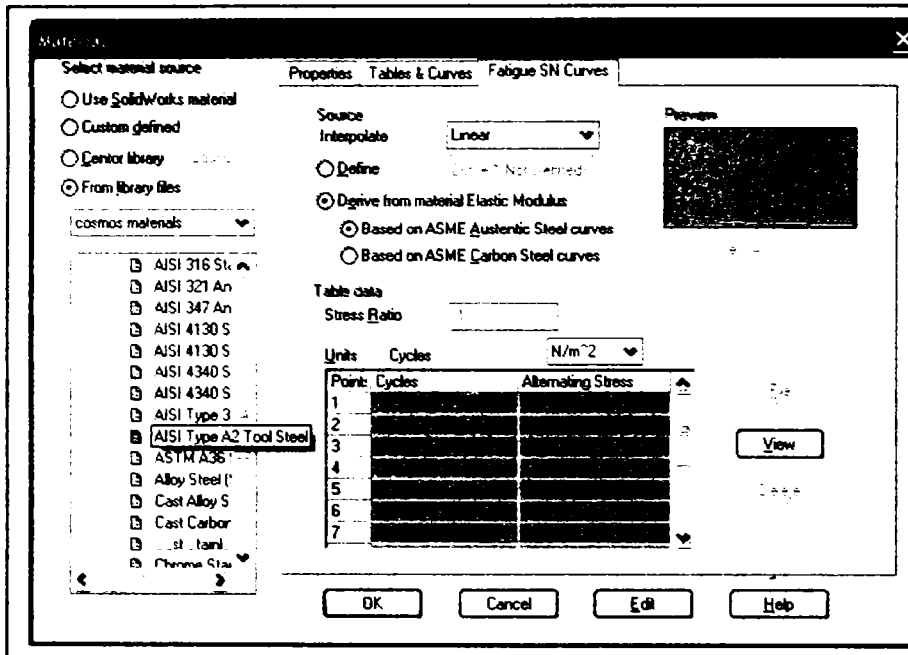


Fig. 6.4.7.2. Curba de oboseală pentru material pentru cuțit, în conformitate cu biblioteca de material de care dispune pachetul Software COSMOSWORKS

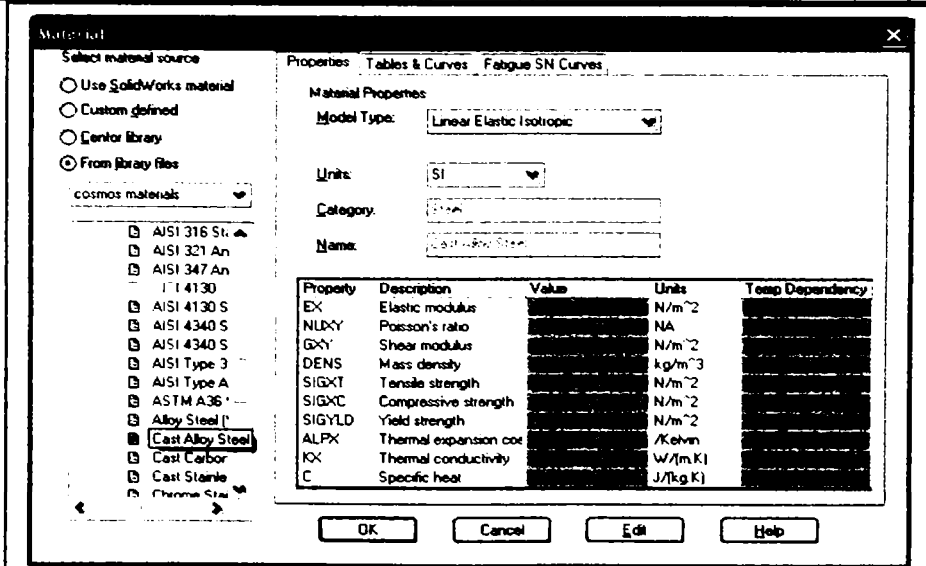


Fig. 6.4.7.3. Proprietățile de material pentru corpul de cuțit, în conformitate cu biblioteca de material de care dispune pachetul Software COSMOSWORKS

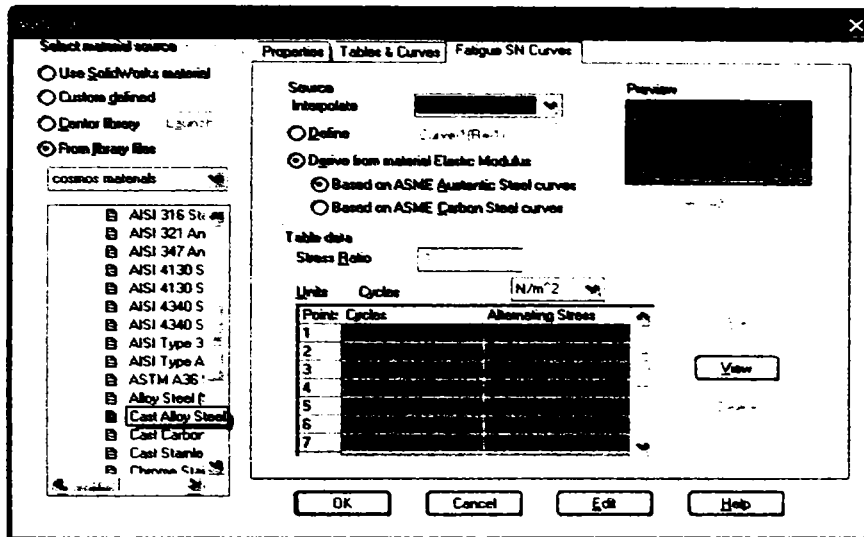


Fig. 6.4.7.4. Curba de oboseală pentru material corpului de cuțit, în conformitate cu biblioteca de material de care dispune pachetul Software COSMOSWORKS

S-au studiat trei tipuri de cuțite de frezare, după cum urmează:

1. Cuțit de frezare utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice cu care sunt echipate majoritatea mașinilor de frezare aflate la ora actuală în exploatare, Fig. 6.4.7.5.

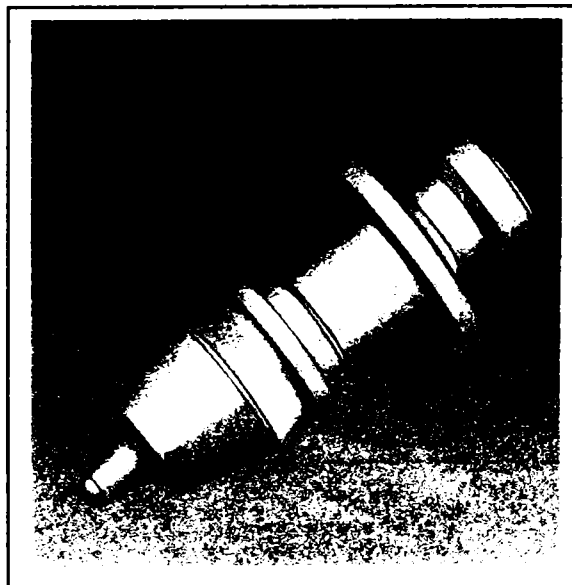


Fig. 6.4.7.5. Cuțit de frezare utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice, cu care sunt echipate majoritatea mașinilor de frezare aflate la ora actuală în exploatare.

2. Cuţit de frezare fără aripioare, proiectat şi realizat în cadrul lucrării, în scopul creşterii performanţelor de durabilitate a acestuia în comparaţie cu soluţiile constructive existente, Fig. 6.4.7.6.

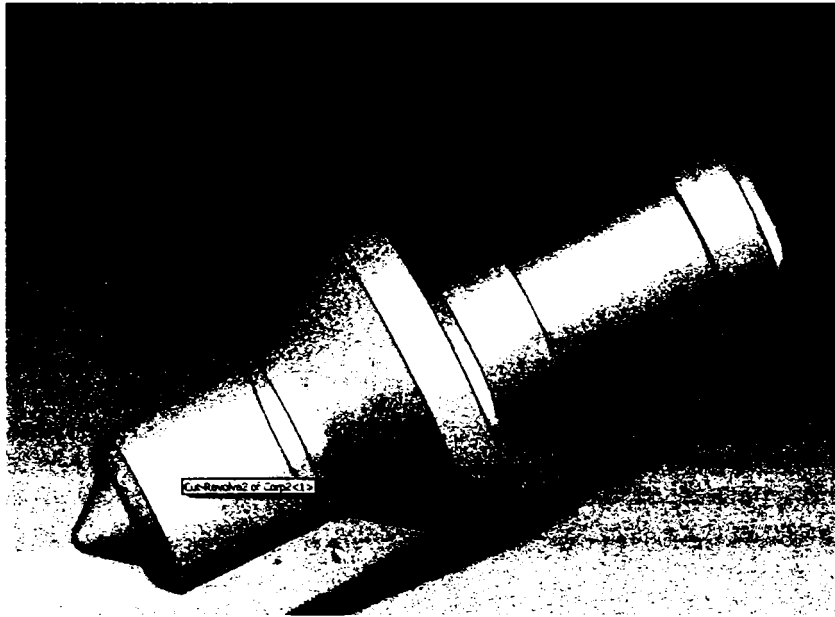


Fig. 6.4.7.6. Cuţit de frezare fără aripioare, proiectat şi realizat în cadrul lucrării.

3. Cuţit de frezare cu aripioare, proiectat şi realizat în cadrul lucrării, în scopul creşterii performanţelor de durabilitate a acestuia în comparaţie cu soluţiile constructive existente, Fig. 6.4.7.7.

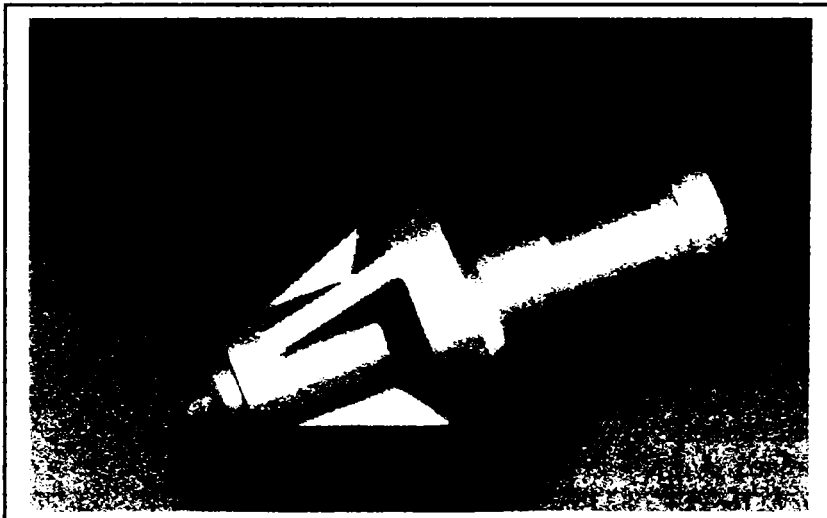


Fig. 6.4.7.7. Cuţit de frezare cu aripioare, proiectat şi realizat în cadrul lucrării.

Având în vedere faptul că durabilitatea dinților de frezare (cuțite de frezare) sunt în strânsă dependență cu starea de tensiune și deformație care se înregistrează în aceste organe în timpul procesului de frezare, pentru fiecare din cele trei variante de dinți s-au studiat pe cale numerică prin analiza cu elemente finite, starea de tensiune și deformație, pentru mai multe moduri de așezare a acestora pe tamburul de frezare. Astfel s-a avut în vedere că unghiurile de atac sau unghiurile de așezare variază în momentul de față în domeniul 30-45 grade. S-au considerat în consecință următoarele trepte ale unghiurilor de așezare: 30, 35, 40 și 45 grade. Pentru fiecare dintre aceste moduri de așezare s-au elaborat modele de calcul, prezentate în Fig. 6.4.7.8, Fig. 6.4.7.9, Fig. 6.4.7.10.

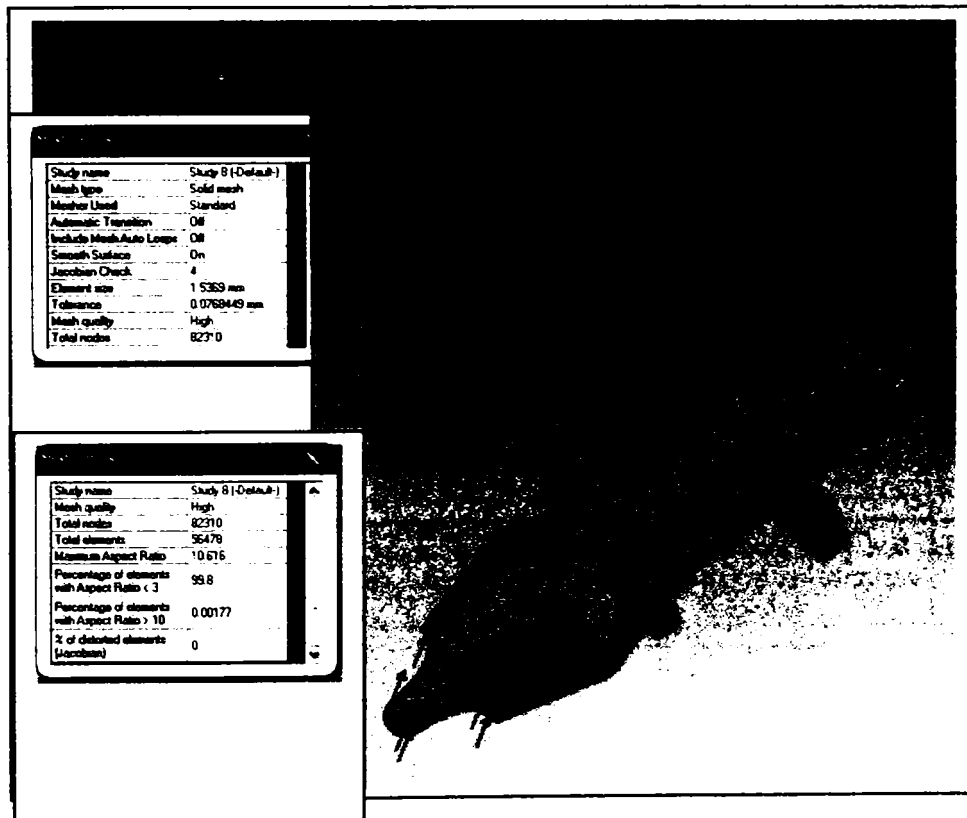


Fig. 6.4.7.8. Modelul de calcul utilizat pentru cuțitul de frezare utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice, cu care sunt echipate majoritatea mașinilor de frezare aflate la ora actuală în exploatare.

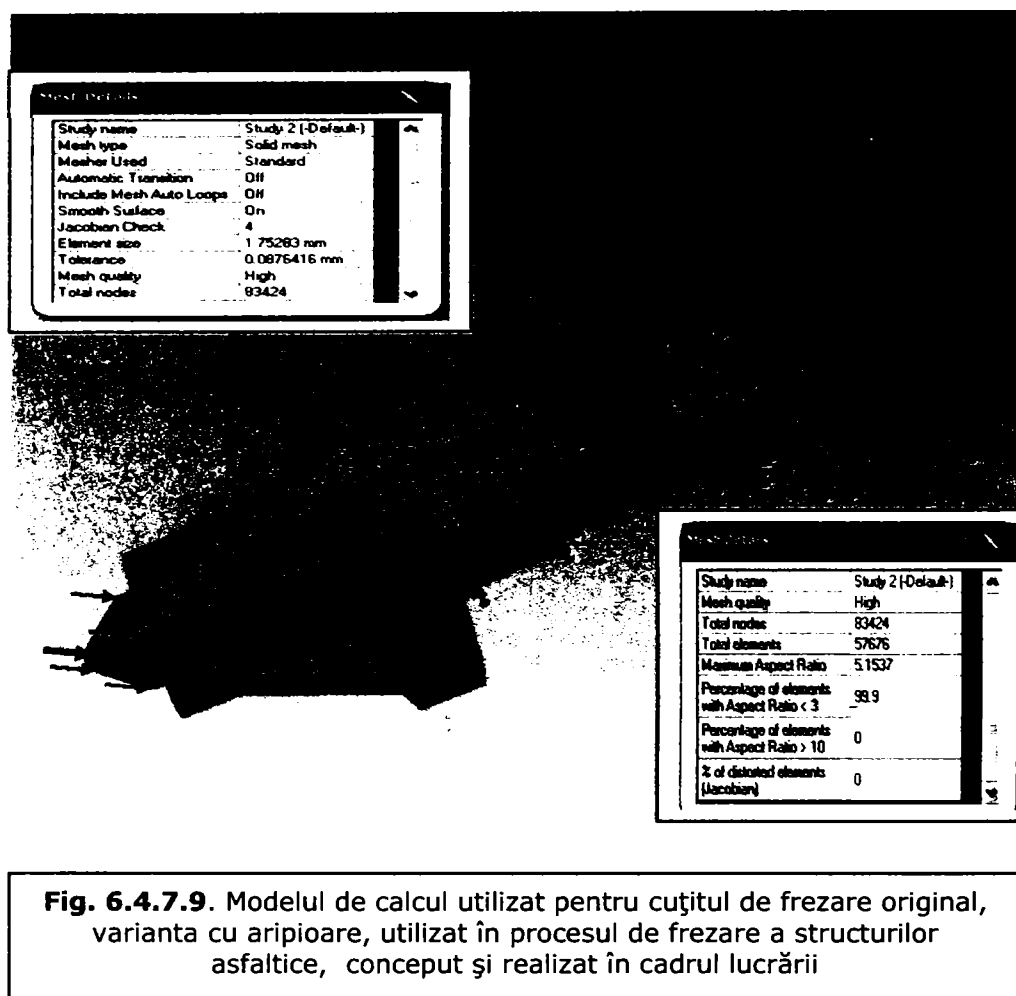


Fig. 6.4.7.9. Modelul de calcul utilizat pentru cuţitul de frezare original, varianta cu aripioare, utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice, conceput şi realizat în cadrul lucrării

În elaborarea modelelor de calcul, pentru analiza cu elemente finite, s-au utilizat elemente finite de tip solid, tetraedrale, cu patru noduri pe element. Numărul de elemente finite utilizate au fost cuprinse în limitele 56478 pentru modelul de calcul prezentat în Fig. 6.4.7.8 şi 57676 de elemente pentru modelul de calcul prezentat în Fig. 6.4.7.9.

În consecinţă şi numărul de noduri a fost variabil în funcţie de discretizarea adoptată. Astfel numărul de noduri a fost cuprins în limitele 81780 pentru modelul de calcul prezentat în Fig. 6.4.7.10 şi 83424 pentru modelul de calcul prezentat în Fig. 6.4.7.9. Cel mai mare volum de calcul a fost înregistrat pentru analiza cu elemente finite a modelului de calcul - cuţit cu aripioare.

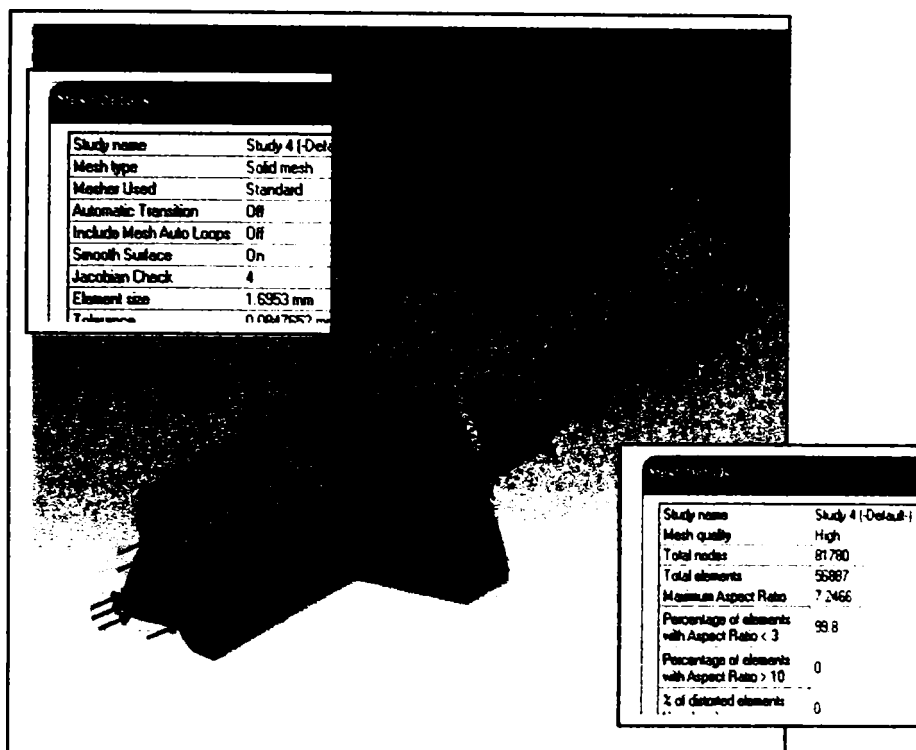


Fig. 6.4.7.10. Modelul de calcul utilizat pentru cuțitul de frezare original, varianta fără aripioare, utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice, conceput și realizat în cadrul lucrării

Condițiile pe contur au constat din impunerea restricțiilor de deplasare pentru nodurile amplasate pe suprafețele cilindrice în zonele de fixare a cuțitului pe tambur, precum și a presiunilor pe suprafețele în care cuțitul vine în contact cu masa asfaltică supusă dislocării. Ținând cont de soluția constructivă folosită, care permite cuțitului o singură rotație în jurul axei proprii (axa longitudinală), toate celelalte grade de libertate din aceste noduri, trei deplasări liniare și 2 rotații după celelalte două direcții ale sistemului de coordonate cartezian drept folosit, au fost blocate, adică le-au fost atribuite valori egale cu zero.

Presiunea aplicată a fost de 0,5 MPa, în concordanță cu rezistența maximă la frezare pentru straturile asfaltice. Presiunea a fost aplicată înclinat în raport cu axa longitudinală a cuțitului similar cu modul de solicitare în timpul frezării, pentru diferite unghiuri de așezare, iar modul de aplicare al presiunii pe suprafața activă a cuțitului este indicată în Fig. 6.4.7.11.

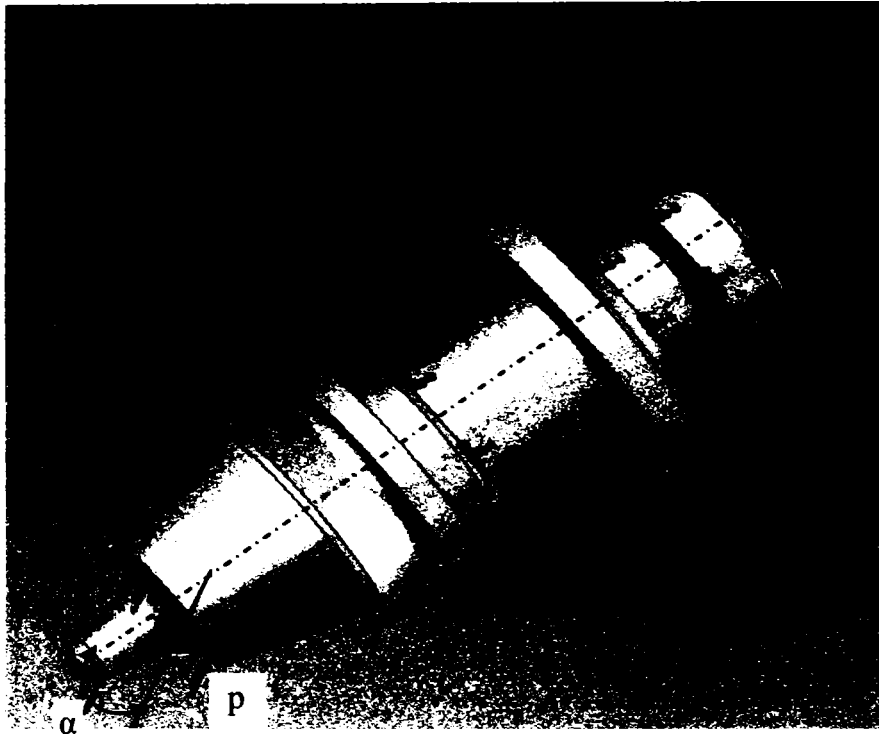


Fig. 6.4.7.11. Modul de aplicare a presiunii pe suprafețele active ale cuțitului, reprezentând sarcinile în timpul procesului de frezare.

După impunerea condițiilor pe contur, numărul de necunoscute (grade de libertate necunoscute) pentru modelele de calcul utilizate, au fost cuprinse între 246700 și 278322. Abordarea unor rezolvări la acest nivel, în condițiile în care au fost necesare rulara a 27 de modele de calcul, a presupus utilizarea unor sisteme de performante, capabile să rezolve într-un interval de timp de ordinul zecilor de minute fiecare din variantele analizate.

Pe baza analizei cu elemente finite au fost obținute distribuțiile stărilor de tensiune și deformație pentru toate cazurile analizate. În Fig. 6.4.7.12, Fig. 6.4.7.13, Fig. 6.4.7.14, sunt prezentate pentru exemplificare pentru fiecare din categoriile de cuțite analizate, distribuțiile stării de tensiune echivalentă Von Mises, calculată după teoria energiei specifice modificatoare de formă.

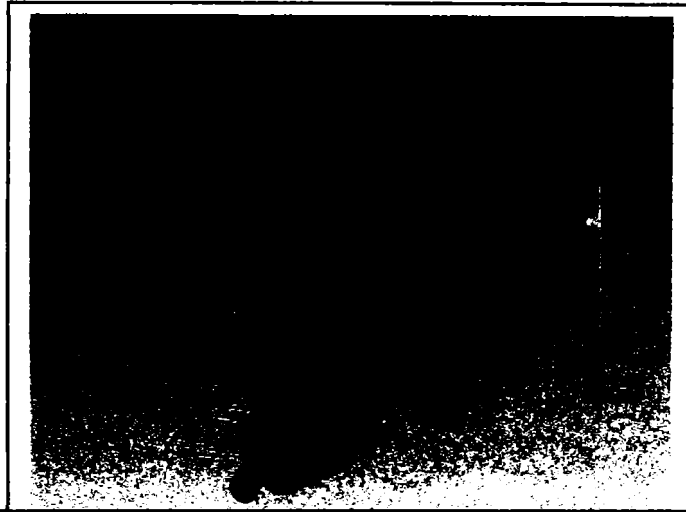


Fig. 6.4.7.12. Distribuția stării de tensiune echivalentă Von Mises, în stare deformată, cu unghiul de așezare $\alpha=35$ grade, pentru cuțitul de frezare utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice, cu care sunt echipate majoritatea mașinilor de frezare aflate la ora actuală în exploatare.



Fig. 6.4.7.13. Distribuția stării de tensiune echivalentă Von Mises, în stare deformată, cu unghiul de așezare $\alpha=40$ grade, pentru cuțitul de frezare conceput și realizat în cadrul lucrării, cu aripioare.

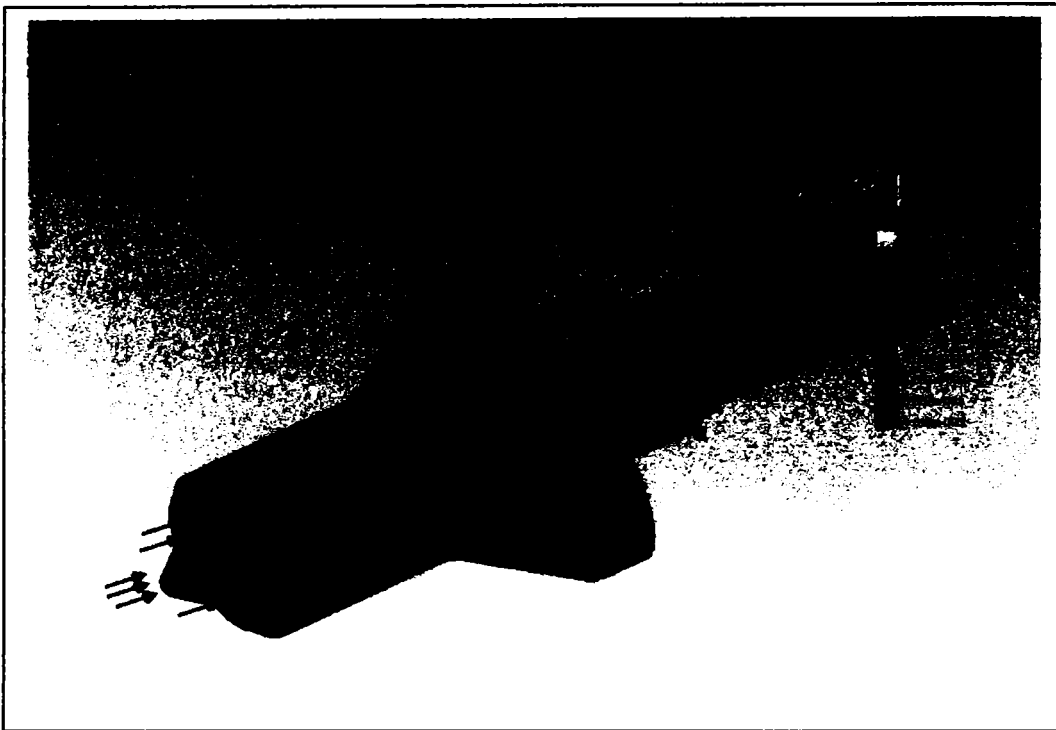


Fig. 6.4.7.14. Distribuția stării de tensiune echivalentă Von Mises, în stare nedeformată, cu unghiul de aşezare $\alpha=45$ grade, pentru cuşitul de frezare conceput şi realizat în cadrul lucrării, fără aripioare.

Pe baza rezultatelor obținute în acest fel s-au trasat curbele de variație ale tensiunii echivalente Von Mises, Fig. 6.4.7.15, Fig. 6.4.7.16, Fig. 6.4.7.17, pentru cele 3 tipuri de cuțite analizate.

Variația tensiunii echivalente Von Mises în funcție de unghiul de atac pentru cutitul standard pentru straturile de asfalt

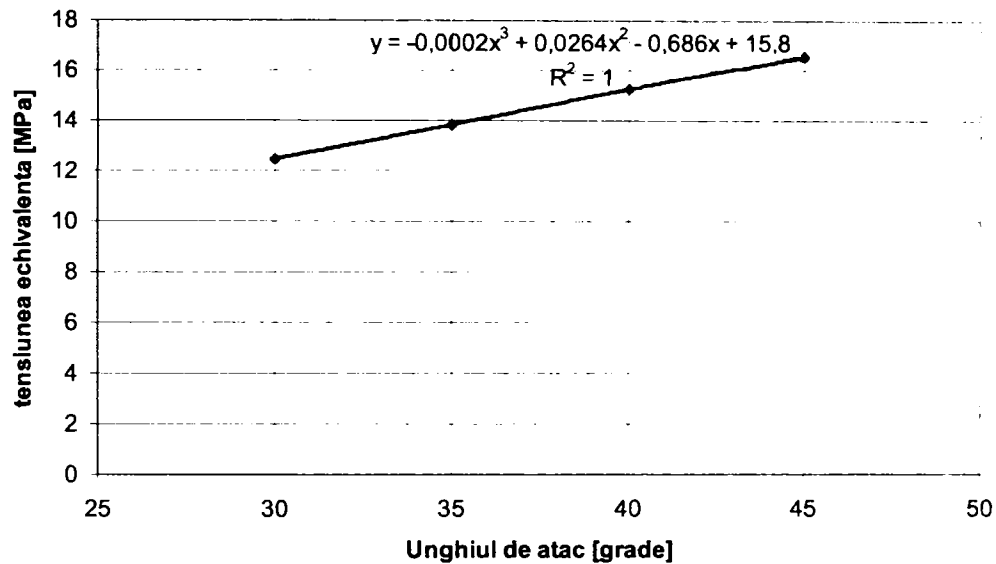


Fig. 6.4.7.15. Variația tensiunii echivalente Von Mises, în funcție de unghiul de așezare, pentru cuțitul de frezare utilizat în procesul de frezare a structurilor asfaltice, cu care sunt echipate majoritatea mașinilor de frezare aflate la ora actuală în exploatare.

Variatia tensiunii echivalente Von Mises (teoria energiei specifice modificatoare de forma) în funcție de unghiul de atac al dintelui pentru cuțitul de freză cu aripioare(nervuri)

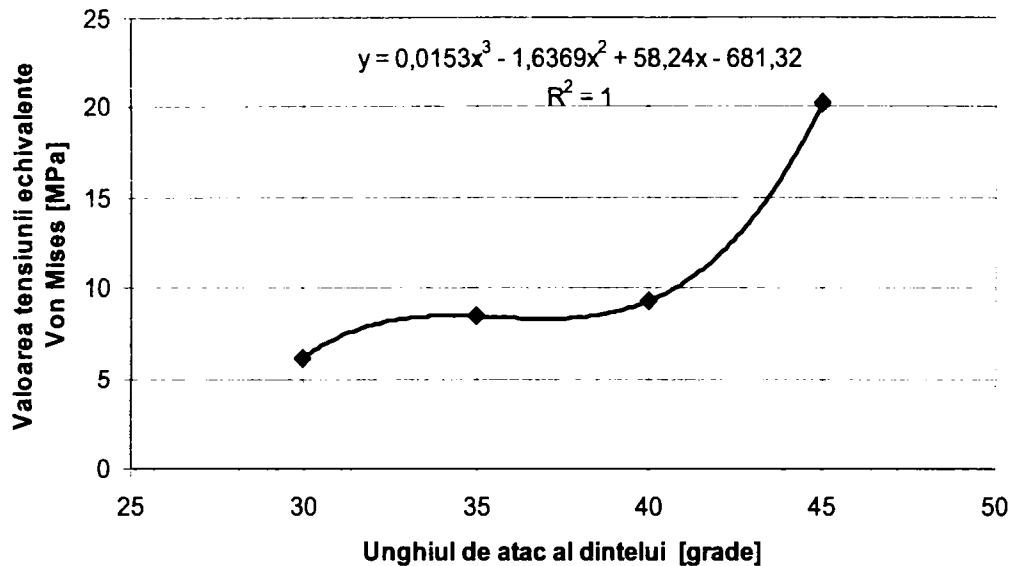


Fig. 6.4.7.16. Variația tensiunii echivalente Von Mises, în funcție de unghiul de aşezare, (atac), pentru cuțitul de frezare conceput și realizat în cadrul lucrării, cu aripioare.

Variația tensiunii echivalente Von Mises (teoria energiei specifice modificatoare de forma) în funcție de unghiul de atac al cutitului pentru cuțitul de freză fara aripioare

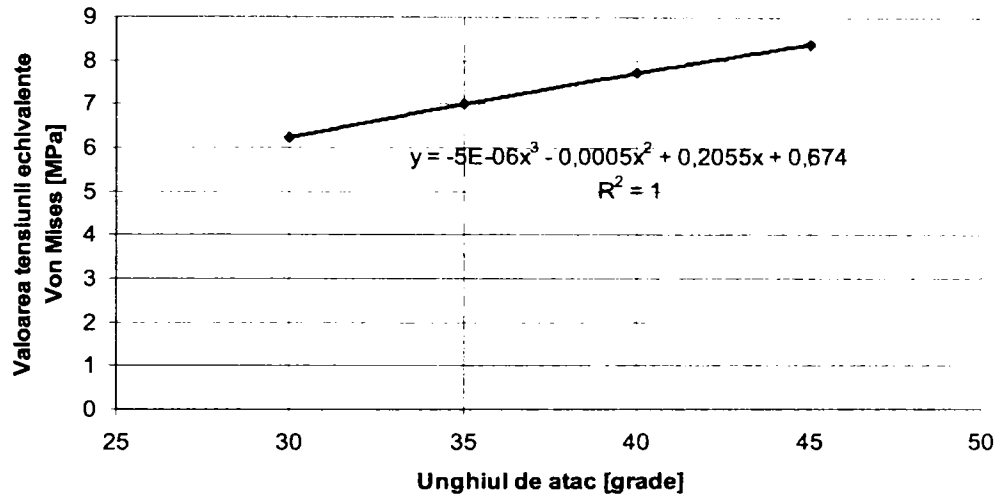


Fig. 6.4.7.17. Variația tensiunii echivalente Von Mises, în funcție de unghiul de așezare, (atac), pentru cuțitul de frezare conceput și realizat în cadrul lucrării, fără aripioare.

Curbele de variație ale tensiunii echivalente Von Mises reprezentate în aceste figuri, au fost trasate pe baza datelor obținute din calcule pentru cele patru unghiuri de așezare, (30; 35; 40; 45 grade), prin curbe de interpolare de gradul 3, al căror expresii sunt asociate fiecărei reprezentări. Întrucât abaterile medii pătrate au valoarea $R=1$, pentru toate cele trei reprezentări, polinoamele de interpolare simulează cu mare acuratețe fenomenele studiate.

6.5 Concluzii

Din analiza rezultatelor obținute pe baza simulărilor numerice a fenomenelor de solicitare care apar în procesul de frezare a straturilor asfaltice pentru trei tipuri de cuțite: unul existent cu largă utilizare în lucrările de reabilitare și reparație a straturilor asfaltice și două modele noi, realizate și concepute în cadrul cercetărilor efectuate în prezenta lucrare, rezultă următoarele concluzii:

1. Starea de tensiune din cuțitul de frezare și implicit de aici durabilitatea acestuia depinde în mare măsură de forma constructivă și unghiul de aşezare al cuțitului pe tamburul mașinii de frezat (unghiul de atac).
2. La cuțitele de frezare fără aripioare (nervuri), pentru starea de tensiune se înregistrează un gradient mai mic în funcție de unghiul de aşezare în comparație cu cuțitele cu nervuri.
3. La cuțitele concepute și realizate în cadrul acestei lucrări valorile tensiunilor sunt mai mici în comparație cu tensiunile la cuțitele existente, folosite pe scară largă în exploatare. Aceste rezultate confirmă cercetările experimentale efectuate, conform cărora durabilitatea în exploatare a noilor cuțite este mai mare în comparație cu cele utilizate pe scară largă în exploatare în momentul de față.
4. Din comparația celor două cuțite concepute în cadrul prezentei lucrări rezultatele teoretice indică faptul că pentru cuțitele fără nervuri, durabilitatea este mai mare în comparație cu cazul cuțitelor cu nervuri.
5. Concluziile prezentate la punctele 3 și 4, confirmă corectitudinea ipotezelor de calcul și implicit corectitudinea și validarea modelelor de calcul folosite.
6. În cazul cuțitului cu aripioare, **Fig. 6.4.7.16**, tensiunea echivalentă Von Mises înregistrează o creștere însemnată la unghiuri de aşezare mai mari de 40 grade, cazuri de aşezare care în consecință nu sunt nerecomandate.
7. Pentru toate variantele de cuțite analizate cele mai favorabile aşezări ale cuțitelor de frezare sunt cele cu unghiuri mici de aşezare, în cazul nostru de 30 grade.
8. Din datele prezentate se observa că un rol important în durabilitatea cuțitelor procesului de frezare o are forma și dimensiunile cuțitelor și a vârfului din carbura metalică. Se necesită o corelare a formei cuțitului cu materialul de frezat precum și a condițiilor de frezare.

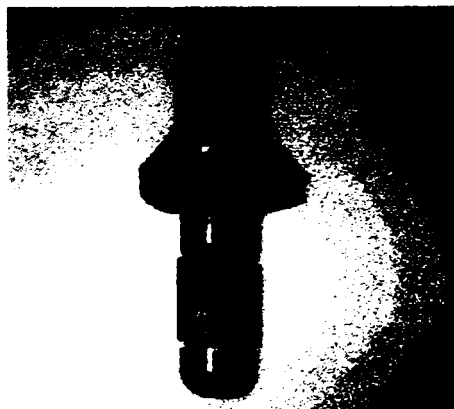
Un alt factor important este compoziția vârfului precum și tehnologia de realizare a acestuia.

Prin analizarea cauzelor uzurilor se poate limita folosirea necorespunzătoare a cuțitelor ducând astfel la mărirea duratei de viață a acestora.

CAPITOLUL 7

CONTRIBUȚII PERSONALE

1. Se face un studiu bibliografic amplu privind durabilitatea organelor active a mașinilor de frezat a îmbrăcăminților asfaltice.
 2. Se prezintă un studiu sintetic privind compoziția și proprietățile îmbrăcăminților asfaltice.
 3. Se face o clasificare rațională a utilajelor folosite pentru regenerarea și reutilizarea mixturilor asfaltice.
 4. Se prezintă într-un studiu amplu elementele active ale mașinii de frezat.
 5. Se prezintă bazele teoretice privind caracteristicile procesului de frezare a mixturilor asfaltice.
 6. Se prezintă un studiu privind rezistența mixturilor asfaltice în procesul de frezare.
 7. S-au executat măsurători experimentale privind rezistența la frezare a mixturii asfaltice, cu efectuarea unui studiu experimental pentru efectuarea acestor măsurători.
 8. Se face o analiză numerică privind distribuția stării de tensiune și deformație în organele active ale mașinii de frezat.
 9. Se propun variante constructive optimizate, privind organele active la mașinile de frezat.
- Plecând de la acest deziderat și folosind colaborarea cu societatea ECONET S.R.L s-au încercat și realizat în România dinți pentru frezarea asfaltului în două variante a corpului și a vârfului din carbură metalică.



Corpul a fost realizat atât în formă cilindrică simplă cât și cu nervuri pe generatoare care permit o mai bună rotire în corpul superior al suportului. La realizarea corpului s-a folosit și analiza numerică a stării de tensiune și deformație a dintelui de frezare.

Pentru realizarea vârfului din carbură s-au realizat aliaje cât mai adecvate condițiilor de lucru, ținând seama de caracteristicile materialelor de frezat , a condițiilor de lucru și a tehnologiilor folosite.

Dinții de frezare realizați se folosesc în prezent, cu o durată de viață la fel ca a celor importanți dar cu un preț mai mic.

9. Se pune în evidența faptul că la cuțitele de frezare fără aripioare (nervuri), pentru starea de tensiune se înregistrează un gradient mai mic în funcție de unghiul de așezare în comparație cuțitelor cu nervuri.

10. La cuțitele concepute și realizate în cadrul acestei lucrări valorile tensiunilor sunt mai mici în comparație cu tensiunile la cuțitele existente, folosite pe scară largă în exploatare. Aceste rezultate confirmă cercetările experimentale efectuate, conform cărora durabilitatea în exploatare a noilor cuțite este mai mare în comparație cu cele utilizate pe scară largă în exploatare în momentul de față.

11. Din comparația celor două cuțite concepute în cadrul prezentei lucrări rezultatele teoretice indică faptul că pentru cuțitele fără nervuri, durabilitatea este mai mare în comparație cu cazul cuțitelor cu nervuri.

12. Prin observații experimentale se confirmă corectitudinea ipotezelor de calcul și implicit corectitudinea și validarea modelelor de calcul folosite.

13. Se pune în evidență faptul că în cazul cuțitului cu aripioare, tensiunea echivalentă Von Mises înregistrează o creștere însemnată la unghiuri de așezare mai mari de 40 grade, cazuri de așezare care în consecință nu sunt nerecomandate.

14. Se pune în evidență pentru toate variantele de cuțite analizate că cele mai favorabile așezări ale cuțitelor de frezare sunt cele cu unghiuri mici de așezare, în cazul nostru de 30 grade.

15. Se ajunge la concluzia că starea de tensiune din cuțitul de frezare și implicit de aici durabilitatea acestuia depinde în mare măsură de forma constructivă și unghiul de așezare al cuțitului pe tamburul mașinii de frezat (unghiul de atac).

16. S-au conceput două forme de cuțite care au fost experimentate pe mașini de frezare în condiții reale de lucru.

17. Cercetările experimentale au pus în evidență pentru cuțitele concepute și realizate în cadrul acestui studiu, o durabilitate superioară cuțitelor folosite în mod curent în procesele de frezare a îmbrăcăminților bituminoase.

BIBLIOGRAFIE

1. Alămoreanu, E.-Calculul structurilor din materiale compozite, Univ."Politehnica", București, 1993.
2. Alămoreanu, E., Buzdugan, Gh., Iliescu, N., Minca, I., Sandu, M.-Îndrumar de calcul în ingineria mecanică, Editura Tehnică București, 1996.
3. Alămoreanu, E., Chiriță, R. - Bare și plăci din materiale compozite, Ed. Tehnică, București, 1997.
4. Aristrahov, G., N. - Calculul puterii mașinilor de stabilizat pământurile, în Stroitelnoe I dorojnoe masinostroenie, nr.2/1956.
5. Babeu, T., Dumitru, I., Marșavina, L., Babeu, S., Olariu, M. - Analize și încercări de rezistență pentru evaluarea duratei de viață a utilajelor grele, Ed. Mirton, Timișoara, 1999.
6. Babeu, T. - Teoria elementară a rezistenței materialelor, Ed. Mirton, Timișoara, 1998.
7. Babeu, T., Faur, N., **Daș I.D** - Studiul stării de tensiune din organele active de dislocat acoperiri asfaltice, Buletin AGIR nr.4/1999.
8. Baron, T., ș.a.- Calitate și fiabilitate, Ed. tehnică, București, 1988.
9. Bazergui, A., Bui-Quoc, T., Biron, A., McIntyre, G., Laberge, C.-Resistance des materiaux, troisieme edition, Presses Internationales Polytechnique, Montreal, 2002.
10. Belorusov, G., S., Saparnii, L., N.- O metodă nouă de calcul al rezistenței tăierii rocilor cu cuțit unitar, în "Gornîie, strotelnîie I dorojnîie masinî, nr. 15/1973.
11. Berbente, C., Zancu, S., Mitran, S., Pleter O., Tăranu, C. - Metode numerice de calcul și aplicații, București, Ed. I.P.B., 1992.
12. Blumenfeld, M.- Introducere în metoda elementelor finite, Ed. Tehnică, București, 1995.
13. Blumenfeld, M., Ioniț, A., Mareș, C.- Metoda elementelor finite.(Aplicații și programe introductive).Ed. I.P.B, București, 1992.
14. Boicu, I. ș.a. - Autostrăzi, Ed. Tehnică, București, 1981.
15. Boresi, A.P., Schmidt, R.J.-Advanced Mechanics of Materials, 5th ed., Jhon Wiley, New York, 1993.
16. Buzdugan, Gh., Blumenfeld, M. - Calculul de rezistență al pieselor de mașini. Ed. Tehnică, București 1979 pag.267.
17. Buzdugan, Gh.-Rezistența materialelor, Ed.Academiei, București, 1986.
18. Căprioru, St., ș.a.-Mașini agricole de lucrat solul, semănat și întreținere a culturilor, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
19. Ciclov, D.- Rezistență și fiabilitate la solicitări variabil, Ed. Facla, Timișoara, 1975.
20. Ciclov, D. - Mecanica ruperii materialelor, Ed.Academiei, București, 1997.
21. Ciofoaia, V., Ulea, M. -Teoria elasticității și rezistența materialelor- Reprografia Universității Transilvania din Brașov, 1992.
22. Constantinescu, I., N., ș.a. - Mecanica mașinilor și instalațiilor miniere și de preparare, vol. I, Ed.Tehnică, 1977.
23. Constantinescu, I.N., Munteanu, M.Gh., Golumbovici, D.C.-Calculule de rezistență astructurilor de mașini și utilaje, Ed. Tehnică,București, 1984.
24. Constantinescu, V., I. - Tehnologii performante și echipamente pentru realizarea structurilor rutiere, Ed. IMPULS, București, 2001.
25. Cuteanu, E., Marinov, A. - Metoda elementelor finite în proiectarea structurilor, Ed. Facla, Timișoara, 1980.

26. Dalin, A., D., Pavlov, V., P. - Mașini rotative pentru lucrări de pământ. Masghiz, 1950.
27. Daniel Gay - Materiaux Composites Editions Hermes, 1995.
28. Dicu, M.- Îmbrăcămiți rutiere .Investigații și interpretări, Ed. CONSPRESS, București, 2000.
29. Drăgănescu, I.- Repararea îmbrăcămiților rutiere cu freza BOBCAT.În "Drumuri poduri", nr.20, 1994
30. Dorobanțu, Șt., ș.a.- Utilajul și tehnologia lucrărilor de căi de comunicații, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1995.
31. Dumitru, I.- Oboseala la șoc a materialelor, Ed.Mirton, Timișoara, 1998.
32. Dumitru, I., Faur, N.- Elemente de calcul și aplicații în rezistența materialelor, Ed.Politehnica, Timișoara, 1999.
33. . Faur, N.- Elemente finite, Fundamente Ed.Politehnica Timișoara, 2007
34. .Dumitru, I., Faur, N.- Rezistența materialelor-Bazele teoretice în oboseala materialelor, mecanica ruperii, composite, metode de analiză numerică, Lito.Univ.Politehnica Timișoara, 1997.
35. Faur, N., Dumitru, I.- Diferențe finite și elemente finite, Ed.Mirton, Timișoara, 1997.
36. Faur, N., Dumitru, I.- Metode numerice în rezistența materialelor, Lito.Univ.Politehnica Timișoara, 1997.
37. Faur N., Stroia M., Neagu N., **Daș I.D.**, -Considerations regarding the stress concentration effect at the splice plates of the chains from the mechanical gearings, XXVI Jupiter Conference,
38. Faur N., Hadju I.,**Daș I.D.** -"Analysis with finite elements of the stress concentration phenomenon at a curved bar", 5th International Conference on Boundary and Finite Element 25/27 May 2000.
39. Gaidoș, A.- Tehnologia materialelor de construcții, Ed.CONSPRESS, București, 2003.
40. Gaidoș, A.- Tehnologii mecanizate de executare a straturilor rutiere din materiale locale stabilizate mecanic, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr.45, mai 2004.
41. Gaidoș, A.- Echipamente tehnologice pentru executarea straturilor rutiere din pământuri stabilizate, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr.49, septembrie 2004.
42. Gaidoș, A.- Considerații asupra principalilor parametri ai stabilizatoarelor rutiere, Cectarea științifică în condițiile integrării europene, Ed.AGIR, București, 2004.
43. Gaidoș, A.- Tehnologii de executare a straturilor rutiere din materiale locale stabilizate cu lianți minerali, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr. 46, iunie 2004.
44. Gârbea, D.- Analiza cu elemente finite.Ed. Tehnică, București, 1990.
45. Gere, J.M., and Timoshenko, S.P.-Mechanics of Materials, 4th SI Ed., Stanley Thornes Publ.Ltd.,1992.
46. Gere, J.M, Timoshenco, S.P.- Mechanics of Materials, Second Edition, Books/Cole Engineering Division Monterey, California, (Fondu Prof.Dr.Ing. Mircea Rațiu-REZMAT).
47. Goia, I.- Rezistența materialelor vol.I-II, Ed.Transilvania, 2000.
48. Hearn, E.J., Mechanics of Materials, 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
49. Heinz Heinrich - Moderne Methoden und Mashinen für Straßenindstandsetzung, Baumeshinendienst 6/91.

50. Helmuth, H.- Fräsen von Straßenindstandsetzung, Straßen-und Tiefbau 10/89.
51. Hertzberg, R.- Deformation and fracturemechanics of engineering materials, 1994.
52. Hubca, G., Iovu, H., Tomescu, M., ș.a.-Materiale compozite, Editura Tehnică, București, 1999.
53. Hütte-Manualul inginerului.Fundamente.Ed. Tehnic, București, 1995.
54. Iosipescu, N., -Introducere în fotoelasticitate, Editura Tehnică, București, Vol.I, 1958, Vol.II, 1959.
55. Ionescu, G., ș.a.- Traductoare pentru automatizări industriale, vol.I Ed.Tehnică, București, 1985
56. Ionescu, N., Nicoară, L.- Îndrumător pentru laboratoarele de drumuri, Ed.Trefla, București, 1992.
57. Jürgen, Küpper, H.- Effective methods for maintaining and rehabilitatingbituminous pavements.
58. Lucaci, Gh., Costescu, I., Belc, Fl., Nicoară, L. - Construcția drumurilor, Ed.Tehnică, București, 2000.
59. Madhukar, V.-Mechanics of Materials, Oxford University Press.,2002.
60. Mallik, P.K., Newman, S.-Composite Materials Tehnology, Hanser Verlag, 1990.
61. Mallik, P.K.-Fibre Reinforced Composite Materials.Manufacturing and Design, Dept. of Mech.Eng., University of Michigan, Dearborn, Michigan, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong, 1993.
62. Maniolescu, A.- Teoriile proceselor de lucru ale dislocării pământului și rocilor cu mașinile de geniu, Ed.Academia Tehnică Militară, București, 1996.
63. Mihăilescu, Șt., Bratu, P., Zafiu, Gh. P., Vlădeanu, A., Gaidoș, A., Mihăilescu, S. - Tehnologii și utilaje pentru executarea, întreținerea și reabilitarea suprastructurilor de drumuri, vol. 1, Ed.IMPULS, București, 2005.
64. Mihăilescu, Șt., Bratu, P., Zafiu, Gh. P., Vlădeanu, A., Gaidoș, A., Mihăilescu, S. - Tehnologii și utilaje pentru executarea, întreținerea și reabilitarea suprastructurilor de drumuri, vol. 2, Ed.IMPULS, București, 2005.
65. Mihăilescu, Șt., Peicu, R., Vlădeanu, A., Gaidoș, A., Mihăilescu, S. - Tendințe actuale în domeniul mașinilor folosite în construcția și întreținerea drumurilor, Contract cu MCT, 1994
66. Mihăilescu, Șt., Zafiu, Gh.P.- Frezele rutiere din categoria compact, în "Revista de unelte și echipamente", nr.31/2003.
67. Mihăilescu, Șt., Mihăilescu, S. - Frezarea la rece-tehnologie performantă la repararea și reabilitarea îmbrăcăminților de drumuri, Buletin științific, UTCB, nr.2-3, 2000.
68. Malița, I.- Tehnologia lucrărilor de drumuri.Ed.Mirton, Timișoara, 2007.
69. Nădășan, St.- Încercări și analize de metale, Ed.Tehnica, 1965.
70. Nicoară, L., Munteanu, V.- Întreținerea și exploatarea drumurilor, Ed.Tehnică, București, 1979.
71. Neğuț N., Faur R., Faur N., **Daș I.D.** -The study of stress state in the active members for dislocating the asphaltic linings, XXVI Jupiter Conference, Beograd, February, 8-11, 2000, p. 2.93-2.98 ISBN: 86-7083-369-7.
72. Pană, T.- Aplicații ingineresti ale mecanicii ruperii, Ed.Tehnică București.
73. Pană, T.- Mecanica ruperii materialelor, București, 1992.
74. Popov P. Egor,-Introduction to mechanics of solid Pretince-Hill, Inc., London, 1968.

75. Popescu, Al., Teodorescu, A.- Bazele mineritului și mecanica rocilor, Ed.Didactică și Pedagogică, București, 1983.
76. Rades, M.-Rezistența materialelor, Editura Printech, București, 2004
77. Reddy, I. N.- An introduction to the FINITE ELEMENT METHOD Mc.Grow-Hill, 1993.
78. Rusu, O., Teodorescu, M., Lascu, S.- Oboseala metalelor, vol.I-II Ed.Tehnică, București, 1992.
79. Rusu, Șt.- Mașini-unelte.Îndrumător de laborator,vol. 1, ICB 1984.
80. Sauer, L., Ionescu, C.- Scule pentru frezare, Ed.Tehnică, București, 1977.
81. Simions, Dieter - Handbuch für Anwendung von Kaltfräsen, 2003.
82. Ștefanescu, M.- Tehnologii și mașini utilizate la reabilitarea drumurilor, referat de doctorat, UTCB, 2004.
83. Ștefanescu, M.- Determinarea experimentală a rezistențelor la frezarea straturilor de uzură a drumurilor, referat de doctorat, UTCB, 2004
84. Ștefanescu, M.- Studiul theoretic al procesului defrezare a straturilor de uzură a drumurilor, referat de doctorat, UTCB, 2004.
85. Ștefănescu, M., Negriu, R., **Daș, I.D** - Determinarea experimentală a rezistențelor la frezarea straturilor de uzură ale drumurilor.
86. Ștefanescu, M.- Contribuții asupra optimizării procesului de frezare a straturilor de uzură a drumurilor, teza dedoctorat 2005.
87. Tămășanu, D.- Mașini cu organe rotative pentru prelucrarea solului , Ed.Ceres.
88. Tripa, P., Faur, N.- Metode teoretice și experimentale pentru determinarea stării de tensiune și deformație, Timișoara, Lito U.T.T., 1994.
- 89.Ulea, M., Purcarea, R., Munteanu, V. -Statica tehnică.Aplicații - Editura Universității Transilvania din Brașov, 2006, ISBN 978-973- 635-772-5.
- 90.Wempner, G.-Mechanics of Solids, PWS Publising Company, Boston, 1995.
- 91.Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A., Idoraș, A.- Metode de refacere ale stratului de uzură al îmbrăcăminților asfaltice, Al VI-lea Simpozion Național deUtilaje pentru Construcții, U.T.C.B., București, 1997.
- 92.Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A., Idoraș, A.- Utilaje moderne pentru refacerea stratului de uzură la îmbrăcămințile asfaltice, Al VI-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, U.T.C.B., București, 1997.
- 93.Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A.- Ecologizarea lucrărilor de refacere a îmbrăcăminților asfaltice, Al II-lea Colocviu Național Tehnic interdisciplinar, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 1995.
- 94.Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A. - Procesul de lucru al stabilizatoarelor rutiere, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr.64, decembrie 2004.
- 95.Zafiu, Gh. P. - Freze rutiere.În "Revista de unelte și echipamente", nr.19, martie 2002.
- 96.Zafiu, Gh. P. - Frzezele rutiere. În "Drumuri poduri", Anul XII, nr.64, martie-aprilie 2002.
- 97.***- Construcția drumurilor.Încercări de laborator,CFDP, EUROHOT, 2000.
- 98.***- Standarde privitoare la lucrările de drumuri.
- 99.*** - Strategia de reabilitare a drumurilor naționale, MLPAT (IPTANA), 2001
- 100.***- Ordonanța privind regimul juridic al drumurilor, monitorul oficial, nr.138 bis/1998.
- 101.***- Norme privind încadrarea în categoria drumurilor de interes, național, monitorul oficial, nr.138 bis/1998.
- 102.***- Norme tehnice privind proiectarea, construirea și modernizarea drumurilor, monitorul oficial, nr.138 bis/1998.

- 103.***- Norme tehnice privind proiectarea și reabilitarea străzilor în localitățile urbane monitorul oficial, nr.138 bis/1998.
- 104.***- Ghid pentru lucrări de frezare, Wirtgen GmbH, 1991.
- 105.***- Wirtgen Cold Reczcling Manual, Wirtgen GmbH, November 1998.
- 106.***- Pavement rehabilitation with cold milling mashines, (Advice and applications), Wirtgen GmbH, 1990.
- 107.***- Rehabilitation of a heavily trafficked road, (Pavement investigation and construction report), Wirtgen GmbH, 1999.
- 108.***- The truth about remixing asphalt, Better Roads, Wirtgen GmbH, Decembrie 1987.
- 109.***- Material and Process Procedure, Principles for the Hot Recycling Process, Wirtgen GmbH.
- 110.***- Calculating the working performance of cold milling machines, Wirtgen GmbH.
- 111.***- Calculating performance of cold milling machines. Broșură editată de firma Wirtgen în 1997.
- 112.***- Reglementări tehnice privind administrarea, calitatea, execuția și exploatarea domeniului rutier, AND.
- 113.***- Colecția revistei International Construction, 1990-2004.
- 114.***- Prospecte ale firmelor: Writgen GmbH, CMI Corporation, Bomag GmbH, Hamm AG, Vielhaben, Caterpillar, Bitelli, Roadtec, Boart Longyear.

**Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT”
seria 9: Inginerie Mecanică**

1. **Gheorghe-Vasile Abrudan** – *Contribuții teoretice și experimentale privind aplicarea șocurilor în procesul de lucru al separatorului cu bandă, de la mașinile de treierat mazăre, ISBN 978-973-625-567-0, (2007);*
 2. **Ioan Goia** – *Studiul influenței ansamblului roată – șină în condiții de exploatare asupra structurii liniei de tramvai, ISBN 978-973-625-582-3, (2007);*
 3. **Adrian Aristide Voicu** – *Studiul biocompatibilității implantelor chirurgicale din aliaje de titan în organismul uman, ISBN 978-973-625-502-1, (2007);*
 4. **Alin-Daniel Rus** – *Studii și cercetări asupra comportării mecanice a unor materiale compozite pentru frânarea vehiculelor feroviare, ISBN 978-973-625-596-0, (2008);*
 5. **Luisa-Izabel Dungan** – *Contribuții la studiul și cercetarea comportării arcurilor de tip flexicoil de la locomotiva electrică CFR 060-EA de 5100 kW, ISBN 978-973-625-599-1, (2008);*
 6. **Gabriel-vasile Ursu-Neamț** – *Contribuții la optimizarea parametrilor cuplei elastice și a influenței acesteia asupra circulației în curbă a locomotivelor cu boghiuri articulate, ISBN 978-973-625-602-8, (2008);*
 7. **Gheorghe Cornea** – *Cercetări asupra rigidității unei mașini pentru încercări de conductori și cabluri cu lungimi de peste 10m, (2008);*
 8. **Ionică Cărăbaș** – *Contribuții privind biomecanica și recuperarea postoperatorie a articulației genunchiului cu implant restaurador total, ISBN 978-973-625-636-3, (2008);*
 9. **Lelia Dobjanchi** – *Contribuții privind aportul centralei pe cărbune ROMAG TERMO la poluarea aerului și măsuri pentru reducerea acesteia, ISBN 978-973-625-628-8, (2007);*
 10. **Gheorjon Lorand Toth** – *Studiul influenței construcției și condițiilor de utilizare asupra fiabilității cablurilor de oțel, ISBN 978-973-625-539-7, (2007)*
-



EDITURA POLITEHNICA