

1. CUPLAJE

1.1. Introducere

Cuplajele sunt elemente de legătură și de antrenare. Ele servesc la transmiterea mișcării de rotație și a momentelor de torsiune între arbori așezați în prelungire [9.1]. Cuplajele se mai pot utiliza pentru asamblarea, în mod liber, pe un arbore a unor elemente constructive (roți de fricțiune, roți dințate) și ca siguranțe împotriva unor supraîncărcări.

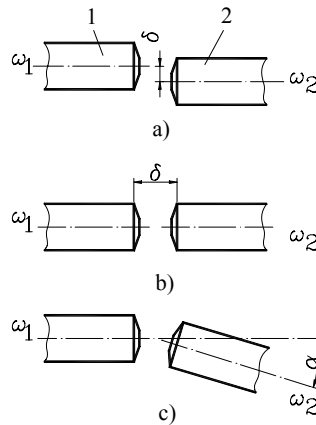


Fig. 1.1.1

În Fig. 1.1.1 se prezintă poziția relativă a doi arbori aflați în mișcare de rotație. Datorită erorilor constructive și de montaj, cei doi arbori sunt afectați de o eroare radială (Fig. 1.1.1 a) sau axială (Fig. 1.1.1 b) δ sau unghiulară α (Fig. 1.1.1 c).

Clasificarea cuplajelor se realizează după mai multe criterii. Un criteriu intuitiv este cel referitor la condițiile de funcționare ale celor doi arbori.

Dacă arborii sunt legați astfel încât legătura lor nu poate fi eliminată în timpul funcționării, cuplajele se numesc *permanente* și pot fi clasificate în două grupe:

- *cuplaje fixe* când elementele cuplajului sunt legate rigid între ele;
- *cuplaje mobile* care permit o anumită mobilitate a pieselor cuplajului pentru reducerea erorilor de montaj.

Dacă arborii sunt astfel legați încât există posibilitatea cuplării și decuplării lor în timpul funcționării, cuplajele se numesc *intermitente* (sau *ambreiaje*). Din categoria cuplajelor intermitente se pot considera că fac parte și *cuplajele de siguranță* care permit întreruperea legăturii dintre cei doi arbori dacă momentul de torsiune sau turația acestuia a depășit valoarea admisă. *Cuplajele de sens unic* permit transmiterea mișcării doar într-un singur sens.

Dacă legătura dintre cei doi arbori este electromagnetică sau hidraulică, cuplajele se numesc *electromagnetice sau hidraulice*.

1.2. Cuplaje permanente

Cuplajele fixe, acelea la care elementele componente sunt îmbinate împreună fix (rigid), nu se întâlnesc aproape de loc în mecanica fină. În majoritatea cazurilor este necesară o mobilitate reciprocă a elementelor componente ale cuplajului, pentru a compensa erorile cumulate sau schimbarea poziției axelor elementelor cuplate. *Lipsa unei astfel de mobilități poate conduce la solicitări suplimentare ale arborilor, lagărelor sau la blocaje*. Asemenea cuplaje permanente se numesc cuplaje mobile și se grupează în cuplaje mobile radiale (transversal), longitudinal (axial) și unghiular.

Cuplajele mobile se pot realiza cu *elemente rigide sau elastice*.

Cuplajele mobile radiale compensează micile deplasări radiale dintre cei doi arbori (Fig. 1.1.1 a). În Fig. 1.2.1 se prezintă soluția unui astfel de cuplaj. Semicuplajele 1, 3 sunt montate pe arborii 5 și respective 6.

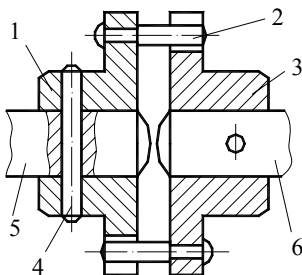


Fig. 1.2.1

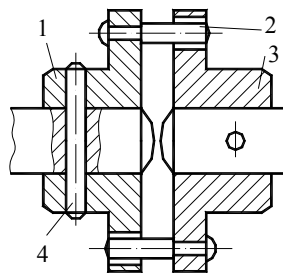


Fig. 1.2.2

Fiecare semicuplaj este fixat pe arbore prin intermediul unui știft (semicuplajul 1 prin intermediul știftului 4). Legătura dintre cele două semicuplaje se realizează prin

știfturile axiale 2 introduse cu joc într-un canal periferic al celuilalt disc.

Cuplajele mobile longitudinale sunt necesare pentru compensarea micilor deplasări axiale dintre cei doi arbori (Fig. 1.1.1 b). În Fig. 1.2.2 se prezintă soluția unui cuplaj longitudinal. Realizat într-o construcție asemănătoare cu cea anterioară, semicuplele 1 și 3 permit mici deplasări axiale ale știfturilor 2 introduse cu joc în alezajul practicat pe celălalt semicuplaj.

În Fig. 1.2.3 se prezintă soluția unei variante de cuplaj mobil longitudinal cu cepuri crestate. Acestea se realizează prin profilarea corespunzătoare a capetelor arborelui. Sunt simple, ușor de montat și se folosesc pentru transmiterea momentelor de torsiune foarte mici. Compensarea în direcție axială se datorează jocului dintre capetele arborilor. Datorită deplasărilor, se produc uzuri mari pe suprafețele de contact.

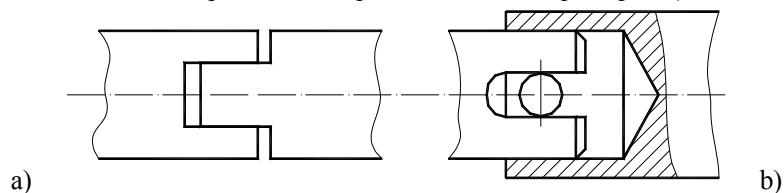


Fig. 1.2.3

În Fig. 1.2.4 se prezintă soluția unui cuplaj cu articulație sferică care permite compensarea abaterilor unghiulare. Arborele 1 este conectat cu manșonul rigid 2 (printr-un știftul conic 6) în care este poziționat transversal știftul cilindric 5. Fusul sferic 3 se poate roti relativ față de manșonul 2 și arborele 1. Momentul de torsiune se transmite datorită legăturii dintre fusul sferic 3 și știftul 5.

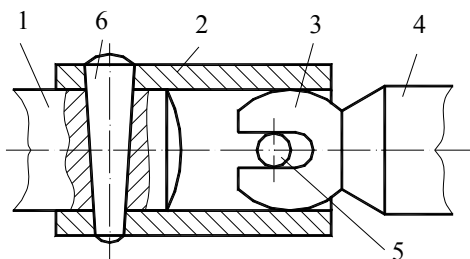


Fig. 1.2.4

Pentru sarcini reduse și abateri unghiulare mici, se utilizează și cuplaje cu articulații elastice. În acest mod, se realizează compensări pe orice direcție pe baza unui element elastic care poate fi metalic sau nemetalic. Soluții pentru astfel de cuplaje sunt prezentate în Fig. 1.2.5.

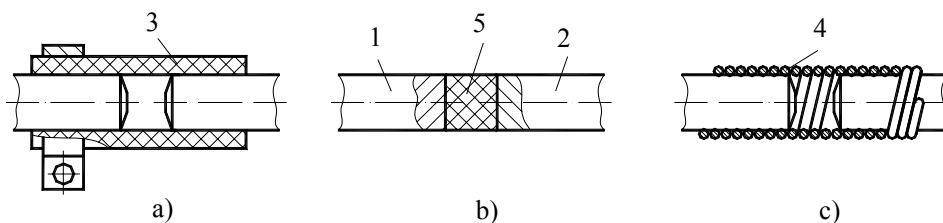


Fig. 1.2.5

În varianta din Fig. 1.2.5 a legătura dintre arbori se datorează manșonului de cauciuc 3 fixat pe arbori prin bride. În varianta “b” arborii 1 și 2 sunt legați prin piesa cilindrică 5 lipită pe suprafețele frontale ale arborilor. În varianta “c” legătura dintre arbori se realizează prin arcul elicoidal 4. În acest caz, mișcarea de rotație trebuie să se realizeze într-un singur sens, cel de înfășurare a arcului.

Foarte răspândite sunt soluțiile cuplajelor cu membrană. În Fig. 1.2.6 se prezintă o astfel soluție. Membrana 2, în general de formă inelară, se realizează din oțel aliat, bronz fosforos sau textolit și se fixează rigid față de semicuplajele 1 și 3.

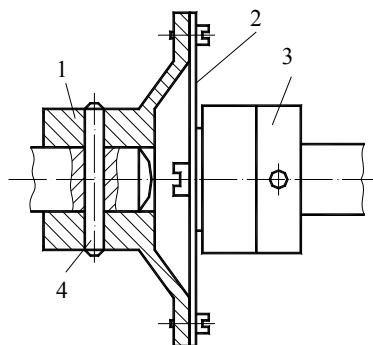


Fig. 1.2.6

1.3. Cuplaje intermitente

Cuplajele intermitente sau ambreiajele fac posibilă cuplarea și decuplarea arborilor în timpul funcționării acestora. O clasificare a acestora se poate realiza după modul în care sunt puse în funcțiune:

- *cuplaje intermitente automate* la care decuplarea și cuplarea se face în funcție de viteză, sarcină sau sensul de mișcare;
- *cuplaje intermitente comandate* la care cuplarea și decuplarea se realizează pe baza unei comenzi exterioare.

Soluția unui cuplaj intermitent comandat este prezentată în Fig. 1.3.1. Cuplajul servește pentru cuplarea automată la o turație limită “ ω_0 ”.

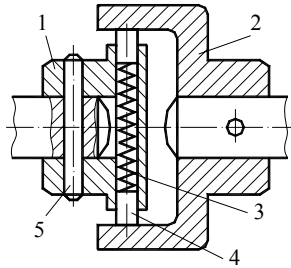


Fig. 1.3.1

O masă inerțială 4 se rotește cu semicuplajul 1 putându-se deplasa radial. Prin elementul elastic 3 piesa 4 este fixată față de arborele 1. Sub acțiunea forței centrifuge F_C piesa 4 este apăsată pe conturul interior al semicuplajului 2.

$$F_C = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (9.3.1)$$

unde “ m ” este masa sabotului, “ ω ” este viteza unghiulară a arborelui iar “ r ” distanța centrului de masă a sabotului față de axa de rotație.

Forța de frecare rezultată ca urmare a apăsării este:

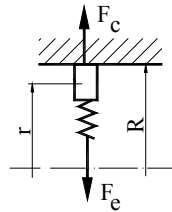


Fig. 1.3.2

$$F_f = \mu \cdot (F_C - F_e) \quad (9.3.2)$$

unde “ μ ” este coeficientul de frecare dintre sabot și discul 2 iar F_e este forța elastică datorată arcului și care se opune forței centrifuge.

R fiind raza discului 2, momentul de frecare datorat acestei forțe are expresia:

$$M_f = F_f \cdot R \quad (9.3.3)$$

Mișcarea dintre cei doi arbori se realizează atunci când momentul de frecare depășește momentul de transmis:

$$M_f = \mu \cdot (m \cdot \omega^2 \cdot r - F_e) \cdot z \cdot R \geq M_t \quad (9.3.4)$$

unde “z” este numărul saboților.

În momentul în care turația scade sub valoarea limită “ ω_0 ” apăsarea se reduce și astfel se realizează decuplarea celor doi arbori.

Cuplajele de siguranță permit decuplarea mișcării dintre cei doi arbori dacă sarcina depășește o anumită valoare. Soluția este prezentată în Fig. 1.3.3.

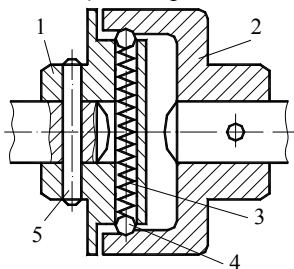


Fig. 1.3.3

Bilele 4 sunt presate de elementul elastic 3 în alveole sferice practicate pe suprafața interioară a discului 2. La depășirea sarcinii limită bilele sunt expulzate din alveole prin comprimarea arcului 3. Între cele două semicuplaje 1 și 2 apare o mișcare relativă însoțită de zgomot datorită expulzării repetate a bilelor din alveole. Fenomenul continuă atâta timp cât sarcina este peste valoarea admisă. Când sarcina scade bilele sunt presate înapoi în alveole și alunecarea dintre cele două semicuplaje încetează.

Cuplajele de sens unic, cunoscute și sub denumirea de cuplaje de mers în gol, se folosesc pentru transmiterea mișcării într-un singur sens. Se realizează cuplaje de sens unic cu clichet, cu sabot, cu bile, cu role.

În Fig. 1.3.4 este prezentată soluția unui cuplaj de sens unic cu clichet.

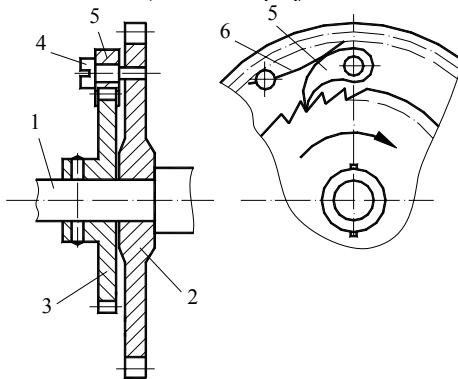


Fig. 1.3.4

Cuplajul se compune dintr-un disc conducător 3 fixat pe arborele 1, discul condus 2 și clichetul 5. Discul condus 2 este montat cu joc minim pe arborele 1. Clichetul fixat pe discul 2 este presat de arcu lamelar în golul dinților de pe discul 3. Cuplarea este posibilă numai dacă sistemul se rotește în sensul săgeții. În sens contrar clichetul alunecă peste dinții discului 3 iar între arborele 1 și discul 2 va exista alunecare.

Cuplajele intermitente comandate pe bază de fricțiune transmit mișcarea ca urmare a frecării ce ia naștere între două sau mai multe discuri sau piese apăsate între ele. Suprafața de frecare poate să fie plană, conică sau cilindrică. Marele avantaj al acestor cuplaje este că, la cuplare, viteza arborelui condus crește treptat pînă atinge viteza arborelui conducător, fără să se producă șocuri. Principiul de realizare și funcționare al acestor cuplaje este prezentat în Fig. 1.3.5.

Semicuplajul 1 este apăsat cu o forță P peste suprafața de contact a semicuplajului 2. Dacă coeficientul de frecare dintre cele două suprafețe este μ , se va obține o forță de frecare:

$$F_f = \mu \cdot P \quad (9.3.5)$$

și un moment de frecare:

$$M_f = F_f \cdot R \quad (9.3.6)$$

unde R este raza medie de contact. Se poate transmite în acest mod, între cei doi arbori, un moment de torsiune $M_t \leq M_f$. Dacă momentul de torsiune depășește valoarea limită dată de frecare, între cele două semicuplaje va apare o alunecare.

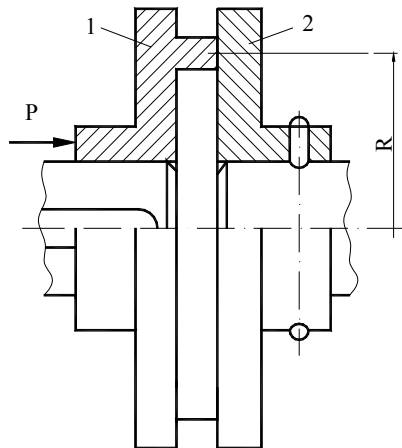


Fig. 1.3.5

Forța “P” de apăsare se poate realiza pe cale mecanică (forța unui arc), pe cale electromagnetică (forța de atracție a unui electromagnet), pe cale hidraulică. Cu cât

este mai mare diametrul mediu al inelului de frecare, cu atât pot fi transmise, în condiții de altfel egale, momente de torsiune mai mari. Frecarea poate fi mărită și mai mult, dacă se amplasează în serie mai multe suprafețe de frecare (*cuplaj cu lamele*) sau se folosesc ca suprafețe de frecare suprafețe conice (*cuplaj de fricțiune conic*).

Varianta unui *cuplaj electromagnetic cu fricțiune* este prezentată în Fig. 1.3.6.

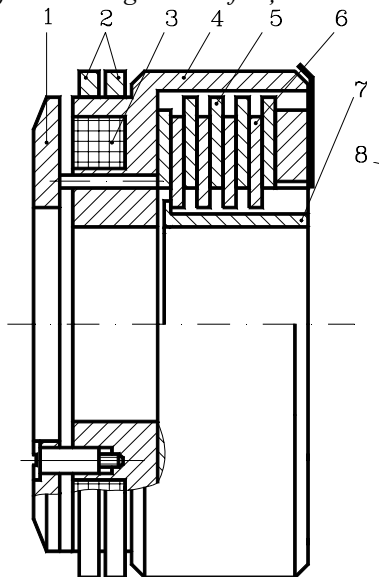


Fig. 1.3.6

Din punct de vedere electric componenta principală a cuplajului este o bobină și circuitele aferente. Luând în considerare posibilitatea de alimentare a bobinei, cuplajele se clasifică în cuplaje cu inele colectoare și cuplaje cu clemene de conexiune.

Cuplajele cu inele colectoare - un inel (metodă mai puțin recomandabilă) sau două inele - asigură alimentarea cu energie electrică (de curent continuu) prin sistemul perie - colector. La turații mari folosirea inelelor colectoare este dificilă din cauza forțelor centrifuge. Din acest motiv se limitează superior turația.

Utilizarea clemelor de conexiune presupune conectarea ambilor poli ai sursei la clemene. Această variantă de alimentare are o serie de avantaje: posibilitatea de acces pentru întreținerea echipamentului, întreținerea sistemului de alimentare, lipsa contactului mecanic și uzură la nivelul perie-colector, lipsa pierderilor electrice la nivelul aceluiași contact. Varianta conduce însă la dimensiuni de gabarit mai mari.

În aplicațiile ce impun timpi de anclanșare și declanșare scurți se adoptă soluția constructivă a cuplajelor cu lamele nestrăbătute de fluxul magnetic. Uzura lamelilor cere un reglaj continuu a întrefierului. Cuplajul din figură este alimentat prin inele

colectoare. Corpul magnetic "4" este solidarizat cu arborele conducător. Pe corpul magnetic se găsesc montate inelele colectoare "2". La alimentarea bobinei "3" cu tensiune, armătura mobilă "1" este atrasă, datorită forței electromagnetice rezultate, comprimând pachetul de lamele de fricțiune prin intermediul bolțului "8" și a inelului de presiune. Contactul lamelilor interioare "6" și a celor exterioare "5" asigură transmiterea mișcării de rotație spre antrenorul "7", care e solidar cu arborele condus.

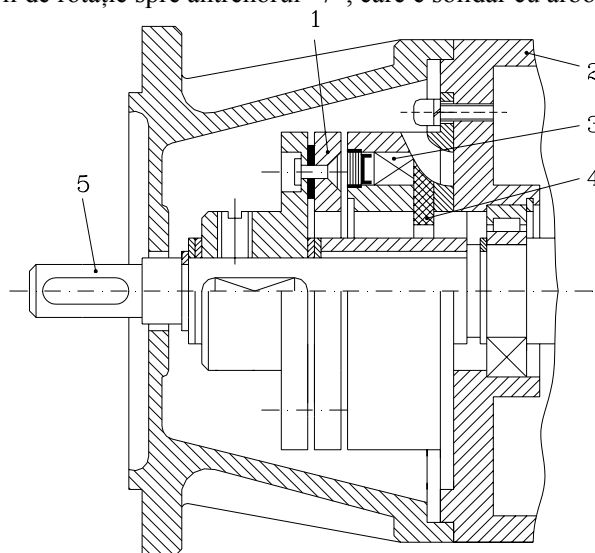


Fig. 1.3.7

Într-o construcție asemănătoare cu cele prezentate anterior se realizează *frânele electromagnetice*. Elementul "condus" în acest caz este fix, solidarizat cu carcasa aparatului. Frâna realizează anularea sau diminuarea mișcării de rotație, generând un moment de frânare.

Servomotoarele utilizate în sisteme de poziționare și urmărire au înglobate în construcție compactă și frâna electromagnetice.

Armătura mobilă "1" a frânei electromagnetice este fixată pe arborele "5" a servomotorului "2". Bobina "3" și magnetul permanent "4" din componența circuitului magnetic al frânei sunt fixate pe statorul "2".

Utilizarea cuplajelor electromagnetice prin fricțiune în construcția unui echipament pentru înregistrarea unei informații pe bandă magnetică este prezentată în Fig. 1.3.8. Motorul sincron 1 antrenează la viteze diferite, prin intermediul a câte unui cuplaj electromagnetic prin fricțiune 6, 9 arborele 5 și banda magnetică 11. Obținerea unei mișcări pas cu pas a benzii magnetice este asigurată de frâna electromagnetice 7. La procesul de cuplare sau frânare contribuie și discurile metalice de fricțiune 3, 10. Readucerea discurilor în poziția inițială după încetarea acțiunii bobinei cuplajului sau

frânei este asigurată de arcul de compresiune 2. Urmărirea vitezei de rotație se realizează prin traductorul de viteză 4, 8 pe bază de impulsuri. Se asigură în acest mod diverse regimuri de înregistrare a informației pe banda magnetică.

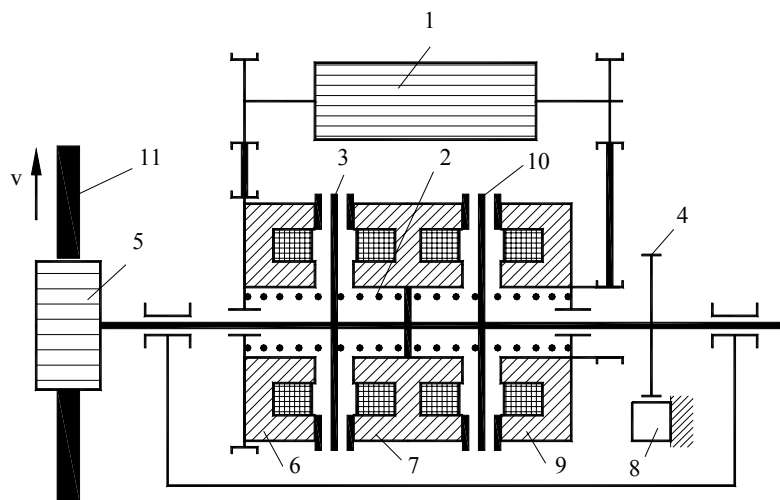


Fig. 1.3.8

O soluție asemănătoare cu cea prezentată anterior este ilustrată în Fig. 1.3.9.

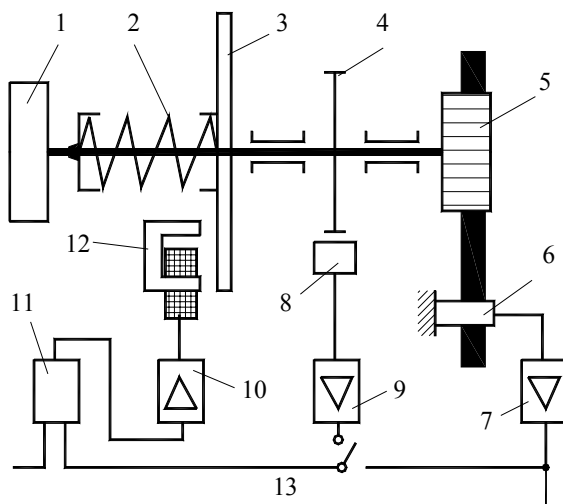


Fig. 1.3.9

Motorul sincron 1 antrenează banda magnetică prin arborele 5. Frânarea arborelui de antrenare se asigură în mod rapid prin intermediul frânei electromagnetice 12, 3. Viteza este înregistrată de traductorul 4, 8 care împreună cu componentele electronice 6, 7, 9, 10, 11 asigură comanda echipamentului.

Avantajele utilizării cuplajelor electromagnetice prin fricțiune sunt: simplitate constructivă, siguranță în funcționare, gabarite relativ reduse, raport ridicat cuplu / gabarit, automatizarea, timpi de răspuns reduși (9,5 - 260 ms), preț de cost redus.

Utilizarea cuplajelor electromagnetice prin fricțiune este afectată și de o serie de dezavantaje: uzura discurilor de fricțiune (se impune o reglare periodică a distanțelor dintre ele), variația în timp a coeficientului de frecare datorită impurităților ce se depun între discuri (este necesară curățirea periodică a discurilor), capacitatea redusă de evacuare a căldurii degajate în cazul cuplajelor cu discuri multiple.

Un caz aparte al cuplajelor automate este reprezentat de cuplajele prin inducție. Cuplajul electromagnetic cu inducție transmite momentul de torsiune prin intermediul câmpului electromagnetic, fără contact mecanic. Schema principală este prezentată în Fig. 1.3.10 a. iar schema forțelor în Fig. 1.3.10 b.

Indusul "S" este format din semicuplajul 2 care este montat pe arborele "1". Inductorul "P" este realizat din tole cu creștături în care este plasată înfășurarea "3". Înfășurarea de excitație este alimentată prin sistemul perie - inel colector "4" montat pe arborele "5". Inductorul poate fi în interiorul sau exteriorul indusului. Cele două componente sunt separate printr-un întrefier.

Se consideră că indusul este rotit cu viteza unghiulară Ω . Fluxul principal Φ_1 - produs de bobina "3" - străbate întrefierul și indusul "S". În indus se vor induce tensiuni electromotoare și astfel în acesta apar curenți turbionari (indusul se consideră ca un număr infinit de conductori "v" legați în paralel) care la rândul lor produc fluxul Φ_2 .

Interacțiunea dintre cele două fluxuri asigură apariția forței tangențiale F_t și implicit a unui cuplu M_0 . Acest cuplu va antrena inductorul "P" în sensul de rotație al indusului. Ca urmare, va scădea valoarea tensiunii electromotoare induse, și deci M_0 , până când acesta va deveni egal cu cuplul rezistent.

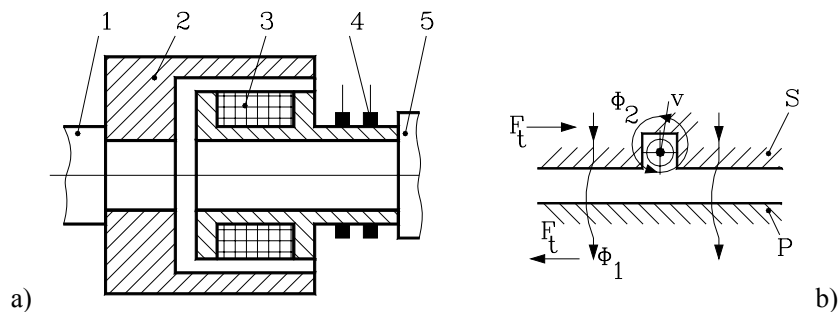


Fig. 1.3.10

Avantajele cuplajelor de inducție constau în proporționalitatea cuplu-alunecare, funcționare lină fără șocuri, durată de viață ridicată, lipsa contactului mecanic între piesele care transmit cuplul. Dezavantajele utilizării acestor cuplaje iau în considerare prețul relativ ridicat, valoarea zero a cuplului transmis la alunecare zero, timp de răspuns relativ ridicat, sensibilitate ridicată la variațiile de temperatură.

Un caz special îl reprezintă cuplajele magnetice. Aceste cuplaje au apărut ca o necesitate de transmitere a unor momente de torsiune din sau înspre incinte închise la care peretele nu poate fi găurit. O soluție pentru un astfel de cuplaj este prezentată în Fig. 1.3.11. Fiecare semicuplaj 1, 2 poartă doi magneți permanenți 4 despărțiți de peretele 3 (dintr-un material nemagnetic). Liniile de câmp se închid prin perete între magneții semicuplajelor. Datorită forței de atracție magnetice, semicuplajul 2 are permanent tendința de a urma rotirea semicuplajului de pe arborele conducător. Transmiterea unor momente de torsiune ridicate presupune utilizarea unor magneți pe bază de ferrite sau pământuri rare.

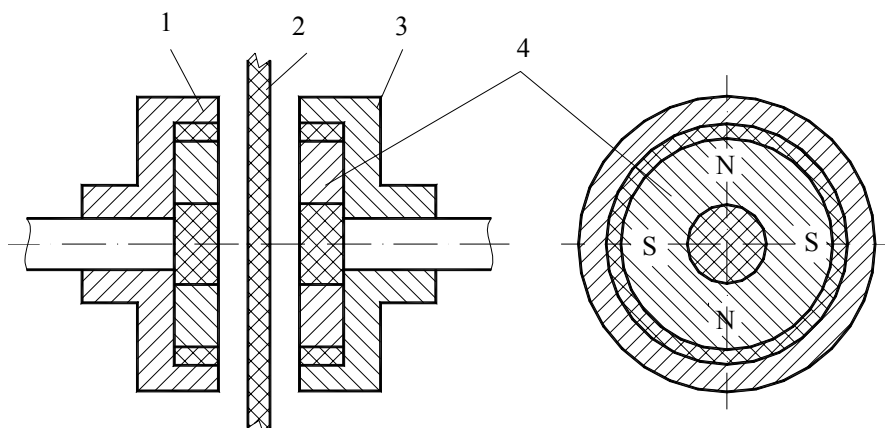


Fig. 1.3.11

1.4. Alegerea cuplajelor

Valoarea maximă a momentului de torsiune posibil a fi preluat și transmis de cuplaj în condiții de funcționare normale (fără șocuri și suprasarcini) reprezintă momentul de torsiune nominal și este indicat, pentru fiecare tipodimensiune de cuplaj, în standarde sau cataloage.

Având în vedere că transmisia de energie are loc în condiții de șoc, sarcini de inerție și deformații, se introduce noțiunea de moment de torsiune de calcul:

$$M_{tc} = C_s \cdot M_t = C_s \cdot \frac{P}{\omega} \leq M_n \text{ [Nm]} \quad (9.4.1)$$

unde:

$C_s = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$ este coeficientul de serviciu definit de C_1 – coeficient parțial ce ține cont de mașina antrenată, C_2 – coeficient parțial ce ține cont de durata de funcționare în 24 ore, C_3 – coeficient ce ține cont de numărul cuplărilor pe oră; Pentru diferite cuplaje, firmele constructoare dau valori ale coeficienților de serviciu parțiali;

P [W] este puterea de transmis;

Ω [rad/s] este viteza unghiulară

Pe baza valorii calculate cu relația (9.4.1) se alege din cataloage ale firmelor constructoare un cuplaj corespunzător. Dacă nu este posibilă utilizarea unui cuplaj din gama celor de tip industrial, se trece la proiectarea unei variante noi.

1.5. Montajul cuplajelor

Toate cuplajele trebuie să fie echilibrate static. Pentru cuplajele care lucrează la turații ridicate se impune echilibrarea dinamică. Acest lucru se indică de firma constructoare funcție de tipul cuplajului.

Montarea cuplajelor pe arbori se face cu ajustaje recomandate de firma constructoare.

Arborii trebuie aliniați în limitele abaterilor admisibile pentru fiecare tip de cuplaj. Alinierea se poate controla, de la simplu la complex, cu un liniar (Fig. 1.5.1) sau un comparator (Fig. 1.5.2).

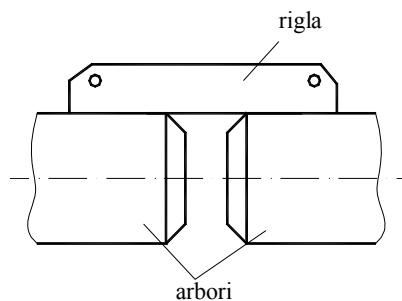


Fig. 1.5.1

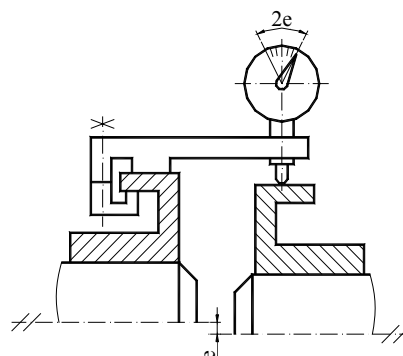


Fig. 1.5.2

1.6. Întrebări recapitulative

1. Definiți cuplajul ca și element constructiv și explicați rolul său;
2. Prezentați o clasificare a cuplajelor;
3. Definiți rolul cuplajelor intermitente;
4. Care este rolul cuplajelor de siguranță ?
5. Explicați principiul de alegere a unui cuplaj;

1.7. Bibliografie

[9.1] Richter, O., Voss, R., Kozer, F. – *Elemente constructive de mecanică fină*, Editura Tehnică, București, 1961

[9.2] Krause, W.- *Grundlagen der Konstruktion, Lehrbuch für Elektroingenieure*, VEB Verlag Technik Berlin, Berlin, 1984

[9.4] Dolga, V., Teodorescu, A. – *Accionări de mecanică fină*, Editura Eurobit, Timișoara. 1999