

TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS

(resumo)

Prof. Marcelo A L Alves

1. Introdução

A principal característica de uma transmissão por engrenagens é a possibilidade da relação de transmissão ser constante sob qualquer condição de esforço transmitido. Esta vantagem provem de características particulares das engrenagens. Mesmo quando não há necessidade da relação de transmissão ser precisamente constante, usa-se engrenagens em situações onde os esforços transmitidos ultrapassam a capacidade de correias e correntes, ou em qualquer situação onde as desvantagens destas duas últimas tornam o seu uso pouco recomendado.

De uma maneira geral pode-se dizer que as engrenagens são as transmissões que apresentam também a maior eficiência. Em condições normais de fabricação e uso, uma transmissão por engrenagens tem rendimento da ordem de 98%, exceto para a configuração sem-fim coroa (ver figura 1.1).

Ainda em comparação com correntes e correias, as engrenagens levam a transmissões mais compactas, ocupando um menor espaço. Entretanto em termos de custo, as engrenagens superam as correias e as correntes por uma margem considerável.

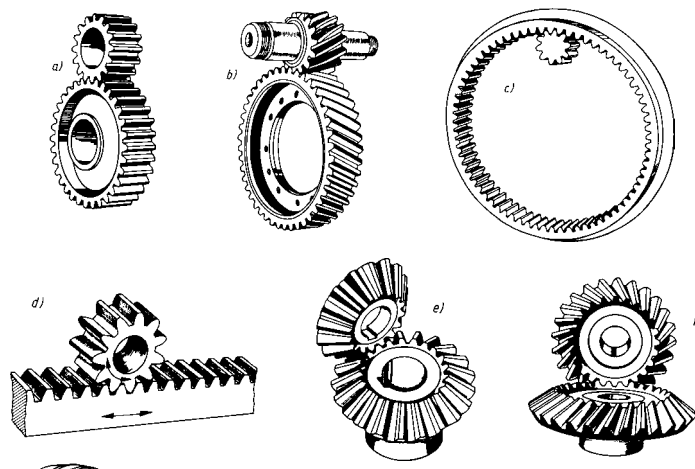
Dá-se o nome de engrenagem ao mecanismo composto por duas rodas dentadas montadas em eixos que estão separados de uma distância, A , constante, sendo que uma das rodas aciona a outra por meio do contato sucessivo dos dentes. É, entretanto, comum nomear uma roda dentada como sendo a engrenagem, muito embora esta terminologia não esteja de acordo com as denominações normalizadas para este tipo de transmissão. Ainda como terminologia, chama-se de *pinhão* a roda motora e de *coroa* a roda movida.

Uma característica das transmissões por engrenagens é o fato da distância entre centros ser condicionada pelos tamanhos das rodas dentadas. Desta maneira, diferente de correias e correntes, nos casos onde as distâncias entre os eixos sejam grandes não se recomenda o uso de engrenagens, a menos que se tolere o uso de um trem de engrenagens, isto é, vários pares montados em seqüência até que complete a distância entre os eixos motor e movido.

Existem várias formas de classificar as engrenagens. A primeira classificação usa como critério a posição relativa dos eixos:

- Eixos paralelos.
- Eixos que se cruzam (concorrentes).
- Eixos reversos - Isto é, eixos que não estão num mesmo plano e não são paralelos.

Na figura 1.1 são apresentados vários exemplos de configurações de engrenagens que se enquadram na classificação acima.



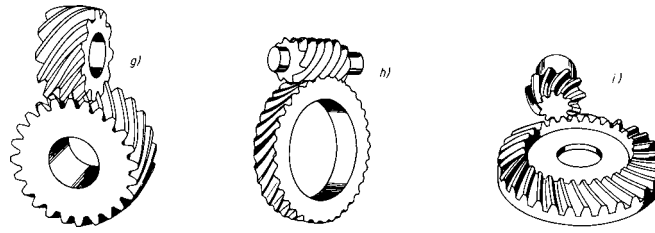


Figura 1.1 Exemplos de transmissões por engrenagens. (a-d) Eixos paralelos: (a) engrenagem cilíndrica de dentes retos, (b) engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais, (c) engrenagem cilíndrica de dentes retos com coroa apresentando dentado interno, (d) pinhão cremalheira. (e-f) Eixos concorrentes: (e) Engrenagem cônica de dentes retos, (f) engrenagem cônica de dentes helicoidais. (g-i) Eixos reversos: (g) engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais, (h) sem-fim coroa, (i) Engrenagem hipoide. [Decker]

Nas situações onde a relação de transmissão for muito elevada (em geral maior que 6) para ser implementada por um único par de rodas dentadas, é sempre possível associar as engrenagens em seqüência, de maneira a obter a relação de transmissão desejada. Assim é possível evitar rodas dentadas de grandes diâmetros (figura 1.2).

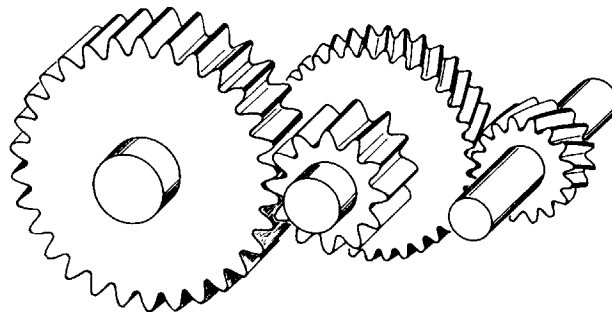


Figura 1.2 Associação de engrenagens [Decker]

2. Perfil dos dentes e nomenclatura

Do ponto de vista **cinemático** uma engrenagem tem o comportamento de duas circunferências de diâmetro d_1 e d_2 , em contato e que não escorregam entre si (figura 2.1). Estas circunferências são denominadas *circunferências primitivas*.

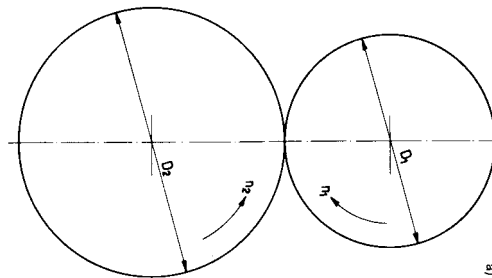


Figura 2.1 Modelo cinemático para a engrenagem [Manfé]

Para que as engrenagens tenham relação de transmissão constante é necessário que o perfil dos dentes atenda a certas características. A principal é garantir que a posição do ponto de contato entre os dentes seja fixa sobre a reta que une os centros das rodas dentadas. Uma das curvas que garante esta condição é a **evolvente** de círculo.

A definição da curva evolvente é: A curva descrita por um ponto de uma reta que rola sem escorregar sobre uma circunferência. Esta é chamada de circunferência de base. (ver figura 2.2).

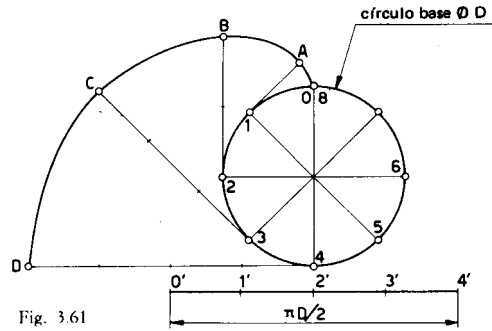


Fig. 3.61

Figura 2.2 Evolvente de circunferência [Manfé]

A curva evolvente é usada em quase a totalidade das transmissões por engrenagem não só pela característica de garantir relação de transmissão constante mas também por ter propriedades que permitiram o desenvolvimento de métodos de fabricação de engrenagens por geração, o que veio a facilitar a produção em grande escala de engrenagens.

Outra vantagem da curva evolvente é a manutenção da direção da reta de ação. Esta é a linha referente a normal comum aos dentes em contato (figura 2.3). Trata-se da linha sobre a qual age a força de contato entre os dentes. É interessante que a componente tangencial desta força seja constante para que se tenha o torque constante. Para tanto, se não houver flutuações no acionamento, deve-se ter a direção da reta de ação fixa. Esta direção é dada pelo **ângulo de pressão**, α , medido entre a tangente comum as circunferências primitivas no ponto de contato e a reta de ação. Em engrenagens normalizadas este ângulo vale 20° .

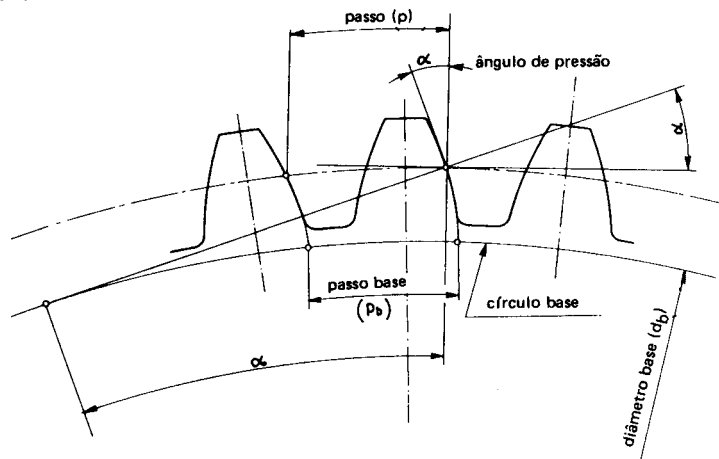


Figura 2.3 Linha de ação e ângulo de pressão [Manfé]

Na figura 2.4 estão indicados as principais características dos dentes de uma engrenagem. A circunferência tomada no topo dos dentes é denominada de circunferência de topo ou de cabeça. Há ainda a circunferência de pé ou de fundo tomada na raiz dos dentes. Estas duas são passíveis de medição direta o que não ocorre com as circunferências primitiva e de base. Também deve ser notado que não há necessariamente uma coincidência entre a circunferência de fundo e a de base (figura 2.3).

Outra definição importante diz respeito ao adendo (h_a) e dedendo (h_f). O primeiro refere-se a porção do dente acima da circunferência primitiva enquanto o segundo refere-se a parte que é interna a circunferência primitiva até a raiz do dente. A soma desta duas parcelas corresponde a altura do dente, sendo esta medida sempre sobre a direção radial.

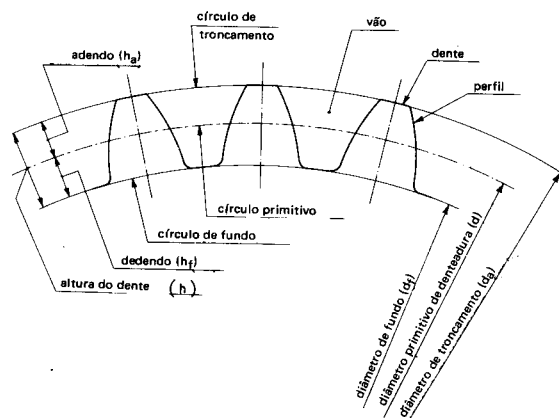


Figura 2.4 Características geométricas principais dos dentes e engrenagens [Manfé]

Finalmente há o passo, p . Trata-se da medida em arco, tomado sobre a circunferência primitiva, da distância entre dentes consecutivos. Há ainda o passo de base, p_b , que é medido na circunferência de base ao invés da primitiva (figura 2.4).

2.1 Módulo

Dada a sua grande utilização as engrenagens estão sujeitas a padronização por normas. No sistema métrico todas as medidas dos dentes são definidas em função de uma grandeza denominada módulo, m . Esta também irá definir as dimensões das ferramentas usadas na usinagem das engrenagens.

O módulo é definido a partir da medida da circunferência primitiva. Sabe-se que este medida é dada pelo número de dentes, Z , e pelo passo, p , como também pelo diâmetro primitivo, d_p , logo:

$$\pi \cdot d_p = Z \cdot p \quad (2.1)$$

Dividindo-se ambos os termos por π , tem-se:

$$d_p = Z \cdot \frac{p}{\pi} \quad (2.2)$$

Por definição o módulo, m , é dado por:

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (2.3)$$

Por norma o passo é sempre considerado em milímetros, sendo que na maioria das situações não se menciona a unidade de medida justamente por esta imposição da norma. Assim é comum dizer, por exemplo, que uma engrenagem foi feita com "módulo 2".

Substituindo (2.3) em (2.2) tem-se:

$$d_p = Z \cdot m \quad (2.4)$$

A equação (2.4) é de fundamental importância e dela pode-se entender o módulo como sendo o quociente do diâmetro primitivo pelo número de dentes. Outra consequência importante é que conhecido o módulo e o número de dentes tem-se a geometria básica totalmente definida.

Outra característica importante é que o módulo tem seu valor tabelado em norma. Como exemplo tem-se a DIN 780 em anexo.

3. Geometria e parâmetros básicos

Neste tópico serão vistos a geometria e os parâmetros básicos de uma transmissão por engrenagens. Como base será considerado o caso de engrenagens cilíndricas de dentes retos, mas os conceitos vistos são facilmente expandidos para as outras configurações de engrenagens.

Na figura 3.1 estão representados um pinhão e uma coroa. O pinhão tem Z_1 dentes, o diâmetro primitivo é d_1 , gira com rotação n_1 e é acionado por um torque M_1 . Já a coroa tem Z_2 dentes, o diâmetro primitivo é d_2 , gira com rotação n_2 e aciona o eixo na qual está montada com um torque M_2 . A distância entre os centros é A . Tanto pinhão e coroa tem módulo m .

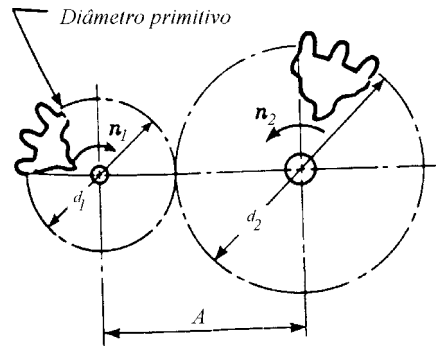


Figura 3.1 – Geometria do par engrenado [Amstead]

A relação de transmissão, i , usando a sua definição e a cinemática elementar, é dada por:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (3.1)$$

Considerando a expressão (2.4) tem-se ainda para a relação de transmissão:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3.2)$$

Nota-se de (3.2) que nem toda a relação de transmissão é possível numa configuração como a da figura 3.1. Isto porque a relação de transmissão é dada por um quociente de números inteiros que são correspondentes ao número de dentes da coroa e do pinhão. Uma maneira de suplantar este inconveniente é usar mais de um par de rodas dentadas ou associar a transmissão por engrenagem com outro tipo de transmissão mecânica.

Para a distância entre centros, A , tem-se:

$$A = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{m \cdot (Z_1 + Z_2)}{2} \quad (3.3)$$

4. Desenho

De acordo com a norma NBR 11534 (abr.1991) as engrenagens devem ser representadas como uma peça sólida, sem os dentes. São indicados os diâmetros primitivos, com linha traço ponto e o diâmetro externo com linha cheia. No corte representa-se o dente, nunca hachurado, e a circunferência de pé do dente, juntamente com a primitiva e a de topo. A figura 4.1 contém alguns exemplos de representação de engrenagens.

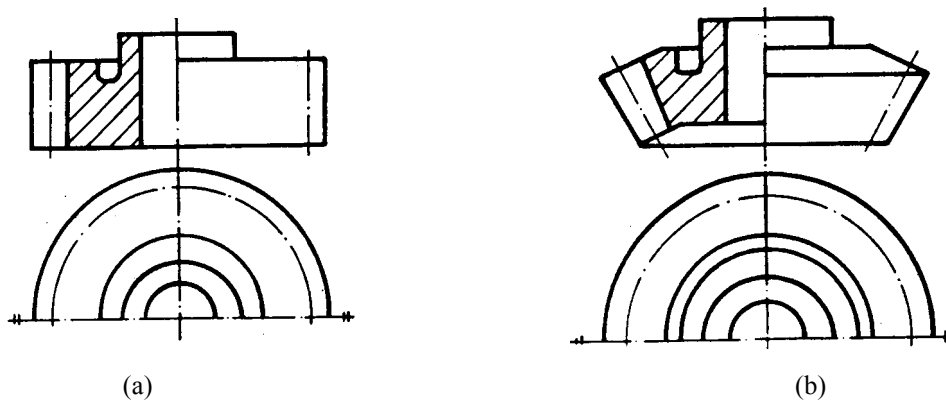


Figura 4.1 Representação de engrenagens. (a) E. Cilíndrica de dentes retos. (b) E. Cônica [Zampese]

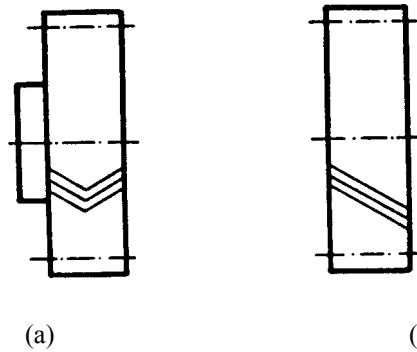


Figura 4.2 Representação de engrenagens com dentes helicoidais. (a) Dupla hélice. (b) Hélice simples [Zampese]

5. Referências

- Amstead, B. H.**, Manufacturing Processes, 8th Edition, John Wiley & Sons, New York, 1990.
- Beitz, W.; Küttner, K. -H.**; Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, 17. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1990
- Decker, K. -H.**; Maschinenelemente – Gestaltung und Berechnung, 14. Auflage, Carl Hansen Verlag, München, 1998
- Dobrovolsky, V.; et alli**; Machine Elements, 2nd printing, Mir Publishers, Moscow, 1968
- Greenwood, D. C.**; Mechanical Power Transmission – Component selection and application, McGraw-Hill, New York, 1962
- Manfé, G., Pozza, R. Scarato, G.**; Desenho Técnico Mecânico, Editora Hemus, São Paulo, 1988
- Niemann, G.**; Elementos de Máquinas Vol. III, Editora Edgar Blücher, São Paulo, 1971
- Reshetov, D. N.**; Atlas de Construção de Máquinas, Editora Mir, Moscou, 1970
- Stipkovic F^o, M.**; Engrenagens, Editora McGraw-hill, São Paulo, 1983
- Zampese, B.** ; Desenho de Máquinas – Apostila, São Paulo, 1998