

Capitolo 6 ELEMENTI DI TRIBOLOGIA

6.1 INTRODUZIONE

La tribologia è quella scienza che studia le interazioni tra superfici a contatto in moto relativo. Essa ha particolare importanza perché si può stimare che da 1/3 ad 1/2 dell'energia impiegata nel mondo venga dissipata in attrito. Inoltre buona parte dei guasti che si verificano nelle macchine, hanno luogo in corrispondenza delle superfici di contatto tra due organi.

La tribologia si occupa dei seguenti aspetti:

- Studio della natura dell'interazione che si manifesta nel contatto tra organi meccanici in moto relativo, tenendo conto dell'ambiente in cui tali organi lavorano.
- Studio dei materiali, lubrificanti e metodi tecnologici per minimizzare l'attrito e l'usura.
- Studio dei meccanismi di lubrificazione.
- Progettazione di organi di macchina e determinazione della loro durata.

6.2 ATTRITO

Come già accennato nel par.2.4.4.1 , quando un corpo solido si muove rispetto ad un altro, sul quale è mantenuto a contatto da una forza di chiusura, si genera una forza resistente al moto detta resistenza di attrito.

E' da osservare, a questo proposito, che le superfici dei corpi non sono mai perfettamente lisce ma presentano delle rugosità come mostrato in figura 6.1.

Quando una superficie del genere viene a contatto con quella di un altro corpo, il contatto stesso avviene in corrispondenza di tali asperità superficiali (v. fig.6.2) e, localmente, si generano pressioni di contatto molto elevate.

Superficie fortemente ingrandita



Fig.6.1

6.2.1 Attrito secco

Se le due superfici vengono poste a contatto senza che tra di esse sia interposta alcuna sostanza, (V. fig.6.2) si parla di attrito secco. Ciò avviene in tutti quei casi nei quali si desidera che tra le superfici vi sia una considerevole forza di attrito come ad esempio nei freni, nelle ruote di frizione e nelle trasmissioni con organi flessibili.



Fig.6.2

Se i materiali hanno durezza superficiali simili tra di loro, le asperità superficiali più pronunciate si “saldano” tra di loro e l’attrito è dovuto essenzialmente al fatto che, per ottenere un moto relativo, è necessario rompere queste microsaldature. Le asperità superficiali, a causa del moto relativo tra le superfici, nel tempo si smussano dando luogo alla formazione di microparticelle che rappresentano il detrito di usura. Questo meccanismo, detto di usura adesiva, avviene in misura più marcata in una fase iniziale detta di “rodaggio”, trascorsa la quale, le superfici risultano adattarsi l’una all’altra ed l’attrito diminuisce lievemente.

Se invece una delle superfici è molto più dura dell’altra, le asperità superficiali di quella più dura scavano dei solchi in quella più tenera, dalla quale vengono asportati dei microtrucioli che costituiscono il detrito di usura abrasiva.

6.3 - CENNI SUI MECCANISMI DI LUBRIFICAZIONE

Per eliminare o ridurre i fenomeni ai quali si è accennato nel paragrafo precedente, occorre interporre tra le superfici un materiale che impedisca o limiti il contatto tra le asperità delle superfici, agendo quindi da lubrificante. Possono fungere da lubrificanti sia i gas sia i solidi sia i liquidi. L'impiego dei gas quali lubrificanti è confinato ad applicazioni molto particolari; I lubrificanti solidi (principalmente grafite o solfuro di molibdeno) sono impiegati poco frequentemente da soli, ma a volte vengono aggiunti ad oli o a grassi lubrificanti; essi agiscono in virtù della loro struttura cristallina, costituita da piani cristallini che scorrono facilmente l'uno sull'altro. I lubrificanti liquidi sono quelli impiegati più diffusamente o come tali oppure come grassi minerali che sono costituiti da una matrice imbevuta di olio lubrificante.

Si possono distinguere, essenzialmente, due diversi meccanismi di lubrificazione: Lubrificazione limite e lubrificazione idrodinamica.

6.3.1 – Lubrificazione limite

Le molecole di un olio lubrificante sono costituite da lunghe catene di atomi di carbonio che sono in grado di aderire con un'estremità alle superfici metalliche. Questa proprietà che prende il nome di untuosità è posseduta in misura maggiore o minore da tutti gli oli ed i grassi e può essere aumentata da opportuni additivi. Se sulle superfici viene posto olio o grasso, una volta che tali superfici sono poste a contatto, si formano tra di esse strati di lubrificante dello spessore di una sola molecola detti epilamine che impediscono il contatto diretto tra le superfici stesse. Avviene così che solo le asperità superficiali più prominenti interagiscano, saltuariamente, tra di loro come mostrato schematicamente in fig.6.3.

Questo meccanismo di lubrificazione prende il nome di lubrificazione limite (o untuosa). Il coefficiente di attrito si riduce in misura rilevante rispetto al caso di superfici asciutte.



Fig.6.3

6.3.2 – Lubrificazione idrodinamica

Se la velocità tra le superfici è sufficientemente elevata ed il meato tra di esse ha una conformazione opportuna, la pressione del fluido lubrificante nel meato aumenta e genera una portanza tra le superfici che le distacca completamente l'una dall'altra.

Ad esempio, in una coppia (prismatica) pattino-superficie fissa, l'inclinazione del pattino fa sì che, durante il moto relativo tra le superfici, il lubrificante venga trascinato nel condotto convergente come mostrato in fig.6.4,a ; in conseguenza di ciò, il lubrificante stesso sarà soggetto ad un aumento di pressione la quale genererà una spinta in direzione normale al moto, separando le due superfici.

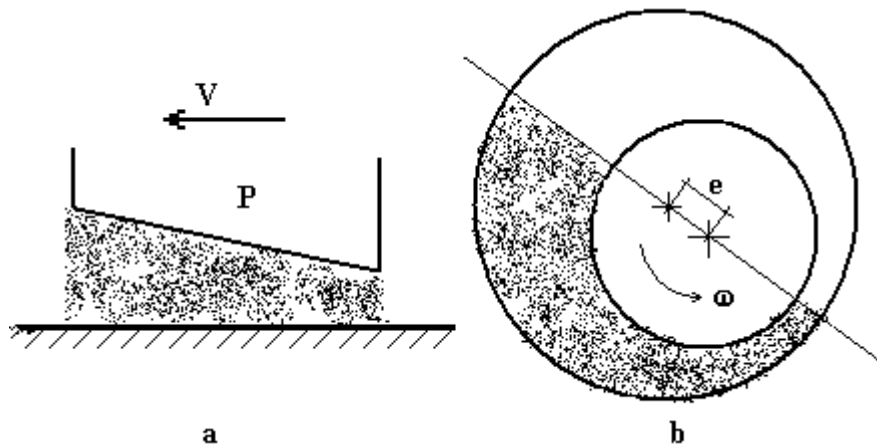


Fig. 6.4

In una coppia (rotoidale) perno-cuscinetto, il perno ruota attorno ad un asse che non coincide con quello del cuscinetto; a causa di questa eccentricità (indicata con e nella fig.6.4,b) la superficie esterna del perno e quella interna del cuscinetto formano un condotto convergente nel quale, per la rotazione del perno, viene trascinato il lubrificante.

Il coefficiente di attrito è notevolmente più basso di quello relativo alla lubrificazione limite.

La caratteristica del lubrificante che rende possibile l'instaurarsi di tale meccanismo di lubrificazione è la viscosità.

6.4 – CENNI SUI CUSCINETTI A SFERE

In fig.6.5 è rappresentato schematicamente un cuscinetto a sfere nella sua forma più semplice. Esso è essenzialmente costituito da una coppia di ralle (esterna ed interna) formata da due anelli concentrici fra le quali sono interposte delle sfere. La ralla interna è solidale all'albero mentre quella esterna è solidale al supporto.

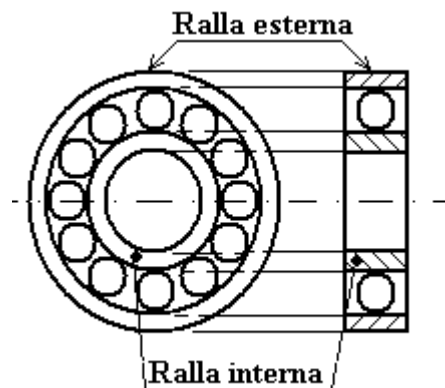


Fig.6.5

Il moto relativo tra le due ralle avviene per il rotolamento delle sfere e, pertanto, l'attrito è di tipo volvente. Si comprende facilmente che, in questo modo, nel moto relativo tra albero e cuscinetto l'attrito è molto minore di quello che si realizzerebbe nel caso in cui le superfici fossero a contatto diretto. E' da osservare che il coefficiente di attrito che si realizza in una coppia radente perno-cuscinetto lubrificata da un

meccanismo di lubrificazione idrodinamica può essere anche inferiore a quello di un cuscinetto a sfere, ma, affinché si realizzi la lubrificazione idrodinamica, è necessario che la velocità relativa tra la superficie del perno e quella del cuscinetto sia sufficientemente elevata; ciò difficilmente avviene in macchine relativamente poco veloci o a moto intermittente.

In fig.6.6 sono rappresentati, parzialmente sezionati, un cuscinetto ad 1 corona di sfere ed a 2 corone di sfere. I cuscinetti a 2 corone di sfere possono essere “a ralle orientabili” cioè consentono disallineamenti tra la ralla interna e quella esterna.

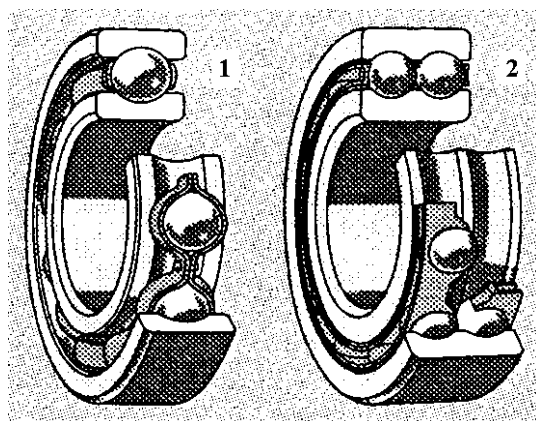


Fig.6.6

Al posto delle sfere, possono essere disposti dei rulli, come mostrato in fig. 6.7.

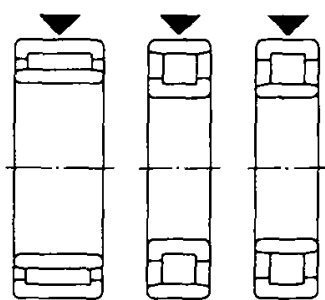


Fig.6.7

I cuscinetti del tipo rappresentato nelle figure precedenti sono idonei a sostenere carichi radiali (diretti cioè lungo un raggio) ma possono sostenere carichi assiali (diretti lungo l'asse dell'albero) molto modesti. Per poter sostenere carichi assiali elevati, si adottano le forma costruttive rappresentate in fig.6.8.

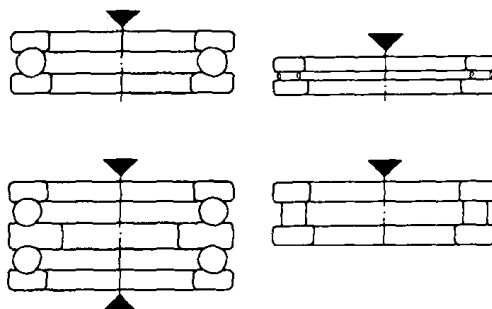


Fig.6.8

Una soluzione costruttiva che consente di sopportare sia carichi assiali che radiali utilizza rulli costituiti da tronchi di cono (v. fig.6.9,a) oppure rulli incrociati (v. fig.6.9,b); quest'ultima soluzione consente di sostenere, anche, momenti agenti intorno ad un asse normale all'asse di rotazione.

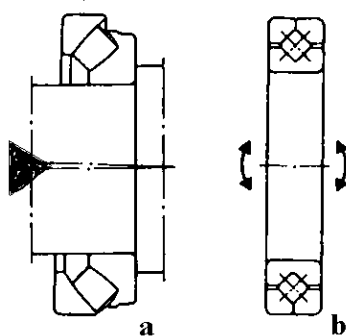


Fig.6.9

6.4.1 – calcolo della durata di un cuscinetto.

La durata di un cuscinetto volvente può essere calcolata in modo approssimato (v. ad es. catalogo SKF) mediante la formula:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

dove:

L_{10} = durata in milioni di giri

C = coefficiente di carico dinamico (in N)

P = carico dinamico equivalente sul cuscinetto (in N)

$p = 3$ per i cuscinetti a sfere

$p = 10/3$ per i cuscinetti a rulli

Se il cuscinetto ruota a velocità costante, dalla formula precedente si può facilmente calcolare la durata in ore:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$

avendo indicato con n la velocità di rotazione in giri/min.

Esempio di calcolo

Per il riduttore schematicamente rappresentato nella fig.6.10 si vuole determinare il tipo di cuscinetti volventi sui quali montare gli alberi e la loro durata.

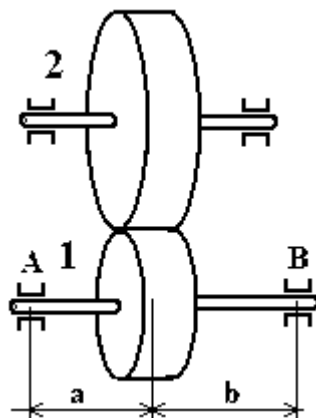


Fig. 6.10

Sono dati:

$$P_1 = 10 \text{ kW}$$

$$n_1 = 2850 \text{ giri/min} \Rightarrow \omega_1 \approx 300 \text{ rad/s}$$

$$r_1 = 30 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 3$$

$$\delta = 20^\circ$$

$$a = 70 \text{ mm} ; \quad b = 100 \text{ mm}$$

Si calcola, innanzi tutto, il momento agente sulla ruota motrice:

$$M_1 = P_1 / \omega_1 = 10 \cdot 10^3 / 300 = 33,33 \text{ Nm}$$

da cui si calcola (v. fig.6.11) la forza utile F e la reazione tra i denti N :

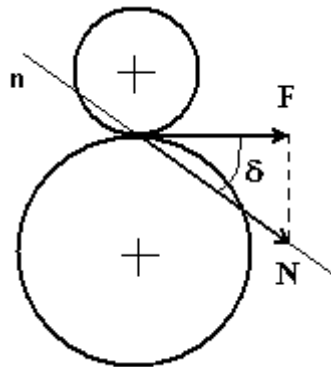


Fig.6.11

$$F = M_1 / r_1 = 33,33 / (30 \cdot 10^{-3}) = 1111,11 \text{ N}$$

$$N = F / \cos \delta = 1111,11 / 0,9397 = 1182,42 \text{ N}$$

Il carico sui due cuscinetti viene calcolato schematizzando l'albero 2 come una trave appoggiata alle estremità, sulla quale agisce la forza N in corrispondenza della mezziera della ruota 2 (v. fig.6.12) e ricavando, per tale sistema, le relazioni di equilibrio:

$$R_A = \frac{b}{a+b} N = \frac{100}{170} 1182,42 \cong 696 \text{ N}$$

$$R_B = \frac{a}{a+b} N = \frac{70}{170} 1182,42 \cong 487 \text{ N}$$

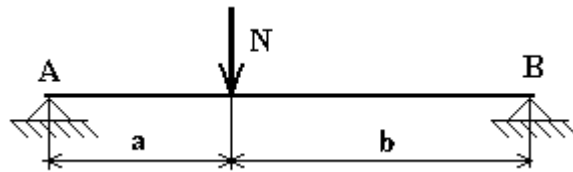


Fig.6.12

Il cuscinetto più caricato è quello in A; dal catalogo, scegliamo il cuscinetto a sfere 61904. Ancora dal catalogo, ricaviamo che, per tale cuscinetto, il coefficiente di carico dinamico $C = 6370 \text{ N}$.

Si assume poi:

Carico dinamico equivalente $P = N = 696 \text{ N}$;

Esponente $p = 3$ (cuscinetto a sfere)

La durata prevista sarà quindi:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{6370}{696} \right)^3 \cong 767 \text{ milioni di giri}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 2850} 767 = 4483 \text{ ore}$$