

1. INTRODUCERE

1.1. Definirea și rolul tribologiei

Tribologia este o disciplină relativ nouă și care a apărut din necesități industriale, odată cu creșterea performanțelor mașinilor, utilajelor, aparatelor etc. (viteza, presiunile de contact, rigiditatea). Ca definiție, tribologia este știința care studiază fenomenele fundamentale de frecare, uzare, ungere și consecințele acestora asupra funcționării corecte a ansamblului respectiv.

Din punct de vedere fizic, tribologia se ocupă cu fenomenele complexe care apar la interfața a două corpuri cu mișcare relativă. Explicarea acestor fenomene și aplicarea lor pentru optimizarea constructivă au la bază cunoștințe din domeniile mecanicii solidelor deformabile, curgerii fluidelor, reologiei, transferului de căldură, științei materialelor și chimiei.

Tribologia poate fi caracterizată prin trei aspecte:

- i) **Aspectul economic** poate fi estimat prin faptul că aproximativ 30% din energia produsă este consumată prin frecare. Ca o consecință directă a frecării este procesul de uzare, cu efecte asupra durabilității și funcționabilității mașinii, utilajului, articulației artificiale, sculei etc.
- ii) **Aspectul științific** pune în evidență procese mecanice ireversibile în timp cu efecte complexe de disipare a energiei în materiale solide sau fluide.
- iii) **Aspectul pluridisciplinar** derivă din interacțiunea diferitelor procese la nivelul micro și macrocontactului și-n prezența mișcării relative.

Evoluția istorică a cunoștințelor tribologice se poate evidenția pe următoarele perioade:

a) Perioada antică

Pentru transportul piramidelor din Egipt s-au utilizat lubrifianți, probabil apă sau ulei vegetal. Acest aspect "tribologic" este evidențiat în frescele realizate pe teme istorice prin remarcarea unui lucrător cu o oală din care curge un lichid, lucrătorul fiind plasat pe piramidă la "intrarea contactului" cu solul.

b) Perioada medievală

Leonardo da Vinci (1508) a demonstrat existența unui raport constant dintre forța ce se opune mișcării și forța de gravitație. Acest raport este constant pentru toate materialele și are valoarea $f' = 0,25$.

Ceva mai târziu, Amontons (1663-1705) și Coulomb (1736-1806) au enunțat legile frecării uscate:

- forța de frecare este proporțională cu forța normală;
- coeficientul de frecare este independent de mărimea suprafeței de contact și de viteză;
- coeficientul de frecare static este mai mare decât cel cinetic.

Coeficientul de frecare este considerat ca o proprietate intrinsecă a materialului.

c) Perioada modernă

În această perioadă s-au făcut studii referitoare la:

- lubrifianți (solizi, lichizi, gazoși);
- legile frecării fluide (regim hidrodinamic, elastohidrodinamic);
- utilizarea materialelor cu coeficienți de frecare ridicați.

Rolul preponderent al cercetărilor tribologice este de a minimiza coeficientul de frecare, ca de exemplu pentru lagăre cu alunecare, rulmenți, roți dințate etc. sau de a maximiza acest coeficient, ca de exemplu pentru variatoare de turație, frâne, ambreiaje etc.

Indiferent de valorile coeficientului de frecare, se urmărește ca intensitatea sau viteza de uzare să fie minimă. În cazul prelucrării prin așchiere se consideră ca "uzura piesei – adâncimea de așchiere" să fie maximă, iar uzura sculei (cuțit) să fie minimă.

Studiul frecării trebuie totdeauna corelat cu temperatura, viteza, lubrifiantul, calitatea suprafețelor și proprietățile reologice ale materialelor.

1.2. Aspectele tribologice la nivel macroscopic și microscopic

Mecanismul de apariție a forței de frecare dintre două corpuri cu mișcare relativă poate fi analizat la nivelul moleculelor (microscopic), utilizând elementele de fizică și chimie moleculară. Forța de frecare fiind în acest caz, rezultanta forțelor de natură electrostatică și de tip Van der Waals.

La nivel macroscopic, forța de frecare este considerată ca rezultanta forțelor de adeziune, de deformare elastică și plastică și a forțelor electrostatice de pe suprafața reală de contact.

Procesele de uzare la nivel microscopic au în vedere ruperea legăturilor moleculare ca urmare a forțelor exterioare provenite din sarcinile ce trebuiesc transmise și a tensiunilor interne provenite din procedeele tehnologice de obținere a materialelor și a suprafețelor de contact.

La nivel macroscopic, mecanismele de uzare au la bază deteriorarea materialelor la oboseală oligo sau multiciclică și deformațiile plastice determinate de starea multiaxială de tensiuni.

1.3. Frecarea exterioară și interioară

Frecarea exterioară este considerată ca fiind frecarea de la interfața dintre două suprafețe, dintre care cel puțin una este solidă.

Frecarea interioară este consecința proceselor cinetice și moleculare cu disipare de energie. La nivelul stării de agregare lichide și gazoase, frecare internă se evaluează prin viscozitatea dinamică sau cinematică.

De exemplu, la contactul unui pneu de autovehicul cu calea de rulare, se poate evidenția frecarea exterioară ca adeziune și frecarea interioară, ca o creștere a temperaturii pneului, cauzată de deformațiile elastice.

1.4. Conceptul de sistem

Problema considerării subiectelor tribologice multidisciplinare se consideră ca esențială.

Aplicarea teoriei generale a sistemelor implică respectarea a două condiții:

(i) Interacțiunile dintre “părți” trebuie să fie inexistente sau, cel puțin destul de mici pentru a putea fi neglijate. Această condiție conduce la faptul că “părțile” pot fi primele izolate, logic, matematic și reasamblate.

(ii) Relațiile ce descriu influența “părților” trebuie să fie liniare; numai aceasta este condiția de “sumativitate” (însurmare); procesele parțiale pot fi suprapuse în procesul total.

Kennet Boulding a sugerat o ierarhizare a sistemelor pe următoarele trei direcții:

- (i) sistemele se împart în clase la diferite nivele de complexitate.
- (ii) Toate legile logice și empirice, valide la nivelul cel mai de jos sunt de asemenea aplicabile la orice nivel mai înalt.
- (iii) Nivelul cel mai înalt, nivelul cu cel mai mare număr de elemente necunoscute și legi neștiute, constituie un sistem particular de lucru.

Descriere sistemului

Definiția generată a sistemului este conținută în fraza: “un sistem este un set de elemente interconectate prin structură și funcțiuni”.

Un sistem este numit “deschis” când se produc interschimbările de masă și energie cu “exteriorul”, iar când aceste interschimbări sunt neglijabile, sistemul este “închis”. În primul caz, spre exemplu, transformările energiei cinetice în căldură sau alte forme de energie, prin procese ireversibile conduc la “sisteme disipative”.

În general, caracteristicile unui sistem sunt prezentate sumar în fig. 1.1, simbolurile utilizate au următoarea semnificație:

(I) Structura

Structura sistemului este definită prin:

- a) setul de elemente (A)
- b) proprietățile relevante ale elementelor (P)
- c) cuplarea elementelor, specificând relațiile între elemente (R)

Cu aceste definiții structura sistemului poate fi reprezentată prin setul

$$S = \{A, P, R\}$$

(II) Intrări, ieșiri

Fiecare sistem poate fi, schematic, separat printr-o anvelopă sau suprafață de control de “mediul exterior”. Conexiunile între sistem și “mediu” sunt:

- a) intrări {X} și
- b) ieșiri {Y}

(III) Funcțiuni

Funcția sistemului – utilizată pentru anumite chestiuni tehnice – este de a transforma intrările {X} în ieșiri {Y}. Transformarea (T) a intrărilor în ieșiri poate fi descrisă în termenii ecuațiilor matematice sau analogie fizică sau descriere verbală etc.

Definiție: *Un sistem este un set de elemente interconectate prin structuri și funcțiuni*

(I) Structură $S = \{A, P, R\}$

a) Elemente

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (n - \text{numărul elementelor})$$

b) Proprietăți

$$P = \{P(a_i)\}$$

c) Relații

$$R = \{R(a_i, a_j)\}$$

(II) Intrări {X}, Ieșiri {Y}

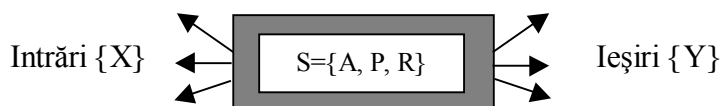
(III) Funcția $\{X\} \xrightarrow{T} \{Y\}$

Fig. 1.1

Pentru caracterizarea funcției sistemului, există trei metode diferite:

a) Starea dinamică. Ecuații diferențiale

Dacă intrările și ieșirile variază în timp, sistemul se găsește în stare “dinamică”. Starea dinamică se reprezintă printr-un sistem de ecuații diferențiale, numite “ecuații de mișcare”.

b) Starea sigură. Liniaritatea

În anumite cazuri un sistem poate fi în echilibru dinamic, starea sigură, regulată. Ca urmare, ieșirile {Y} sunt adesea deschise de superpoziția liniară a intrărilor {X} prin reprezentarea algebrică.

c) Proces stocastic. “Zgomot”

În sistemele reale relația funcțională intrări-ieșiri este influențată de procese stocastice (aleatoare), efectele dinamice având anumite distribuții aleatoare, generând un “zgomot” statistic. În

aceste situații, se estimează pe baza teoriei probabilităților limitele de aplicabilitate ale funcției $\{X\} \rightarrow \{Y\}$.

Descrierea “structurată” a sistemului este esențială pentru partea “internă” a elementelor, iar cea “funcțională” ca parte “externă” a interacțiunilor cu mediul.

Bilanț energetic. Rețele. Analogii

În caracterizarea dinamică a sistemelor trebuie introdus conceptul bilanțului generalizat de energie: puterea este zero, dacă se însumează toate procesele de stocare și transformare a energiei în timp:

$$\Delta E=0$$

Variabilele fizice ale sistemului (intrări și ieșiri) pot fi clasificate convențional în “directe” sau “finale” (de traversare). Variabilele directe măsoară transmiterea semnalului într-un element, de exemplu, curentul electric într-o rezistență, forța într-o piesă.

Variabilele “finale” măsoară diferența dintre starea finală și inițială a elementului, de exemplu, căderea de tensiune pe un rezistor, viteza în mecanică.

În această conexiune este importantă analogia dintre sistemele fizice, tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

| Disciplina | Variabile “finale” (tensiuni, “efort”) | Variabile directe (debit) |
|-----------------------|---|------------------------------|
| Electrotehnică | Tensiune electrică, u | Curent electric, i |
| Mecanică (translație) | Viteză, v | Forță, F |
| Mecanică (rotație) | Viteză unghiulară, ω | Moment, M |
| Termodinamică | Temperatura absolută, T | “Debit” de entropie, S |
| Fluide | Presiunea, p | Debit volumic, V |

Prin analogia electrică a sistemelor mecanice se pot aplica legile lui Kirchoff:

I – Legea nodurilor – suma tuturor “variabilelor directe” în orice nod este nulă (în mecanică principiul D’Alembert);

II – Legea rețelilor (ochiurilor) – suma tuturor “variabilelor finale” pe rețea este nulă.

Clasificarea sistemelor

Sistemele fizice sau ingineresti sunt compuse din componente materiale ale căror proprietăți, interrelații se pot schimba în timp.

După Horbert Wiener, intrările și ieșirile sistemelor pot fi clasificate în trei categorii: materie, energie și informație.

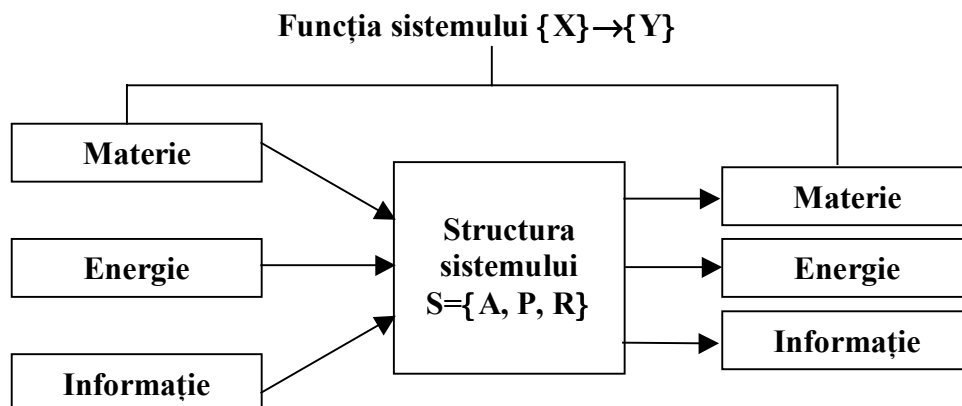


Fig. 1.2

Sistemul poate fi reprezentat printr-o “cutie neagră” (fig. 1.2).

Din punct de vedere funcțional, intrările și ieșirile din sistemele fizice și ingineresti pot fi descrise formal prin matricea reprezentată în tabelul 1.2. Cele trei categorii de intrări și ieșiri (materie, energie și informații) sunt subdivizate, astfel că un punct situat la intersecția intrărilor și ieșirilor reprezintă o anumită clasă a sistemului și corespunde unui anumit domeniu al științei sau tehnologiei.

Tabelul 1.2

| Intrări {X} | | | Ieșiri {Y} | | | | | | | | | | |
|-------------|---|-----------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k |
| Materie | a | Solide | | | | | | | | | | | |
| | b | Lichide | | | | | | | | | | | |
| | c | Gaze | | | | | | | | | | | |
| | d | Particule | | | | | | | | | | | |
| Energie | e | Mecanică | | | | | | | | | | | |
| | f | Termică | | | | | | | | | | | |
| | g | Electrică | | | | | | | | | | | |
| | h | Magnetică | | | | | | | | | | | |
| | i | Nucleară | | | | | | | | | | | |
| Informație | j | Analog | | | | | | | | | | | |
| | k | Digital | | | | | | | | | | | |

Funcțiile sistemelor tribologice

Conceptul de sistem tribologic are în vedere aplicarea metodelor de analiză a interacțiunilor mărimilor de intrare și ieșire utilizate în alte domenii, de exemplu electrotehnică.

Din punct de vedere fizic se disting cinci funcțiuni de bază ale sistemelor tribologice:

- ghidarea, cuplarea și oprirea mișcării;
- transmiterea energiei și puterii;
- generarea sau reproducerea informațiilor;
- transportul materialelor;
- formarea materialelor.

În anexa A.1.1. sunt prezentate aceste funcțiuni și exemple de sisteme sau procese tribo-ingineresti.

Din punct de vedere extern, sistemul sau procesul tribologic trebuie considerat ca o “cutie neagră” cu intrări și ieșiri, prezentată schematic în fig. 1.3.

Parametrii operaționali ce trebuiesc considerați în caracterizarea sistemelor mecanice sunt indicați în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3.

| Cantități de intrare și ieșire | Variabile primare | Variabile derivate |
|--------------------------------|--|--|
| Energie (mișcare) | Forță/Moment Poziție/Dimensiune | Putere Viteză de rotație Viteză de translație |
| Termice (transfer de căldură) | Temperatură Căldură specifică Entropie specifică | Viteză de transfer a căldurii Viteză de transfer a entropiei |
| Masă (transfer de masă) | Compoziție Energie liberă | Viteză de transfer de masă Viteză de transfer de energie liberă |
| Informație | Poziție Forță/Moment | Frecvență Fază |

Structura sistemelor tribomecanice

În acord cu teoria sistemelor, structura unui sistem este caracterizată prin elementele sau componentele sistemului, proprietățile lor relevante și relațiile dintre elemente.

Cea mai simplă structură a unui sistem mecanic este formată din două corpuri solide (1) și (2)

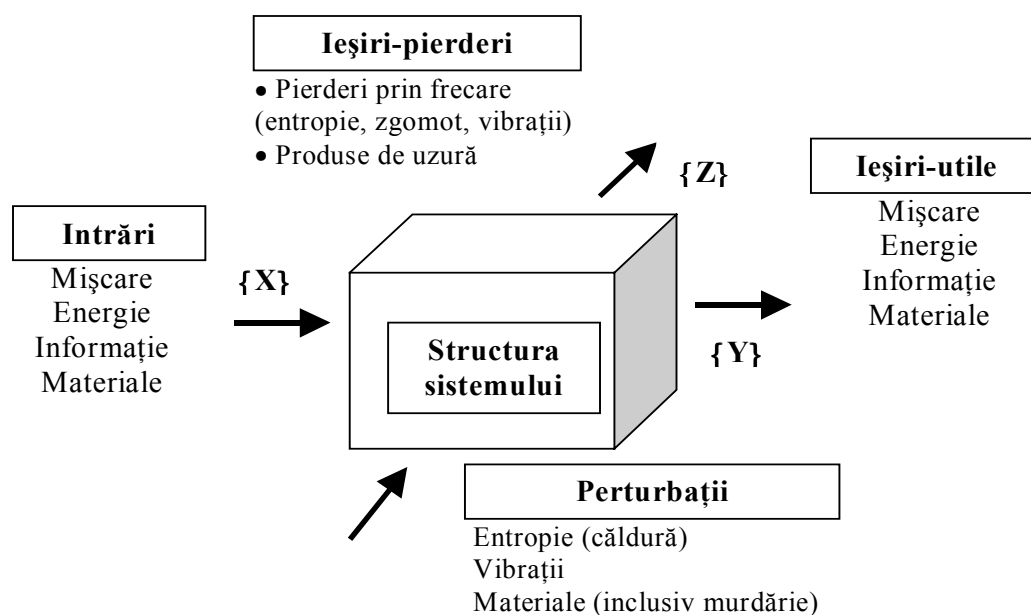


Fig. 1.3

cu schimb mecanic prin suprafața de contact (fig. 1.4). Exemple de sisteme tribomecanice biotribologice sunt date în anexa A.1.2 .

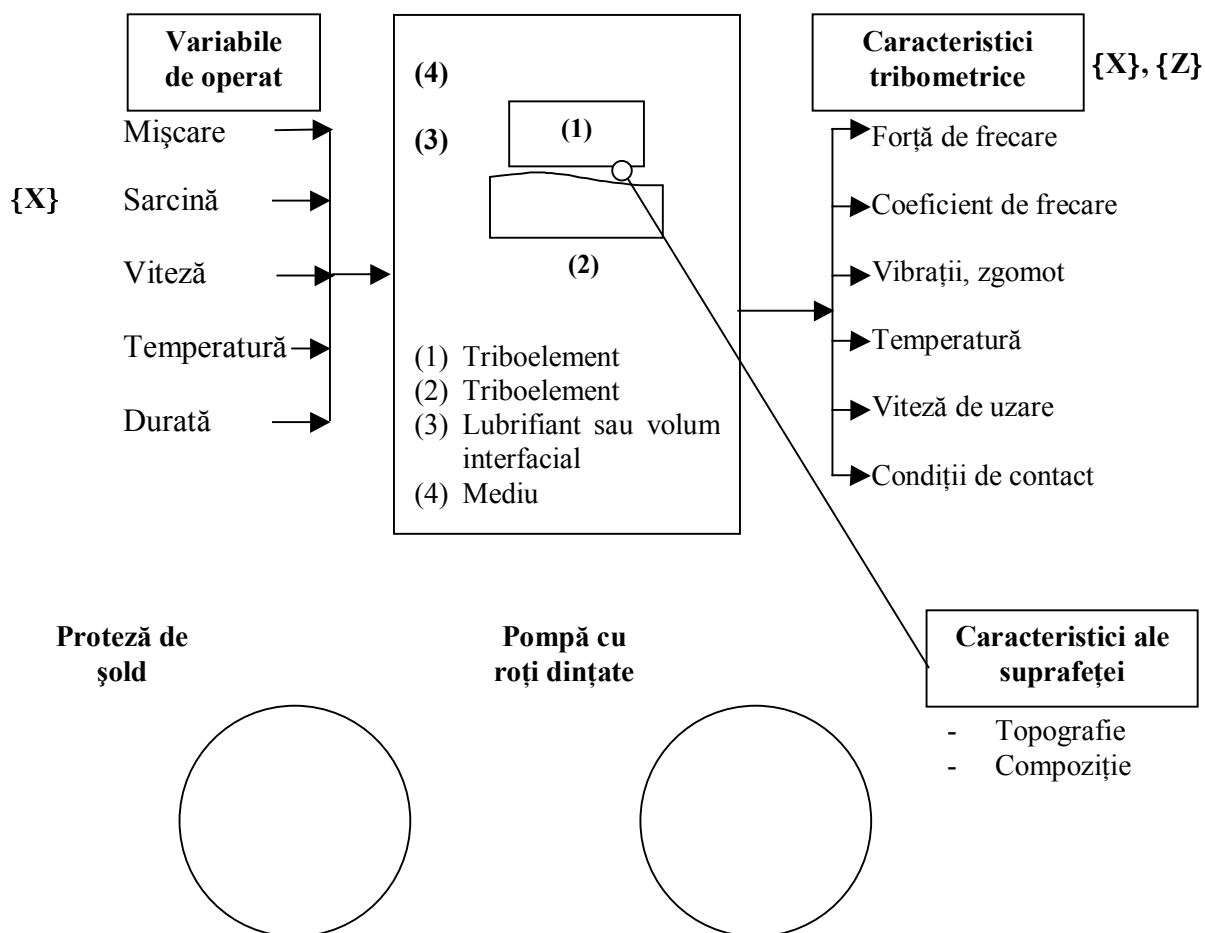
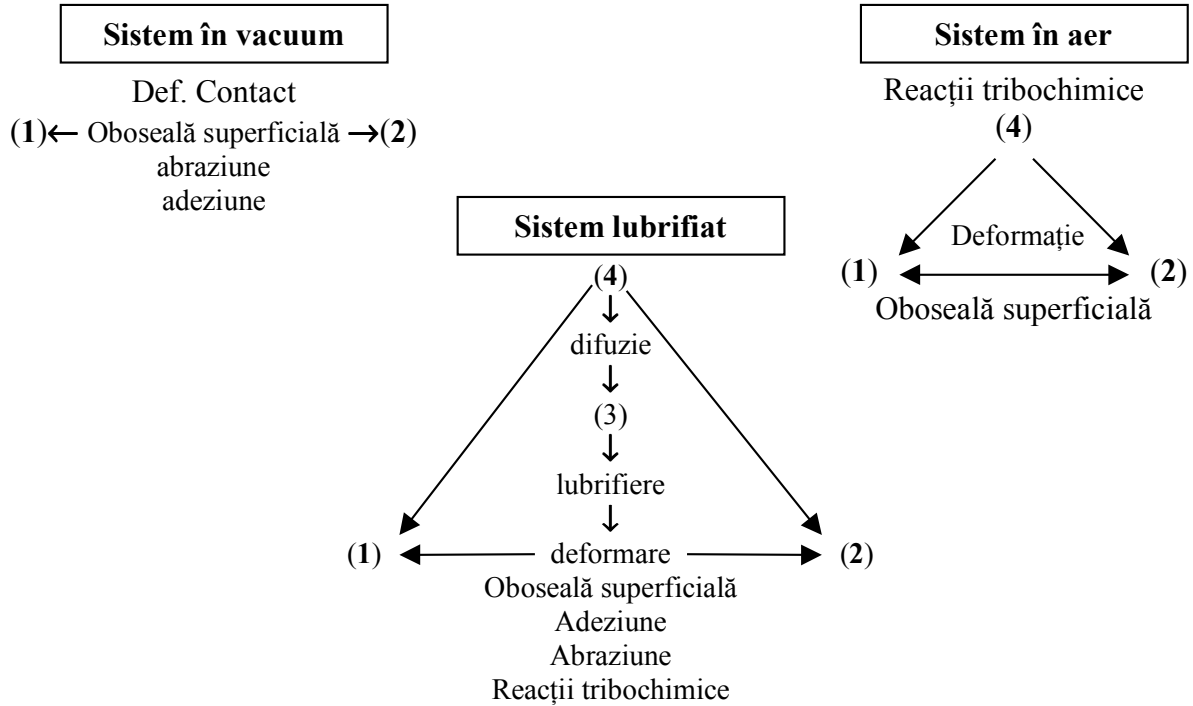


Fig. 1.4

| | | | |
|-----------------------|--|--|--|
| Variabilele de operat | Tip mișcare | Alunecare Rostogolire Spin Impact | Continuă Oscilatorie Reciprocă Intermitentă |
| | Sarcina, F_n Viteza, v Temperatura, T Distanța de mișcare, s Durata, t | | |

Reprezentarea schematică a interacțiunilor tribologice



Procesele tribologice se pot analiza în următoarele plane: funcțional, energetic, termic și de material. Schimburile dintre aceste plane permit explicarea unora dintre comportările la frecare și uzare.

În **planul lucrului mecanic** (energetic) – elementele (1) și (2) acumulează (stochează) energie. Pierderile $\{Z^w\}$ se manifestă prin zgomot, radiații etc.

Ecuatii bilanțului puterilor este de forma

$$\sum \dot{E}_x^w = \sum \dot{E}_y^w + \sum \dot{E}_z^w + \sum \dot{E}_s^w + \sum \dot{E}^{WT}$$

în care:

\dot{E}_x^w - puterea de intrare;

\dot{E}_y^w - puterea utilă la ieșire

\dot{E}_z^w - rata (viteza) pierderile de energie la ieșire

\dot{E}_s^w - energia stocată

\dot{E}^{WT} - energia termică transformată din lucrul mecanic.

Pentru un singur element, j:

$$\sum_{\text{toate } i} \dot{E}_{ij}^w = \sum_{\text{toate } i} \dot{W}_{ij}^w - \sum \dot{E}_j^w + \sum \Delta \dot{E}_{sj} + \sum \dot{E}_j^{WT} + \sum \dot{E}_j^{WM}$$

în care materiale "P" se referă la toate elementele cu care elementul "j" are schimburi de energie și

\dot{E}_{WM}

este absorbția de putere mecanică și se va discuta la planurile materialelor.

Bilanțul energetic trebuie să ia în considerare și procesele tribologice prin care se acumulează, transformă, emite și disipă lucrul mecanic. Toate aceste fenomene se conectează cu procesele de contact, de deformare și de frecare la interfața elementelor (1) și (2) ale sistemului tribomecanic. În tabelul 1.4 sunt listate câteva procese de bază.

Tabelul 1.4

| Shimb de lucru mecanic | Procese |
|--------------------------------|--|
| Transferarea lucrului mecanic | Deformații elastice |
| Transformarea lucrului mecanic | Mecanisme de frecare - histerezis elastic - deformații plastic - adeziune |
| Disiparea energiei | Stocarea energiei Emisia de energie Conducția în alte plan conceptuale |

În **planul termic**, procesele au la bază transformările lucrului mecanic în entropie, puterii mecanice în putere termică care se produc după relația:

$$\dot{E}_j^{WS} = \dot{S}_j T_j$$

unde \dot{S}_j este viteza de generare a entropiei în elementul j și T_j este temperatura absolută.

Puterea termică generează uzual modificarea temperaturii și creșterea entropiei, rezultând un transfer prin conducție sau radiație prin intermediul frecării. Căldura și entropia pot fi transferate între elementele sistemului. Mărimile de intrare pentru planul termic provin din planurile materialelor.

Planele materialelor au în vedere procesele de transfer de masă și de transformare de masă în procesele de uzare a sistemelor mecanice.

Pierderile din planurile materialelor sunt surse de creșterea entropiei în planul termic.

Analiza sistemului tribologic în diferite plane și diferiți specialiști (mecanici, chimiști, fizicieni) permite surprinderea fenomenului complex de frecare și uzare sau de ungere.

Stabilirea funcțiilor sistemului și interconexiunile dintre elemente pot conduce la soluții tribologice optime.

1.5. Tipuri de articulații umane

Articulațiile umane sunt legături între cele 208 oase ale scheletului (fig.1.5 a,b)

Din punct de vedere tribologic, se consideră importante următoarele:

- tipul articulației și tipul mișcării;
- viteza, frecvența și numărul ciclurilor de lucru ale articulației;
- sarcina și presiunea de contact;
- mediul lichid și temperatura.

Articulațiile umane permit una sau mai multe dintre următoarele mișcări (fig.1.6 a,b,c)

- flexie și extensie în planul sagital;
- abducție și adducție în planul frontal;
- rotație în jurul unei singure axe;
- circumducție – mișcare după un con și este o combinație de flexie, abducție, extensie și adducție;
- mișcări speciale:

- supinație și pronție
- inversie și eversie.

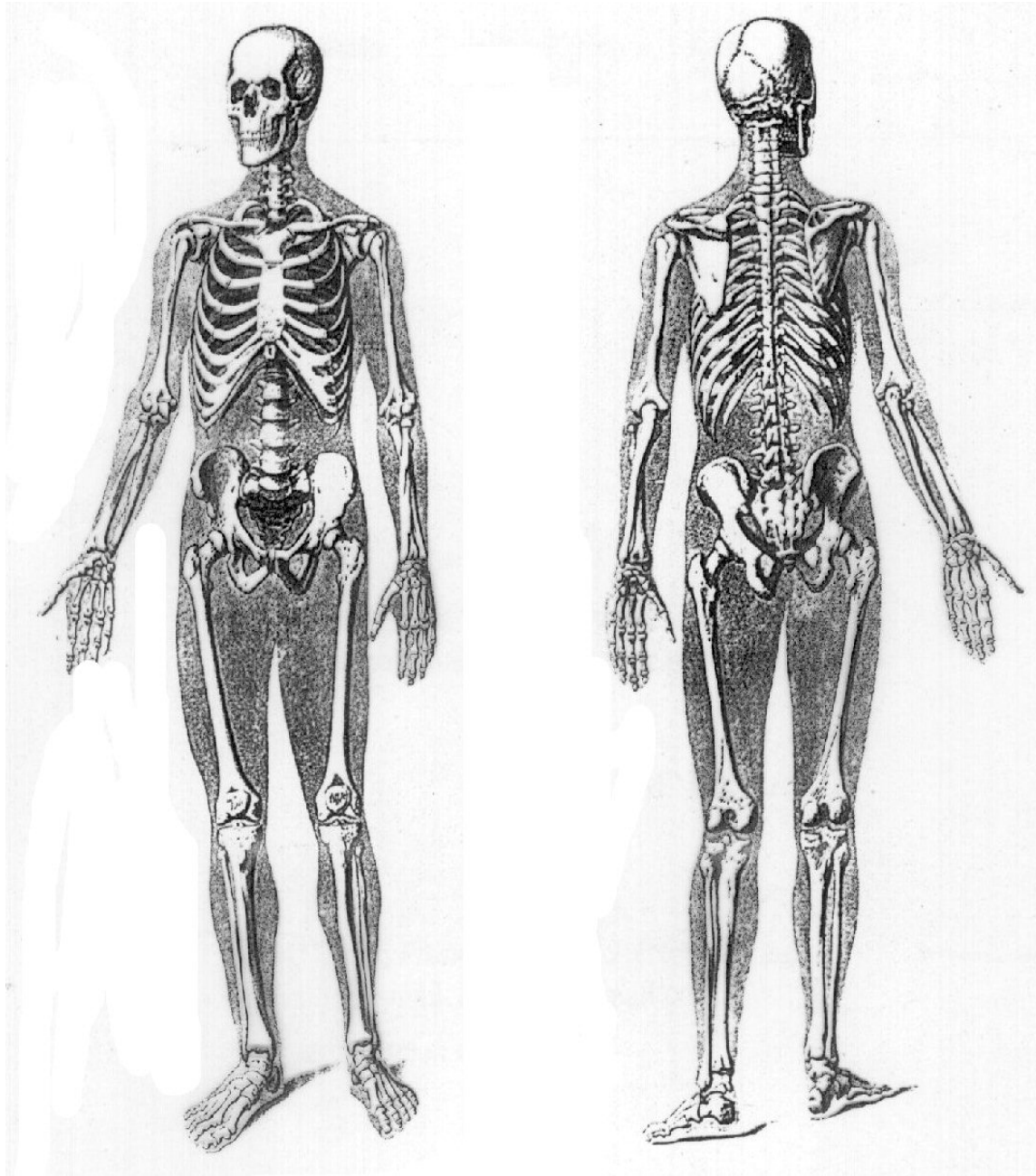
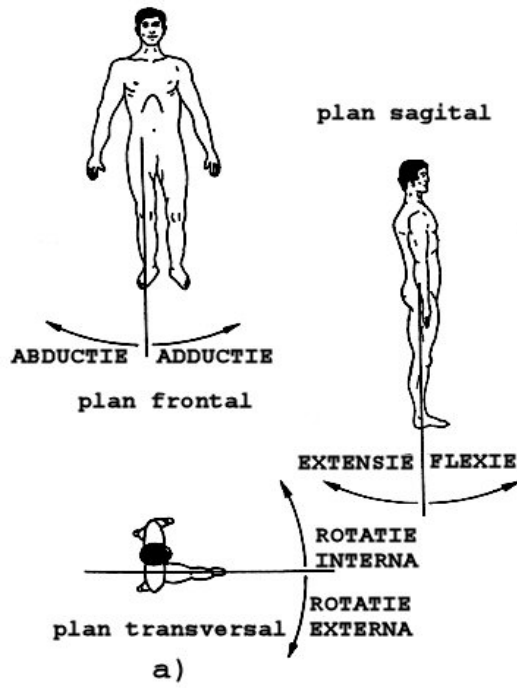


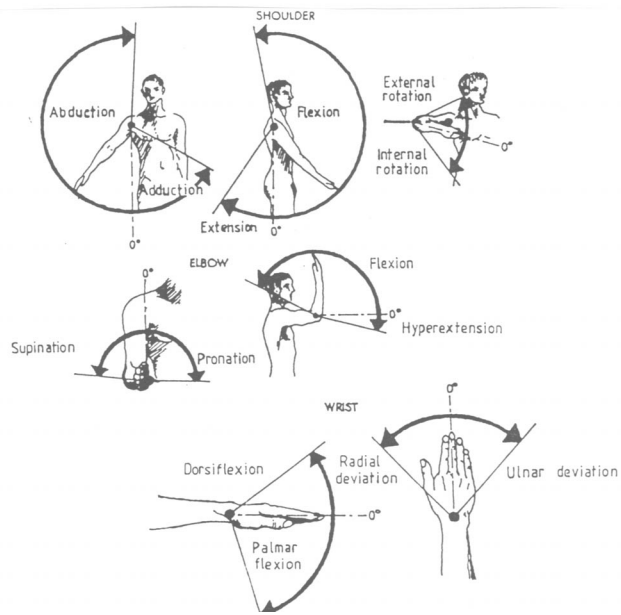
Fig. 1.5. Scheletul și articulațiile umane (scara 1:5).



erse Plane ↙

a)

b)



b)

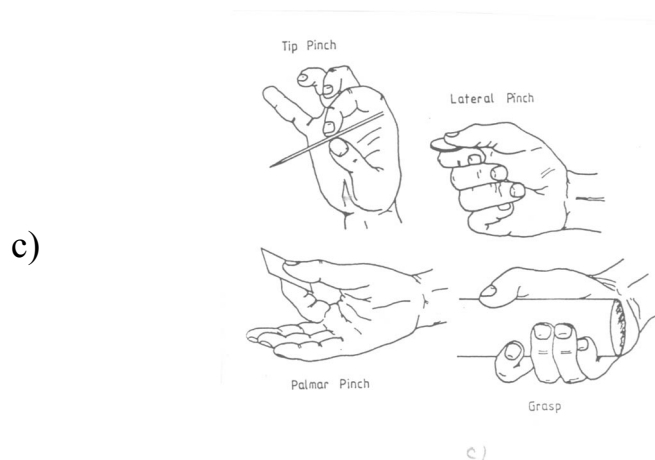


Fig. 1.6. Tipuri de mișcări anatomice ale șoldului (a), umărului (b) și mâinii (c).

Centrele de rotație ale diferitelor articulații se modifică și depind de geometria articulației. Se definește un centru instantaneu de rotație (CIR) al articulației. Se exemplifică CIR pentru articulație de genunchi (fig.1.7)

. Mișcarea din articulații trebuie evidențiată ca funcție de activitate sau de starea de repaus.

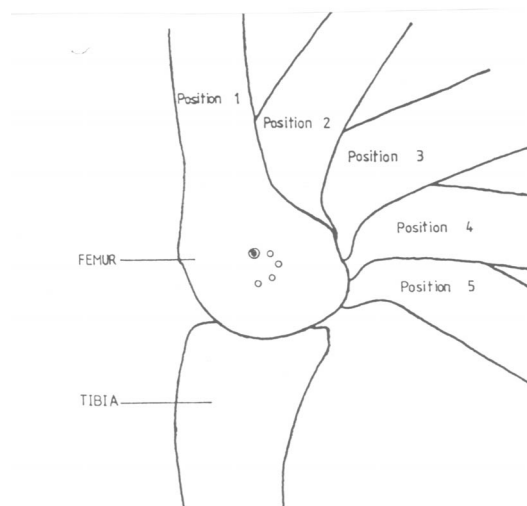


Fig. 1.7. Centrul instantaneu de rotație în planul sagital

În funcție de natura legăturilor se disting trei tipuri de articulații:

- a) **synartroze** (articulații prin continuitate) = articulații sub formă de țesuturi de interpoziție; pot fi fixe și semimobile;

- b) **diartroze** (articulații prin contiguitate) = legătura dintre oase cuprinde o cavitate articulară, o capsulă articulară și un contact osos limitat și intermitent; pot fi numai mobile;
- c) **amfiartroze** – realizează mișcări de mică amplitudine datorită unor suprafețe articulare neregulate și cu ligamente puternice (combinație synartroză cu diartroză).
- a) **Synartrozele**, în funcție de tipul de țesut care realizează legătura dintre cele două oase, pot fi (fig. 18 a,b,c,d,e,f,g):
- a₁) **syndesmoze** = țesut format din fibre de colagen sau fibre elastice dispuse sub formă de:
- a_{1.1}) – *membrană interosoasă* (antebraț sau gambă)
 - a_{1.2}) – *ligamente galbene* (intercalate între lamele vertebrale)
 - a_{1.3}) – *suturile* = articulațiile fixe dintre oasele craniului = țesut fibros = ligament sutural; la ≈ 20 ani, ligamentul sutural începe să fie înlocuit de țesut osos
 - a_{1.4}) – *schindylezis* = articulație specială în care fixarea se obține prin angrenare
 - a_{1.5}) – *gomphosis* = fixarea dinților în rostul alveolar.
- a₂) **syncondroze** = articulații temporare sau permanente, realizate prin osificare endocondrală, unite prin țesut cartilagin osos hialin sau fibrocartilagin osos
- a_{2.1}) – *cartilaje de creștere* = fize – realizează joncțiunea cartilaginoasă dintre epifize și metafize
 - a_{2.2}) – *cartilaje permanente*
 Exemplu 1: legătura coastelor cu sternul → realizează mecanica respiratorie;
 Exemplu 2: simfiza = articulație semimobilă: simfiza pubiană;
 articulație dintre două corpuri vertebrale cu discul intern.
- a₃) **synostoze** – pot fi considerate ca stadiul de evoluție finală a sycondrozelor și suturilor după terminarea perioadei de creștere (≈ 45 ani).



Membrana interosoasă a antebrăului



Ligamentele galbene

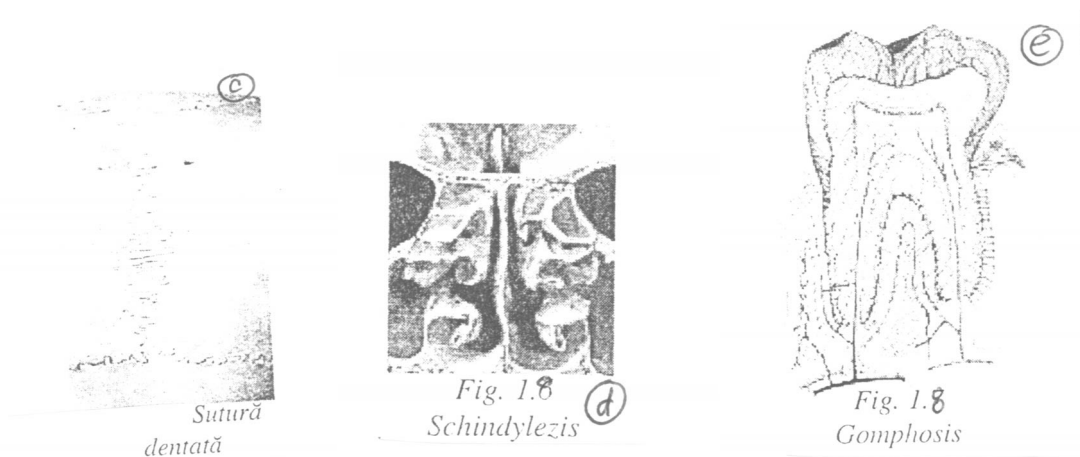


Fig. 1.8. Exemple de articulații de tip synartroze

b) **Diartrozele** cuprind: suprafețe articulare, capsulă articulară, cavitate articulară și anexe (ligamente, meniscuri, corpuri adipoase etc.). Suprafețele articulare sunt reprezentate de cartilajul hialin care acoperă majoritatea epifizelor osoase solidarizate prin intermediul unei articulații sinoviale.

1) **Cartilajul** - aspect alb-albăstrui sticlos

- grosime variabilă: 1 – 7 mm
- structură poroasă = burete impregnat cu lichid
- compresibil la forțe mici și elastic sub forțe mari
- caracteristici funcționale:

- rezistență la compresiune
- elasticitate
- distribuția sarcinilor și încărcarea uniformă a osului
- durabilitate

- suprafața: aparent netedă; în realitate prezintă microcavități sferice cu ϕ 20 nm și adâncimi de \cong 1 nm

- compoziție: celule (condrocite) \cong 1 % și matrice extracelulară \approx 99%.

În figura 1.9 se exemplifică câteva aspecte ale cartilajului.

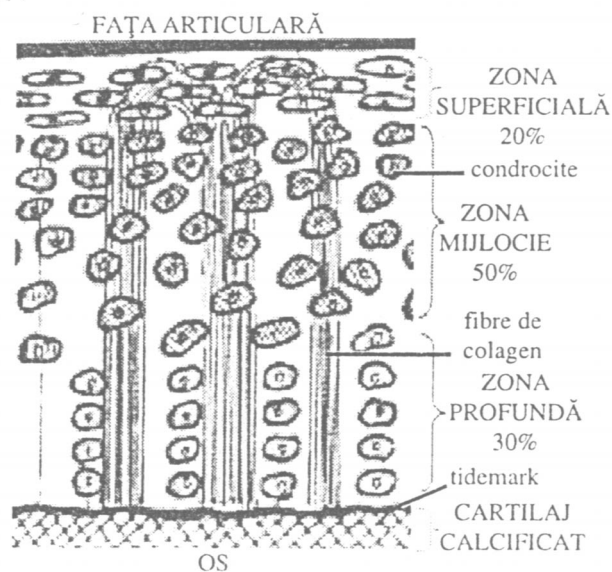


Fig.9. Compoziție de cartilaj

2) Capsula articulară cuprinde două straturi:

- stratul exterior = membrană fibroasă; conține fibre de colagen orientate și fibre elastice;
- stratul intern = membrană sinovială; aflat pe fața internă a membranei fibroase de care aderă intim.

Funcții ale membranei sinoviale:

- Funcția primară a membranei sinoviale constă în producerea lichidului sinovial
- Altă funcție – controlarea fluxului de electroliți, apă și proteine care trec spre și dinspre articulație = funcție de filtru.

3) Cavitățile articulare = spațiu capilar delimitat de membrana sinovială și suprafețele articulare.

Conține:

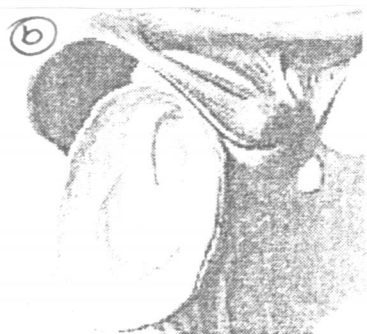
- fluidul sinovial.

Geometria cavității se modifică în funcție de presiunea de contact (sarcina suportată).

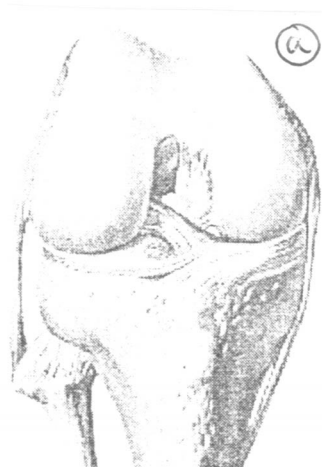
4) Anexele articulare

A. Ligamente = forme speciale de țesut conjunctiv cu rolul de a lega piese osoase sau cartilajinoase. Față de capsula articulară, se disting următoarele tipuri de ligamente (fig.1.10):

- ligamente capsulare – dezvoltate în grosimea capsulei respective;
- ligamente extracapsulare;
- ligamente intracapsulare.



Artic. scapulo-humerală



Artic. genunchiului

Fig.1.10.

Tipuri de ligamente

Din punct de vedere funcțional, ligamentele pot fi:

- ligamente de întărire a capsulelor; exligamentul iliofemural din structura capsulei șoldului care rezistă până la 6000 N tracțiune;
- ligamente de conducere a mișcărilor;

c) ligamente de limitare a mișcărilor.

B. Meniscurile și discurile articulare = formațiuni fibrocartilaginoase introarticulare care îmbunătățesc performanțele mecanice ale articulației.

B₁) – *Discul articular* este un sept fibrocartilaginos cu grosime variabilă interpus între suprafețele articulare care separă cavitatea articulară în două compartimente independente. Cele două compartimente sunt captonate de două membrane sinoviale independente.

B₂) – *Meniscul articular* este o formațiune fibrocartilaginoasă triunghiulară în secțiune, interpusă între suprafețele articulare. Meniscul realizează o compartimentare incompletă a cavității articulare, astfel că în centrul articulației suprafețele cartilaginoase rămân în contact.

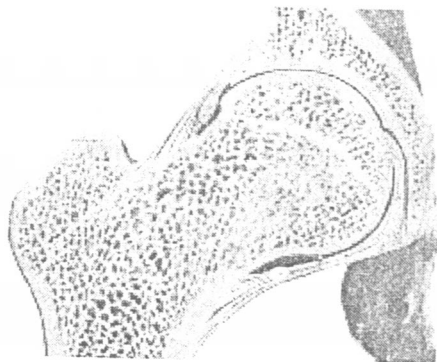
Funcții:

- preluarea șneurilor prin creșterea componentei suprafețelor articulare;
- distribuția uniformă a filmului de fluid sinovial în interiorul articulației contribuind la nutriția cartilajului articular;
- stabilitatea articulației.

C. Labrum-ul articular (buza articulară) = formațiuni de mărire a suprafețelor articulare.

Funcții:

- mărește stabilitatea în timpul mișcărilor
- mărește congruența articulară
- îmbunătățește lubrifierea.



Articulația șoldului – labrumul articular

Fig. 1.11. Labrum articular

D. Tecile sinoviale și bursele funcționează ca dispozitive de reducere a frecării interpusă între două planuri de mișcare. Caracteristica lor esențială este aceea de a crea o discontinuitate între planurile tisulare în translație pentru a favoriza alunecarea acestora.

Bursele au forma unor saci aplatizați căptușiți cu o membrană asemănătoare cu cea sinovială, situate în zonele unde mușchii, tendoanele, ligamentele sau pielea se mișcă în jurul unor proeminențe osoase.

Tecile sinoviale sunt reprezentate de saci sinoviali cu pereți concentrici, separați de un film de lichid sinovial, dispuși în continuitate la extremitățile sacului.

Tecile sinoviale au forma unor cilindri cu pereți dubli, peretele intern, atașat de tendon formând stratul visceral, iar cel extern, stratul perietal.

Clasificarea diartrozilor

1. După complexitatea anatomică:

a) *articulație simplă* – cuprinde două suprafețe articulare închise în aceeași capsulă = “moș-babă”.

De obicei suprafața convexă (masculină, “moș”) posedă o arie mai mare cu un cartilaj articular mai voluminos și mai gros în centrul suprafeței, în comparație cu suprafața concavă (feminină, “babă”) care este mai groasă la periferie.

b) *articulația compusă* este formată din mai mult de două suprafețe articulare cuprinse în aceeași capsulă (ex: articulația cotului)

c) *articulația complexă* este articulația în care un disc sau un menisc compartimentează interiorul cavității articulare.

2. După axele de mișcare și gradele de libertate

a) *articulații uniaxiale* – un singur tip de mișcare – de regulă rotație în jurul unui ax. De exemplu, articulația tibio-talară realizează mișcarea de flexie-extensie într-un plan sagital;

b) *articulații biaxiale* – pot realiza două mișcări de rotație complet independente față de două axe principale distincte. De exemplu, articulația radio-carpiană;

c) *articulații triaxiale* – realizează trei mișcări de rotație complet independente în trei axe de mișcare diferite. De exemplu, articulația șoldului.

3. După modalitatea de conducere a mișcării articulare sinoviale

a) *articulație cu conducere osoasă* – articulații uniaxiale în care direcția și amplitudinea mișcării sunt determinate de forma suprafețelor articulare. Pentru controlul mișcărilor “parazite” se folosesc ligamente colaterale, cu funcții de “hățuri”.

b) *articulații cu conducere ligamentară*: de exemplu, articulația șoldului

c) *articulații cu conducere musculară*: de exemplu, articulația umărului.

4. După modalitatea de funcționare – articulațiile pot lucra independent sau în combinație.

Articulațiile combinate pot fi cuplate prin:

a) *cuplaj muscular*

b) *cuplaj osos* – ex: articulația radioulnară proximală și distală formează cu radiusul și ulna un “paralelogram”.

5. După forma geometrică

a) *articulația plană* – ex: articulații intercarpiene, intermetatarsiene sau intervertebrale. Permit mișcări de translație;

b) *articulația în balama* – ex: articulația humeroulnară;

c) *articulația în pivot* – are un pivot central osos convex înconjurat de un inel osteofibros. Mișcarea relativă de pivotare se poate realiza fie prin rotirea pivotului (ex: articulația radioulnară, proximală), fie prin rotirea inelului (ex: articulația atlanto-axoidiană mediană, unde dintele joacă rolul pivotului fix, iar arcul anterior al atlasului împreună cu ligamentul transvers formează inelul osteoligamentar care execută rotația);

d) *articulația elipsoidală* are două grade de libertate. Exemplu: articulația radiocarpiană sau metacarpo-falangiană prin care se pot realiza mișcări de flexie / extensie și abducție / adducție în planuri perpendiculare, rezultând mișcarea complexă de circumducție;

e) *articulația în șa* este compusă din suprafețe articulare concav-convexe aflate în opoziție care aproximează forma de șa;

- f) *articulația condiliană* este formată dintr-o dublă proeminență osoasă convexă numită condil și o dublă suprafață concavă, realizând aspectul a două articulații legate prin cuplaj osos. Condilii pot fi paraleli și adiacenți cuprinși în aceeași capsulă (ex: articulația genunchiului) sau paraleli și separați în articulații diferite (ex: articulația temporomandibulară). Varietatea mișcărilor este dată de forma condilului;
- g) *articulația sferică* are trei grade de libertate (ex: articulația umărului, articulația șoldului). O varietate a articulației sferice este *enartroza* care se caracterizează prin aceea că suprafața cavității sferice de recepție depășește ecuatorul capului convex. Pentru această variantă stabilitatea mișcării și articulației este mai bună.

ANEXA A.1.1

SISTEME TRIBO-INGINEREȘTI

- (a) Transmiterea mișcării
- (b) Transmiterea lucrului mecanic (sau puterii)
- (c) Generarea sau reproducerea informațiilor tehnologie
- (d) Transportul materialelor biologie
- (e) Formarea materialelor

| Fucțiunea tehnică primară | Sistem tribo-ingineresc sau proces tribo-ingineresc | |
|---|--|---|
| (a1) Ghidarea sau transmiterea mișcării | Lagăre cu alunecare Lagăre cu rostogolire Lagăre cu ace Lagăre pivot Lagăre giroscopice Ghidaje Mese de alunecare (drumuri) | Șuruburi cu alunecare și cu bile Osii și axe Balamale Articulații tehnice Articulații umane și animale Încălțăminte sau piciorul pe sol (ciment, scări etc.) |
| (a2) Cuplarea mișcării | Flanșe Cuplaje dințate Caneluri | Ambreiaj conic Ambreiaj disc Ambreiaj cu bandă |
| (a3) Oprirea mișcării | Frâne bloc Frâne bandă Frâne disc | Dispozitive de fixare Șuruburi de fixare Amortizoare prin fricțiune |
| (b) Transmiterea lucrului mecanic sau puterii | Cremalieră și pinioane Roți dințate cilindrice Roți dințate conice Roți hipoide Roți planetare Angrenaj melcat Șuruburi de mișcare | Tranmisii prin lanțuri Tranmisii prin curele Tranmisii prin cabluri Came Servomotoare Tranmisii prin fricțiune Tranmisii hidraulice |
| (c1) Generarea informațiilor | Sincronizatoare Tachet-camă Contacte electrice | Întreprupătoare Relee Tipar Element de scriere |

| | | |
|--|--|--|
| (c2) Reproducerea informațiilor | Capete de înregistrare și redare Pick-up | Video pick-up |
| (d1) Transportul materialelor | Roată-șină Cauciuc-drum (pneu) Conducte | Conveier (bandă transportoare) Deplasare de pământ Vene umane și animale |
| (d2) Controlul urgerii materialelor | Etanșări Valve Garnituri | Robineți Piston-cilindru (ansamblu) |
| (e1) Formarea (tehnologia) materialelor | Trefilare Laminare Presare Extrudare Forjare | Rulare Turnare Injectare în matriță Țesături Rabotare |
| (e2) Tăierea materialelor | Minerit Foraj Exploatare în cariere | Sfărâmare, măcinare Dragare Dantura umană și animală |
| (e3) Prelucrarea mecanică a materialelor | Ascuțirea, tăierea Găurire, Debitare, Pilire, Strunjire Rabotare și frezare, Perforare Forare | Șlefuire, rectificare Prelucrare cu abrazive Prelucrare prin așchiere, Lepuire Polizare, Periere, Suflare |

ANEXA A.1.2

ELEMENTELE TRIBOSISTEMULUI

Orice tribosistem (a, ..., e), indicat în tabel, conține:

- elementul (1)
- elementul (2)
- mediul interfacial (3)
- mediul înconjurător (4)
-

| Tribosistem sau triboproces | Elementele sistemului | | | |
|--|-----------------------------|--|-------------------------------|-------------------------|
| | Elementul 1 (mobil sau fix) | Element 2 (mobil sau fix) | Mediul interfacial (3) | Mediul înconjurător (4) |
| (a1) Lagăre cu alunecare Articulație umană | Fus Femur | Cuzinet Acetabulum | Lubrifiant Sinovial | Aer - |
| (a2) Ambreiaj bandă Caneluri | Fus Fus canelat | Bandă Butuc canelat | - Unsoare | Aer Aer |
| (a3) Fână disc Dispozitiv de fixare | Disc Bolț | Garnit. fricțiune Garnit. fricțiune | Particule de uz - | Aer Aer |
| (b) Angrenaj cu roți dințate Transmisii prin curele | Pinion Roată | Roata Curea | Ulei - | Aer Aer |
| (c1) Camă și tchet Sistem de tipărire | Camă Tipar | Tchet Hârtie | Lubrifiant Cerneală | Aer Aer |
| (c2) Contact electric Audio pick-up | Inel Disc | Perie Ac saphir | Spray - | Gaz protector Aer |
| (d1) Mers (locomoția) Conductă dde transport | Roată Fluid | Drum Conductă | Contaminanți - | Aer - |

| | | | | |
|--|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|
| (d2) Valvă Piston segment cilindru | Ventil Segment | Scaunul supapei Cilindru | Fluid Lubrifiant | Flud Fluid |
| (e1) Trefilare (banc) Extrudare la cald | Fir Țaġla | Filieră Matriță | Borax Sticlă | Aer Aer |
| (e2) Foraj Dragare | Burghiu Draga | Sol Coasta | - - | - Aer |
| (e3) Strunjire Șlefuire | Piesa de lucru Piesa de lucru | Cuțit Piatra de șlefuit | Fluid - | Aer Aer |

Bibliografie

1. A. Tudor, **Frecarea și uzarea materialelor**, Ed. BREN, Bucuresti, 2002.
2. N.P. Suh, **Tribophysics**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986
3. H. Czichos, **Tribology**, Elsevier, Tribology Series, 1, 1978.
4. M. Popescu, T. Trandafir, **Artrologie și Biomecanică**, Ed. SCAIUL, Bucuresti, 1998
5. D. Antonescu, M. Buga, I. Constantinescu, N. Iliescu, **Metode de calcul și tehnici experimentale de analiza tensiunilor în Biomecanică**, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1986.
6. A. Yuehwei, R. Draughn, **Mechanical Testing of Bone and the Bone – Implant Interface**, CRC Press LLC, 2000, London, New York, Washington D.C.