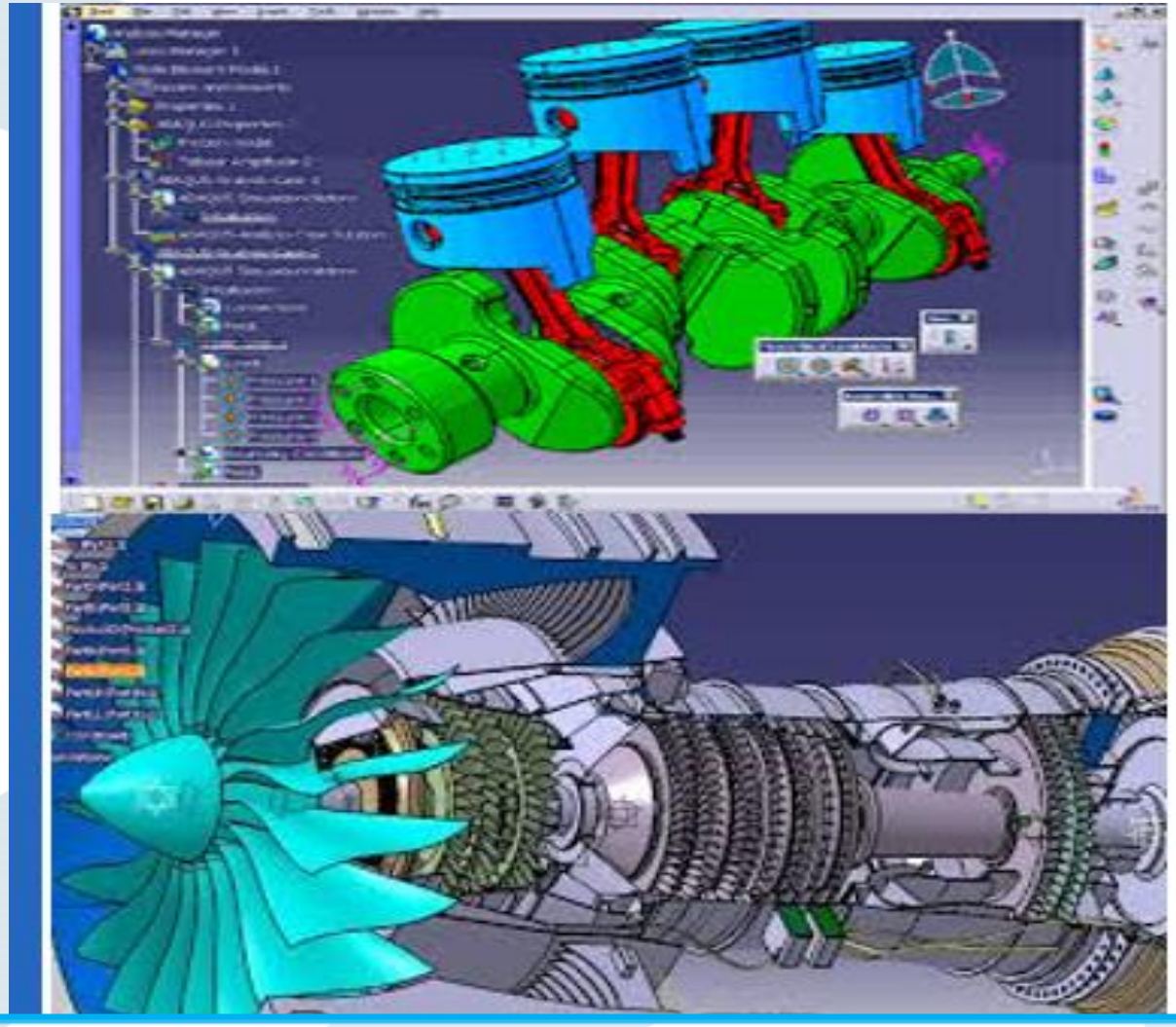
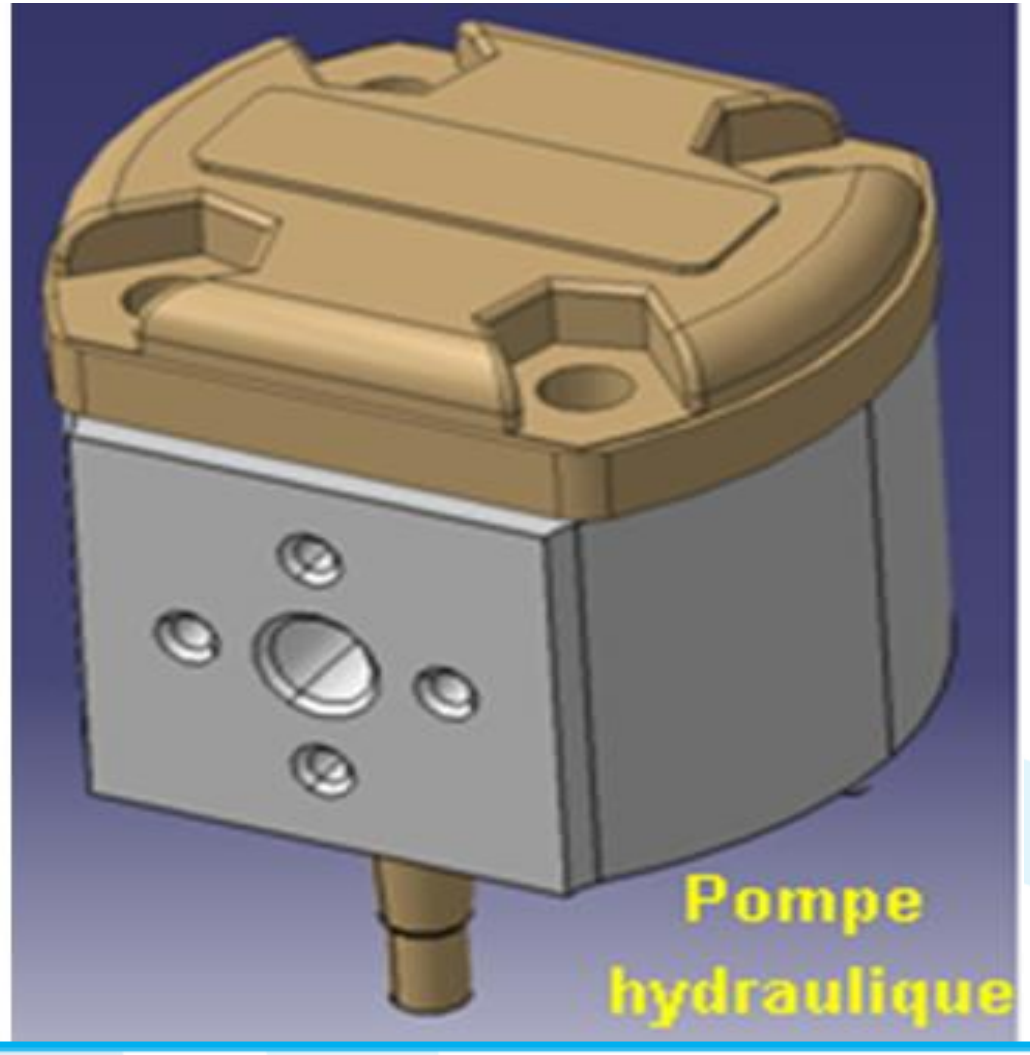
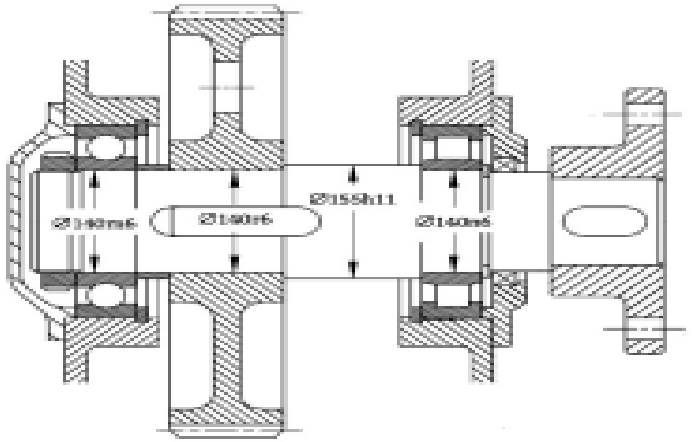
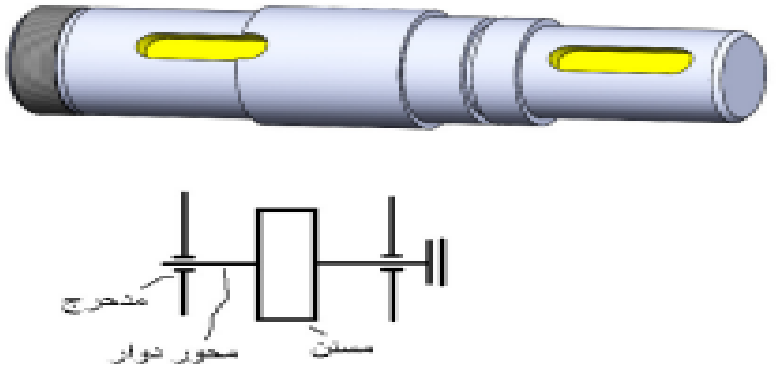



Pompe
hydraulique

تصميم المحاور الدوارة

تحتوي معظم الآلات على محاور تستعمل لنقل الحركة الدورانية ترتكز على مدحرجات وتحمل قطع ميكانيكية (مسننات، بكرات، قارنات.....).





تتألف الحمولات التي يخضع لها المحور الدوار عموماً من

- عزم فتل ناتج عن نقل الحركة الدورانيّة.
- عزم انحناء ناتج عن القوى التي تنشأ على المسننات والبكرات المركّبة على المحور.
- في بعض الحالات تتولد على المحور محوريّة أيضاً ناتجة عن بعض أنواع المسننات في عموم الحالات يمكن إهمالها.

يُحسب عزم الفتل المنقول بواسطة عمود نقل حركة بمعرفة الدوران N والاستطاعة المحمولة P وفق:

$$M_t\ [\mathrm{kg \cdot cm}] = \frac{71620 \times P\ [\mathrm{HP}]}{N\ [\mathrm{rpm}]}$$

يُحسب عزم الانحناء على مقاطع المحور برسم مخطط عزم الانحناء بعد معرفة القوى العرضيّة الناتجة من القطع المركّبة على المحور.

تصميم المحور الدوار وفق معادلة الجمعية الأمريكية

$$\frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(k_b M_b)^2+(k_t M_t)^2}=\tau_{all}$$

حيث: d قطر المحور، M_b, M_t عزمي الفتل والانحناء على المقطع الخطر، τ_{all} الإجهاد المسموح به على القص لمادّة المحور، k_b عامل تعب وصدم للانحناء، k_t عامل صدم للفتل يعطيان.

عندما يكون المحور مفرّغ بقطر داخلي d وقطر خارجي D تأخذ المعادلة الشكل التالي:

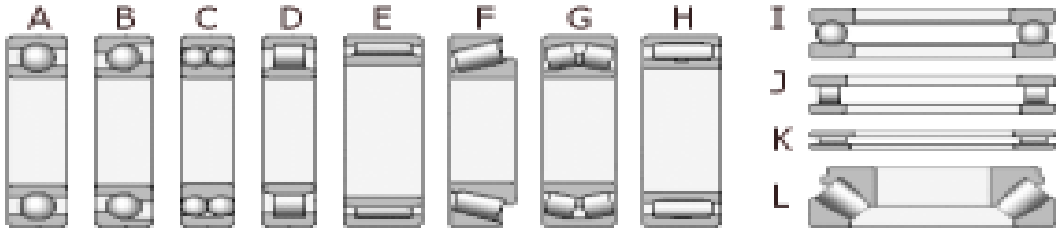
$$\frac{16}{\pi D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}\sqrt{(k_b M_b)^2+(k_t M_t)^2}=\tau_{all}$$

مدحرجات التماس الصلب

المدحرجات هي وسائل لارتكاز المحاور الدوّارة على الأجزاء الثابتة للآلات.

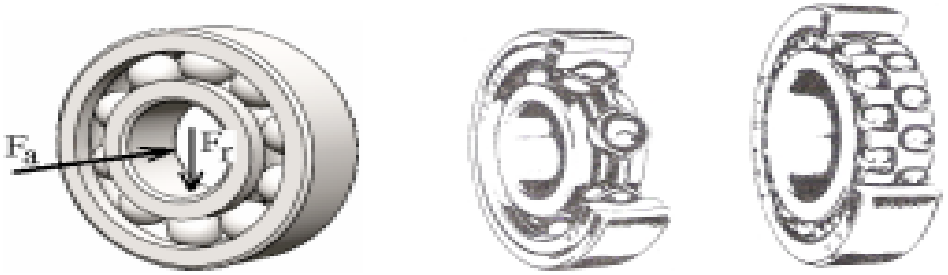
تصنيف مدحرجات التماس الصلب

تصنف مدحرجات التماس الصلب وفقاً لشكل عنصر التدحرج إلى مدحرجات كروية، مدحرجات أسطوانيّة، مدحرجات أبرية، مدحرجات مخروطية ومدحرجات برميلية كما يُمكن مصادفة مدرجات بأشكال خاصة.

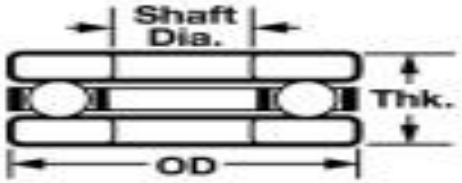


المدحرجات الكروية

تتحمّل المدحرجات الكروية قوى قطرية F_r تتوزع على عدد محدود من الكرات كما أنّ هذه المدحرجات تتحمّل قوى محوريّة F_a تصل حتى 70% من قيمة القوى القطرية تتحملها جميع الكرات



من أجل القوى المحوريّة الصرفة تمّ إيجاد ما يُسمّى بمدحرج الدفع المحوري (Thrust bearing)



المدحرجات الأسطوانيّة

المدحرجات الأبريّة

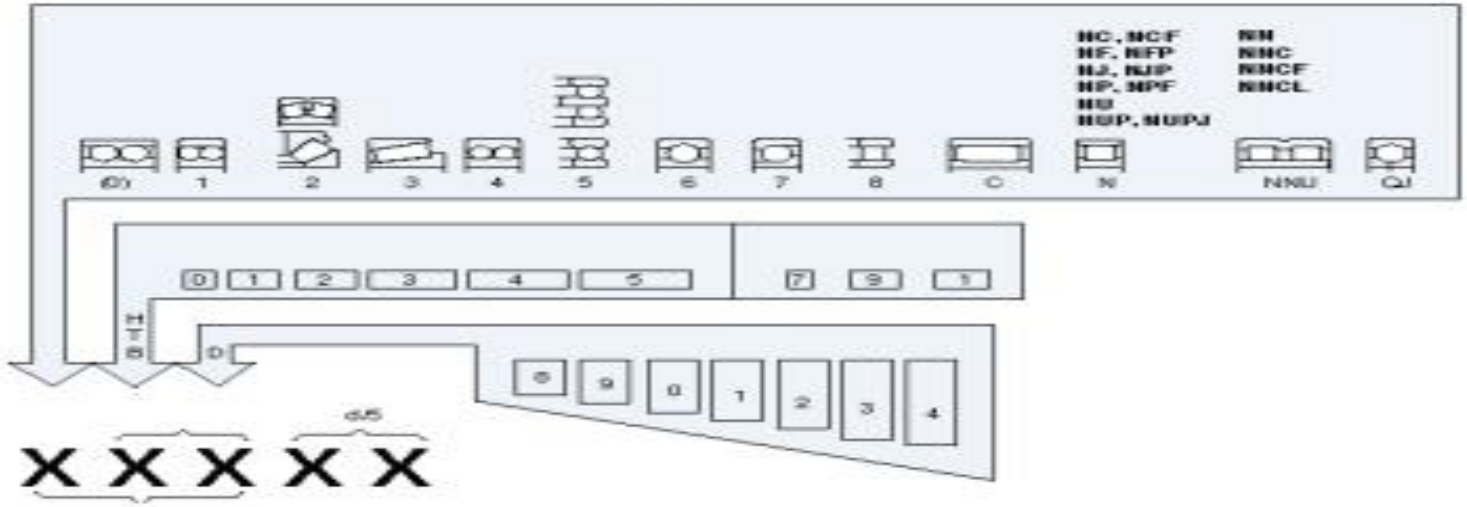
المدحرجات البرميلية

المدحرجات المخروطيّة

مدحرجات خاصّة

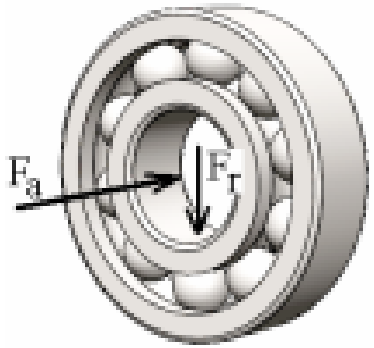
توصيف مدحرجات التماس الصلب

على اعتبار أنّ المدحرج يُستعمل بكثرة في معظم الآليات فقد عمدت المنظمة العالمية للأبعاد القياسيّة إلى توحيد الأبعاد الهندسيّة للمدحرجات وتصنيفها ضمن مجموعات من أجل السماح بتبادلية المدحرجات بين بعضها البعض بغض النظر عن الشركة المصنعة للمدحرج ومن هنا فقد أُعطي لكل مدحرج رقم مؤلف من عدة خانات.



الحمولات على المدحرج:

القوى المؤثرة (قطرية F_r ومحورية F_a).



سرعة الدوران.

ساعات التشغيل (العمر).

تصميم مدحرجات التماس الصلب

على اعتبار أنّ المدحرج هو قطعة قياسيّة يتم إنتاجها في مصانع تتبع لشركات معروفة عالمياً فإنّ تصميم مدحرج لآلية معينة هو اختياره الصحيح من منتجات الشركات الصانعة ويتم ذلك بتحديد رقم المدحرج الموجود في النشرات الفنيّة للشركة.

يستطيع المصمم تحديد رقم المدحرج الذي يوافق حاجته التصميمية من كتالوجات الشركات الصانعة للمدحرجات بمعرفة مقدارين هما:

- قطر الحلقة الداخليّة للمدحرج ويكون مساوياً بالقيمة الاسمية لقطر المحور الذي يحمله المدحرج والذي يتم الحصول عليه من دراسة متانة المحور.
- السعة الديناميكية للمدحرج التي تُحسب وفق العلاقة:

$$C = P \cdot (L)^{\frac{1}{m}}$$

m ثابت يأخذ القيمة m=3 من أجل المدحرجات الكروية و m=10/3 من أجل المدحرجات غير الكروية.

L عمر المدحرج (مليون دورة) الذي يحسب وفق

$$L = 60 \times N \times L_h \times 10^{-6}$$

حيث N [rpm] الدوران و L_h [hour] العمر الزمني

P الحمل المكافئ يعتبر كما يلي

- حالة مدحرج يخضع لقوّة قطريّة F_r فقط: $P = F_r$

- حالة مدحرج يخضع لقوتين قطريتين R_1, R_2 في مستويين متعامدين: $P = \sqrt{R_1^2 + R_2^2}$

- حالة مدحرج دفع محوري يخضع لقوّة محوريّة F_a فقط: $P = F_a$

- حالة مدحرج يخضع لقوّة قطريّة F_r وقوّة محوريّة F_a معاً: $P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a$

حيث V عامل الدوران يأخذ القيمة 1 إذا كانت الطارة الداخليّة تدور بالنسبة لاتجاه الحمولة ويأخذ القيمة V=1.2 إذا كانت الطارة الخارجيّة هي التي تدور بالنسبة لاتجاه الحمولة.

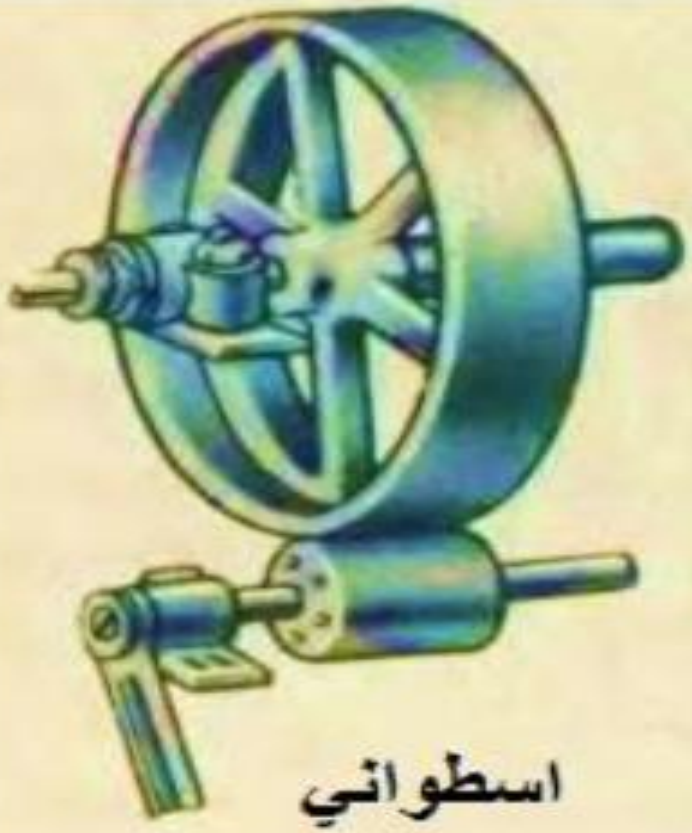
تُعطى العوامل X, Y بجداول تتعلق بنوع المدحرج.

وسائل نقل الحركة الدورانية

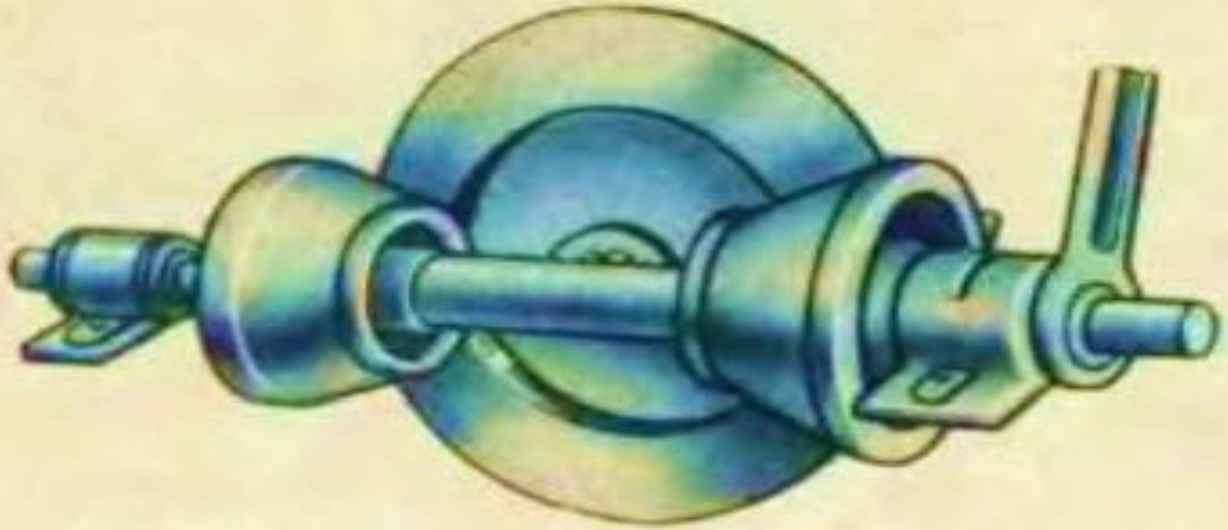
تستخدم لنقل الحركة من احد اجزاء الالة الى آخر وانواعها عدة :

١ - النقل بالاحتكاك المتولد عند ضغط بكرتين او مخروطين متقابلين احدهما متحرك استخداماتها قليلة بسبب عدم استجابتها للحولات الزائدة

نقل الحركة بالاحتكاك

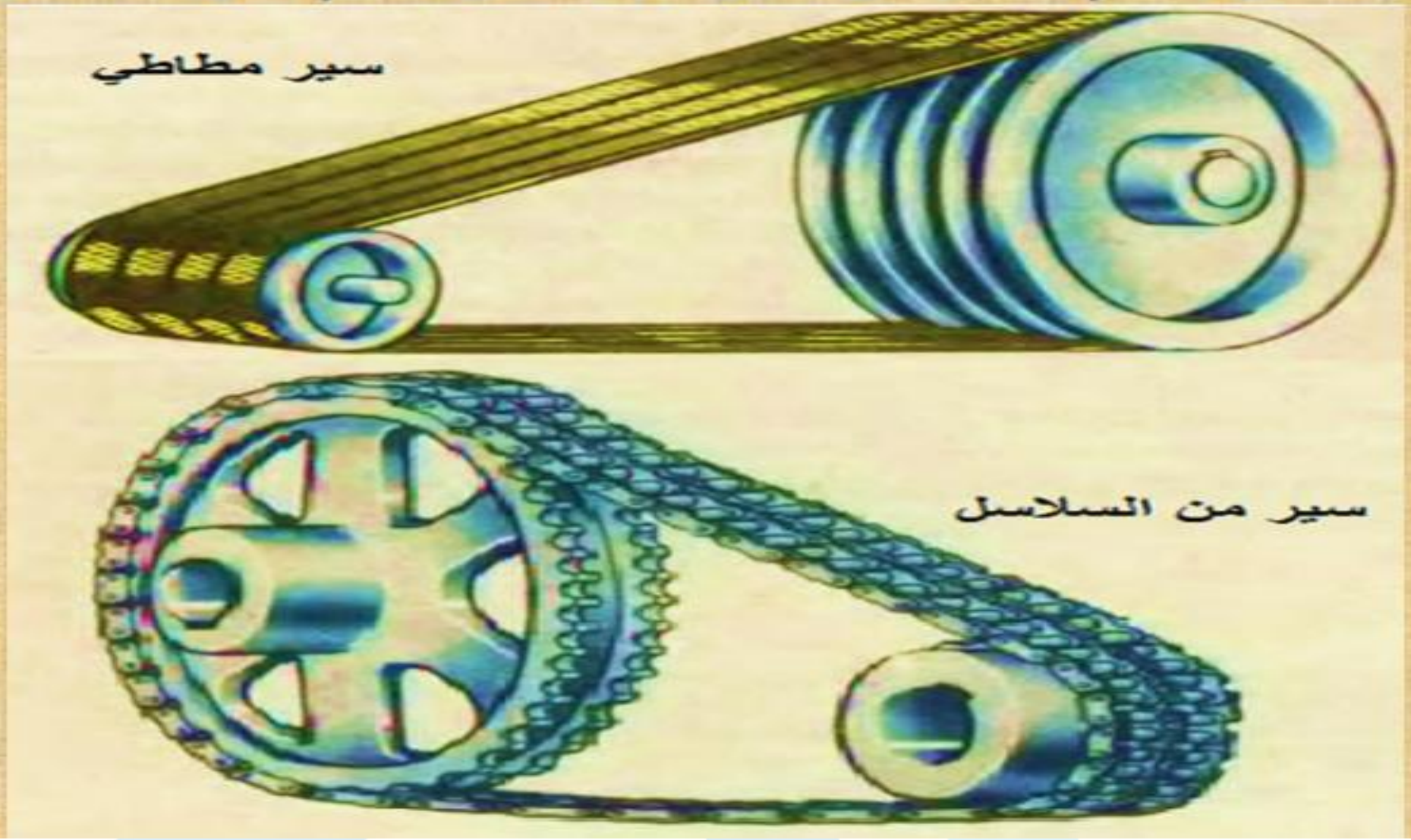


اسطواني



مخروطي

٢- بالسيور وبالسلاسل عندما تكون محاورها متوازية يمكن نقل الحركة فيها لمسافات بعيدة عن بعضها كما يمكن تغيير اتجاه الحركة فيها سريعة التآكل او الاهتراء



٣- نقل الحركة بالمسننات : واسعة الانتشار ،تنقل حمولات عالية ، مرنة يمكن نقل الحركة بين المحاور المتوازية ،المتلاقية والمتعامدة ، انواعها مختلفة

اسطوانية متوازية المحاور

مسننات دودية

مخروطية متعامدة

مسننات كوكبية

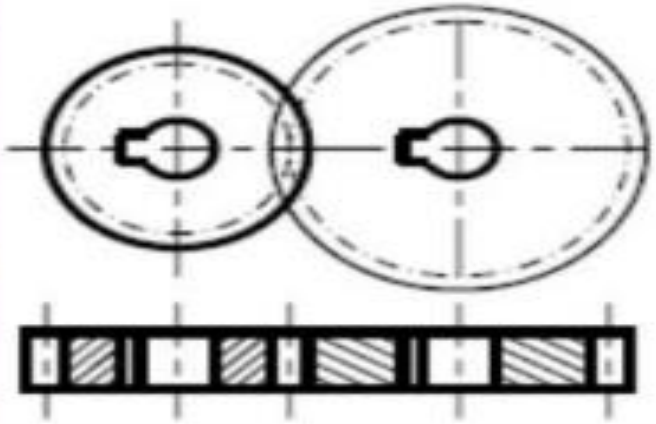
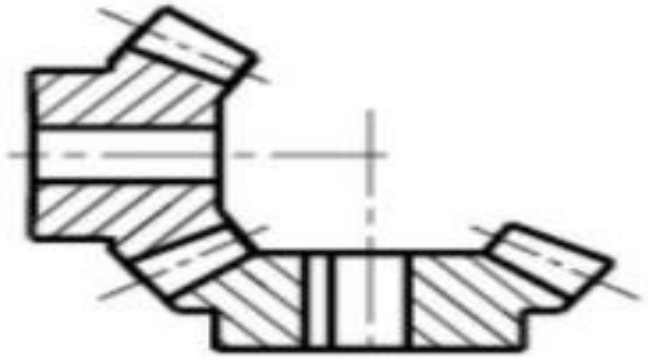
متوازية المحاور

متعامدة

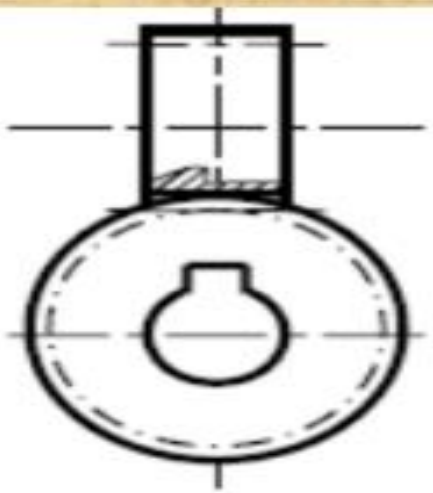
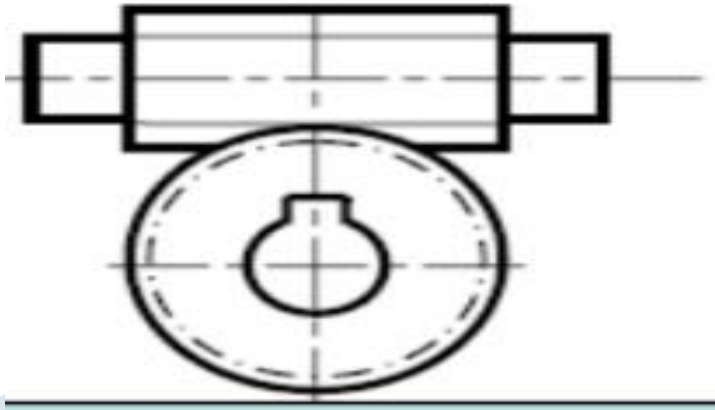
متقاطعة

دودية

التمثيل الهندسي للمسننات

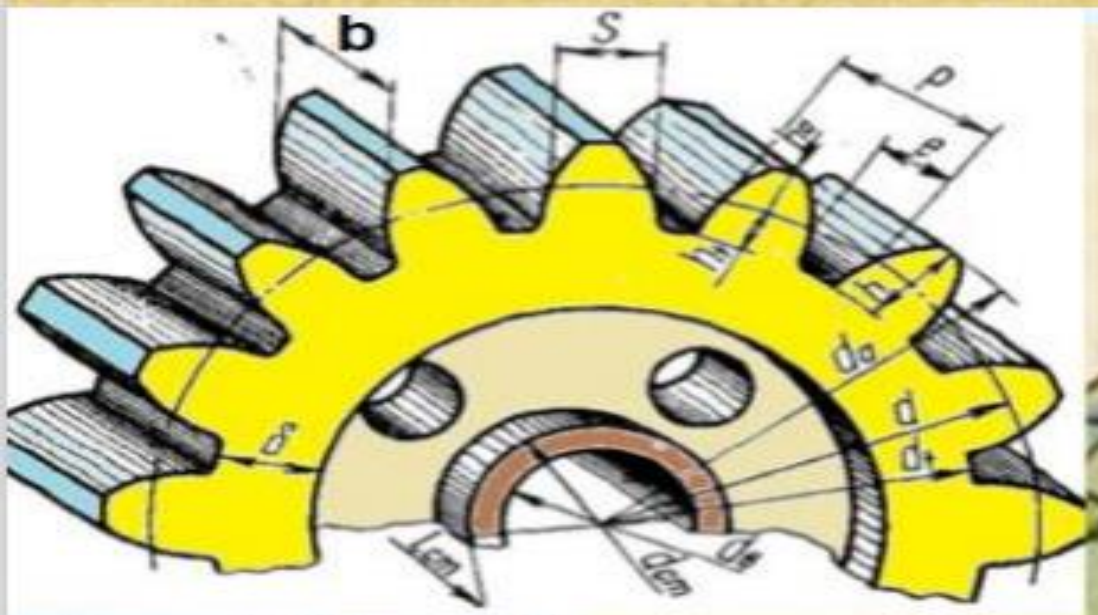
تروس أسطوانية ذات أسنان مستقيمة أو مائلة		
تروس مخروطية ذات أسنان مستقيمة أو مقوسة		

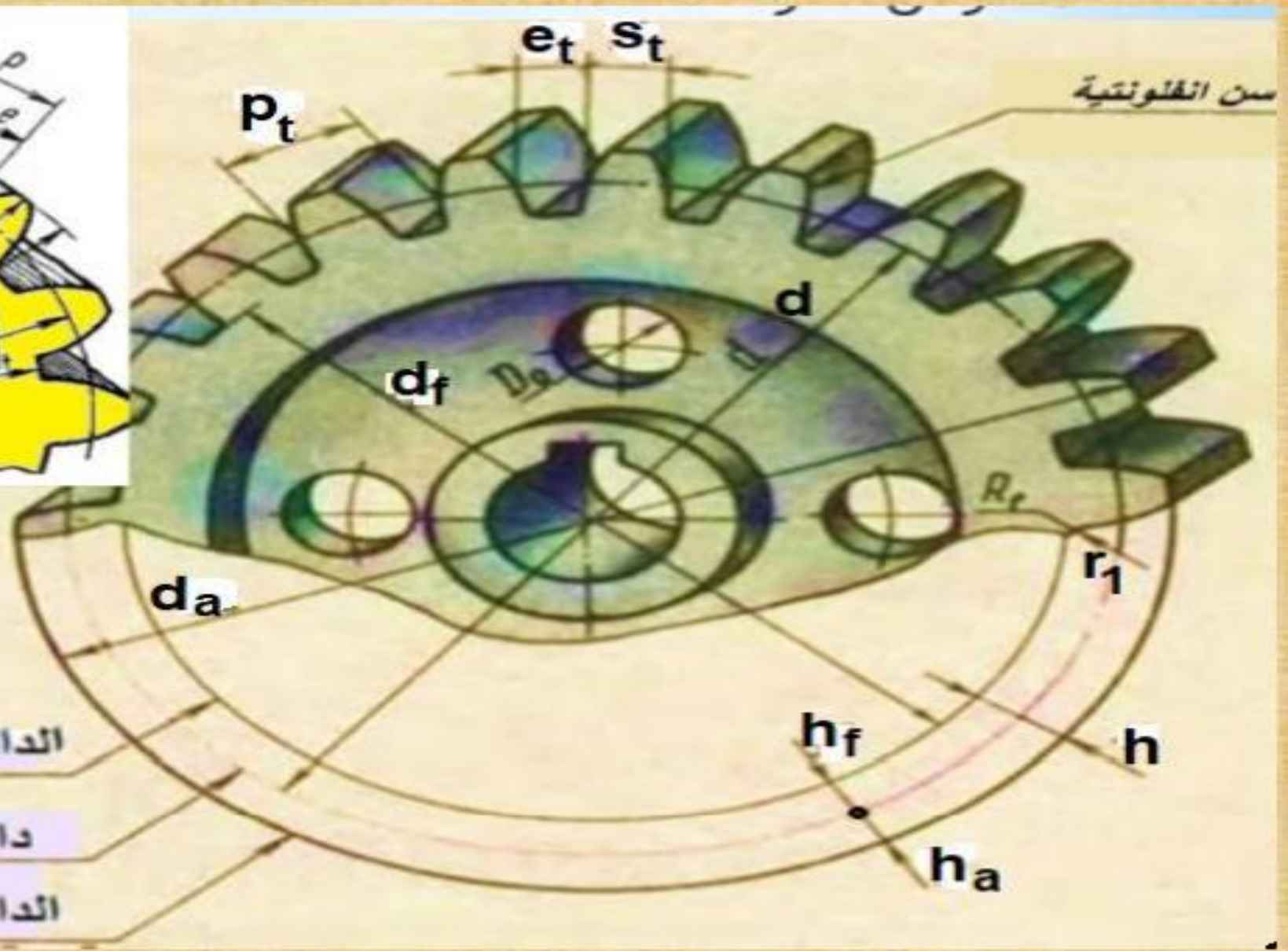
الموديول m : رقم لتعشيق المسنن يستخدم للتخلص من قيمة π عند حساب دائرة الخطوة

تعاشيق تروس حلزونية		
ترس دودي و دودة		

الخطوة p: المسافة بين سنين متتاليين على دائرة الخطوة

أ- الاسطوانية : تحتوي على اسنان تنقل الحركة عند التعشيق مع اسنان قرص آخر





St – سماكة السن عند دائرة الخطوة

et – سماكة الفراغ بين الاسنان عند دائرة الخطوة

الخطوة p: المسافة بين سنين متتاليين على دائرة الخطوة

الرمز	بيانات المسنن	الصيغ الرياضه لحسابه
h_a	ارتفاع قمة السن	$h_a = m$
h_f	ارتفاع قاعدة السن	$h_f = 1,25m$
h	ارتفاع كامل السن	$h = h_a + h_f = 2,25m$
d	قطر دائرة الخطوة	$d = m\,z$
d_a	قطر الدائرة الخارجية	$d_a = d + 2h_a = m(z+2)$
d_f	قطر الدائرة الداخلية	$d_f = d - 2h_f = m(z-2,5)$
P_t	الخطوة	$P_t = \pi\, m$
S_t	سماكة السن	$S_t = 0,5P_t = 0,5\pi\, m$
R_f	نصف قطر القوس بين الدائرة الداخلية والقاعدة	$R_f = 0,25m$
e_t	سماكة حافة السن	$e_t = 0,5P_t = 0,5\pi\, m$

في حال وجود مسنن يحتوي على بروز محوري فيه ثقوب تضاف الى الجدول السابق البيانات التالية

بيانات المسنن		العلاقات المستخدمة
سماكة حافة المسنن	b	$b = (2,5-3)m$
قطر دائرة بروز المسنن	d_c	$d_c = (1,6-1,8)D_B$
سماكة القرص في منطقة الثقوب	k	$k = (3-3,6)m$
قطر دائرة توضع الثقوب	D_1	$D_1 = (D_k + d_c)$
قطر دائرة الثقب	D_o	$D_o = \frac{D_k - D_c}{2,5-3}$
شطفة حواف محور القرص	c	$c = 0,5m \times 45$
طول البروز عند محور المسنن	l_{ct}	$l_{ct} = 1,5\,D_B$

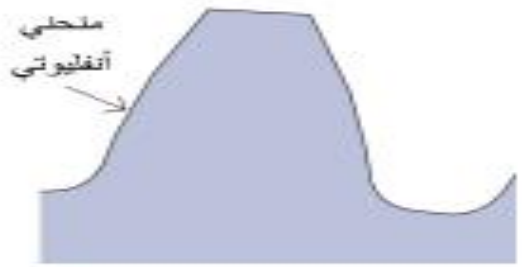
D_B قطر العمود المحوري

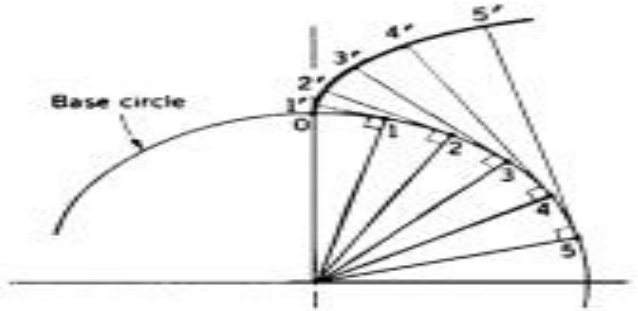
المسننات المستقيمة

تتواجد المسننات في معظم الآلات الميكانيكيّة والغاية منها هي نقل القدرة مع تغيير مكان الدوران وقيمة الدوران وتُعتبر المسننات المستقيمة الأقل تعقيداً من باقي أنواع المسننات من ناحية الشكل الهندسي حيث الأسنان موازية للمحور.

المعالم الأساسية للمسنن المستقيم

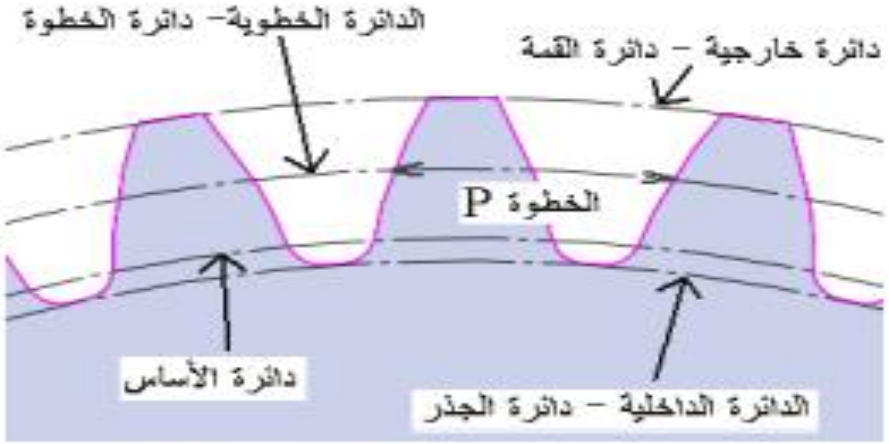
- شكل السن: تكون جانبية السن على شكل منحني أنفلوتي وتُصنع أسنان المسننات بشكلين: أسنان ذات عمق كامل Full depth وأسنان قصيرة Stub.





- **المودول m**: يعتبر وحدة بناء في المسنن بحيث أن كافة أبعاد المسنن تعطى بدلالة المودول وله قيم قياسية يجب التقيد بها عند تصنيع المسنن ويُرمز له بـ m ويقاس بواحدة الـ mm.

- **زاوية الضغط α**: هي الزاوية بين مماس السن عند الدائرة الخطوية والخط الواصل إلى مركز المسنن والقيمة القياسية الأكثر انتشاراً $\alpha=20$.
- **عدد الأسنان Z**: هو رقم صحيح دوماً.
- **دوائر المسنن**: يبيّن الشكل دوائر المسنن.



– الدائرة الخطوية: دائرة اصطلاحية محيطها يمر من نقطة تقاطع خط مركزي المسننين المتعاشقين مع ناظم السنين المتعاشقين في نقطة التماس ويُحسب قطرها وفق:

$$d = m \times Z$$

– الدائرة الخارجيّة: تمر من قمة الأسنان وتُمثّل قطر القرص الخامة اللازم لتصنيع المسنن ويُحسب قطرها من أجل أسنان العمق الكامل وفق:

$$d_o = d + 2 \cdot m$$

- دائرة الأساس: من هذه الدائرة يبدأ المنحني الأنفليوتي للسن ويُحسب قطرها وفق:

$$d_b = d \times \cos(\alpha)$$

- الدئرة الداخليّة: تمر من قعر الأسنان ويُحسب قطرها وفق:

$$d_i = d - 2.5 \cdot m$$

- **الخطوة P**: تمثل المسافة بين نقطتين متماثلتين من سنين متجاورين مقاسة على الدائرة الخطويّة وتُحسب وفق:

$$P = \frac{\pi \cdot d}{Z} = \pi \cdot m$$

- **عرض المسنن b**: يُعطى بدلالة المودول أو الخطوة بالحدود التالية:

$$b = (9.5 \rightarrow 13)m = (3 \rightarrow 4)P$$

نقل الحركة باستخدام مسنن وجريدة مسننة

تُعتبر الجريدة المسننة مسنناً مستقيماً تناهى قطره إلى اللانهاية وتُستخدم هذه الآلية لتحويل الحركة الدورانيّة إلى حركة خطّية وبالعكس.

نقل الحركة باستخدام مسننين مستقيمين

تُستخدم المسننات المستقيمة لنقل الحركة بين محاور متوازية حصراً كما يبين الشكل وتُستخدم في كثير من الآلات بغرض تغيير قيمة الدوران في المقام الأول.

اعتبارات أساسيّة في المسننات المستقيمة

- شروط التعاشق بين مسننين مستقيمين:

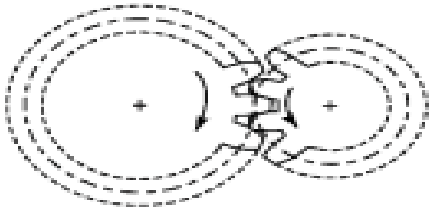
– يجب أن يكون للمسننين نفس الخطوة المحيطية وبالتالي نفس قيمة المودول m.

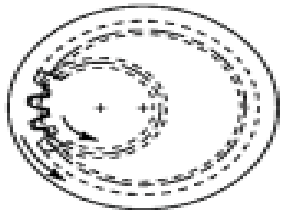
– يجب أن يكون للمسننين نفس زاوية الضغط.

– يجب أن تكون الدوائر الخطوية للمسننين متماسة والمسافة بين مركزي المسننين:

$$C = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = \frac{1}{2}m(Z_1 + Z_2)$$

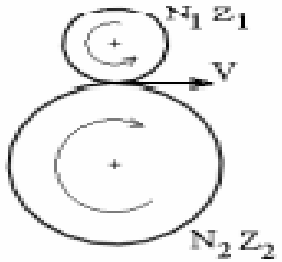
- في حالة التعشيق الخارجي تكون جهة الدوران متعاكسة للمسننين المتعاشقين أما في حالة التعشيق الداخلي فيكون للمسننين نفس جهة الدوران.

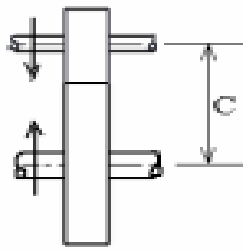




- نسمي المسنن الذي يقوم بالتدوير بالمسنن القائد والمسنن الذي يتلقى الدوران بالمسنن المنقاد.
- ينتج قانون نقل الحركة عن أن نقطة التماس لها نفس السرعة.

$$N_1 \cdot Z_1 = N_2 \cdot Z_2$$



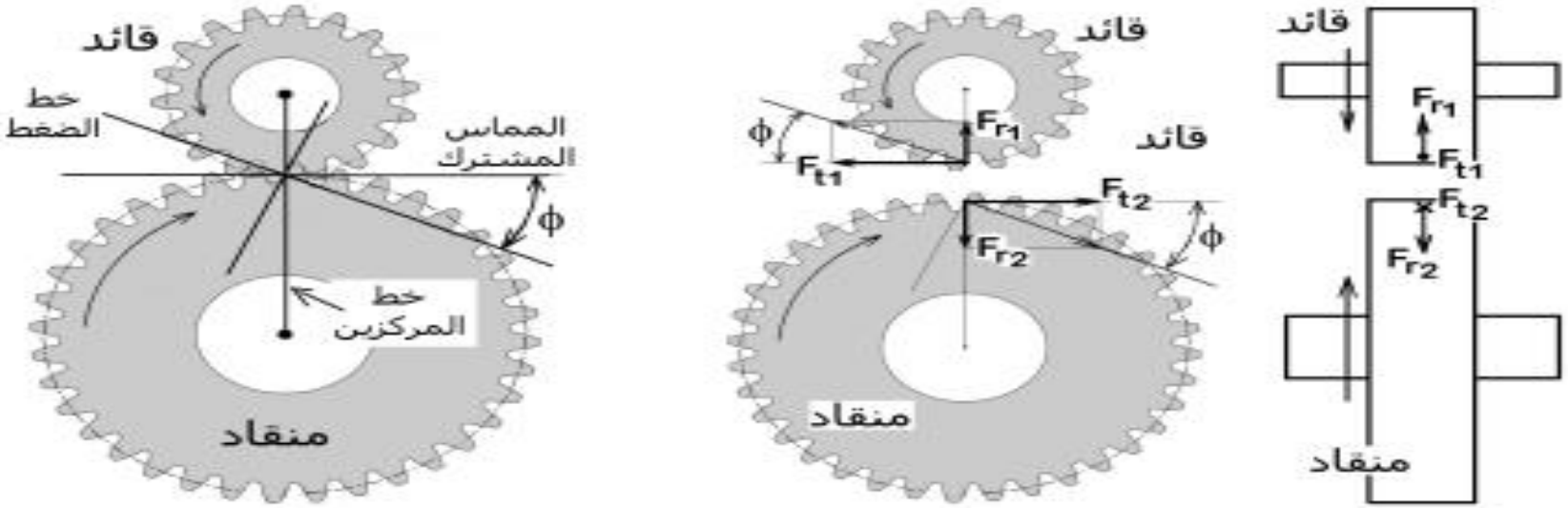


- نسبة السرعة: تُعرّف بأنّها نسبة عدد دورات المسنن القائد إلى عدد دورات المسنن المنقاد:

$$i = \frac{N_1}{N_2}$$

- للحصول على تخفيض للدوران نستخدم مسنن قائد صغير ومسنن منقاد كبير والعكس صحيح.

تحليل القوى في المسننات المستقيمة



تُحسب القوة المماسية بمعرفة عزم الفتل على محور المسنن وقطر الدائرة الخطوية وفق:

$$F_t = \frac{2M_t}{d}$$

ويُحسب عزم الفتل بمعرفة الاستطاعة المنقولة والدوران وفق:

$$M_t\ [\mathrm{kg \cdot cm}] = \frac{71620 \times P\ [\mathrm{HP}]}{N\ [\mathrm{rpm}]}$$

تُحسب القوّة القطرية بمعرفة زاوية الضغط α وفق:

$$F_r = F_t . \tan(\alpha)$$

تحديد مادة المسننات المستقيمة

معادلة لويس: تستخدم هذه المعادلة لحساب حد التعب اللازم لمادة المسننات وهي معادلة زوج مسننات.

$$F_t + F_d = S_{nr} \cdot b \cdot Y \cdot m \cdot \frac{K_y}{K_f \cdot K_S}$$

معادلة الاهتراء: تستخدم هذه المعادلة لحساب عامل الاهتراء K وبعده تحديد القساوة من الجدول وهي معادلة زوج مسننات.

$$F_t + F_d = K \cdot b \cdot d_p \cdot \frac{2i}{1+i}$$

مسألة يطلب حساب زوج من المسننات الجبهية ذات اسنان مستقيمة في علبة سرعة تدار بواسطة محرك كهربائي ذي استطاعة اسمية قدرها P=1KW, وعدد دورات قدره n=44,3 1/min وعدد اسنان المسنن القائد(Z_1=45) وعدد دورات المسنن المقاد (n_2=17,5 1rpn).زاوية التعشيق $\alpha_0 = 20°$ ونسبة عرض السن بالنسبة لقطره الأساسي $\frac{b}{d_{01}} = 0,45$ والمعدن المستخدم ما ماركة 37 Mn (SiS) المقسى بواسطة اللهب.

(إجهاد الانعطاف المسموح به: $[\sigma] = 160Mpa$.

الحل:

1-حساب نسبة النقل:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{44,3}{17,5} = 2,531$$

2-حساب عدد أسنان المسنن المقاد

$$Z_2 = i.Z_1 = 2,531 = 113,945 =$$

نختار عدد أسنان المسنن المقاد Z_2=114 سنا.

3-حساب نسبة عدد الأسنان(u):

$$u = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{114}{45} = 2,533$$

4-حساب عدد دورات المسنن المقاد n_2

$$n_2 - \frac{n_1}{u} - \frac{44,3}{2,533} - 17,5rpm$$

5-حساب العزم الاسمي على المسنن القائد

$$M_{t1N} = 9550, \frac{P_{1N}}{n_1} = 9550 \frac{1,4}{44,3} = 301,8Nm$$

6-حساب العزم المعتمد في حساب قابلية المسنن للتحميل

$$M_{t1} = M_{t1N}, C_B$$

ان عامل التشغيل يؤخذ: $C_B=1,5$

$$M_{t1} = 301{,}8.1{,}5 = 452{,}7\,Nm$$

7-حساب اجهاد الهصر المسموح به في النقطة (C):

لأجل المعدن (37 Mn Si5) ان اجهاد الهصر من الجداول:

$$[\sigma] = 158Mpa$$

$$[\sigma] = \frac{158Mpa}{1{,}5} = 105Mpa$$

8- حساب المودول m

بما ان المسننات مقساة فإن:

$$m = \sqrt[3]{\frac{4M_{t1}.}{Z_1^{\,2}\left(\frac{b}{d_{01}}\right)..[P]}} = \frac{4.452{,}7.1000}{45^2.0{,}45.160}. = \sqrt[3]{12{,}41} = 2{,}31mm$$

نختار m=2,5 من الجدول.

9-حساب قطر دائرة الرأس للمسنن الأول والثاني.

$$d_{01} = Z_1.m = 45.2.5 = 112,5mm$$

$$d_{02} = Z_2.m = 114.2,5mm$$

10- حساب عرض المسننات

$$b = 0,45.d_{01} = 0,45.112,5 = 50,623mm$$

11-حساب العرض المسموح به من الجدول:

$$b_{max} = \lambda.m = 25.2.5 = 62.5mm \succ 50$$

12 حساب المودول الأصغري:

$$m_{min} = \frac{b}{\lambda} = \frac{50}{25} = 2mm \prec 2,5mm$$

13-حساب القوة المحيطية على دائرة الخطوة:

$$F_{U01} = \frac{2M_{t1}}{d_{01}} = \frac{2.452,7.1000}{112,5} = 8942N$$

14- حساب زاوية التشغيل (α_b)

$$a_0 = \frac{d_{01} - d_{02}}{2} = \frac{112,5 + 285}{2} = \frac{397,5}{2} = 198,75$$

$$\cos\alpha_b = \frac{a_0}{a}.\cos\alpha_0 = \frac{198,75mm}{200mm}.\cos 20^\circ$$

$$\alpha_b = 20^\circ,57'$$

15-حساب القوة المحيطية الموزعة على صفحة السن:

$$F'_{U0} = \frac{F_{U0}}{b} = \frac{8942}{50} = 178,84\frac{N}{mm^2}$$

المراجع

AARON.D(Machine Design theory and practice) Macmillan publishing CO New- York

M.F SPOTTS (Design of Machine Elements) prentice Hall India Pvt Limeted

Winkler,J.:Festkoerperbeanspruchung.Fachbuchverlag Leipzig1985

Scheuermann,G.: Verbindungselemente Fachbuchverlag Leipzig1966

Rothbart.H.A.:Mechanical Design and Systems.Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY New York 1964

Moisseif,L.S.,E.F. Hartmannand R.L. Moor: Riveted and Pin-connected Joints of Steel and Aluminum Alloys>ASCE vol.109 1944.

Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.

المراجع

- Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.
- Belyaev, N. M: Strength of Materials,., Moscow1979.
- Shigley, J. E., Theory of Machines McGraw-Hill Book Company, 1990.
- G James H. Earle Graphics for Engineers, , 5 th ed., Prentice-Hall, UK, 1998
- ديناميك الالات الدكتور محمد نجيب عبد الواحد منشورات جامعة حلب ١٩٩٠٩
- تصميم الالات (1) الدكتورعلاء سيد باكير والمشرف على الأعمال محمد البكار جامعة حلب ٢٠١١
- د.زهير طحان تصميم الالات منشورات جامعة حلب
- دوبروفسكي و اخرون تصميم أجزاء الماكينات دار مير للنشر و الطباعة ١٩٧٩
- ستوبين مقاومة المواد دار مير للنشر والطباعة ١٩٨٧
- تصميم الالات الدكتور نوفل الأحمد منشورات جامعة تشرين ١٩٩٩
- تصميم الالات (١) الدكتور مفيد موقع منشورات جامعة حلب ١٩٩٧