أجهزة نقل الحركة

Transmissions

تأليف

الدكتور : عماد توما بني كرش

جمهورية العراق - وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الشمالية

2015

مقدمة المؤلفين

يتم نقل الطاقة من محور إلى محور أخر عن طريق الأحزمة والسلاسل والتروس وغيرها . الأحزمة هي عناصر ذات مرونة ، والتي عادة تستخدم عندما تكون المسافة بين الاعمدة كبيرة . كذلك السلاسل أيضا لها مرونة ولكنها تفضل للمسافات المتوسطة. بينما تستخدم التروس عندما تكون المسافات قريبة جدا مع بعضها البعض ، ويسمى هذا النوع من وسائط نقل الحركة بالمحرك الإيجابي لأنه لا يوجد فيه انزلاق. كذلك إذا كانت المسافة أكبر قليلا يفضل استخدام نقل الحركة بواسطة السلسلة ونقل الحركة في هذا النوع يكون ايجابي بسسب عدم وجود انزلاق . أما نقل الحركة بواسطة الأحزمة هناك احتمال الانزلاق والزحف وهذا هو السبب الذي يكون نقل الحركة فيه من عمود الى عمود اخر سلبي لوجود الفقدان في نقل الطاقة .

تتماثل أنظمة نقل الحركة عموماً في عالم المركبات من حيث بنيتها الوظيفية، إلا أن التقدم التكنولوجي لكبار المصنعين، خصوصاً للطرز الحديثة منها، فرض اختلافاً كبيراً بين مُصّنع وآخر على صعيد آليات عملها، ووفقاً للجوانب التقنية المزودة بها، والتي تتضمن في كل منها مزايا إيجابية، وجوانب سلبية.

حيث تتولى نواقل الحركة مهام نقل القدرة الميكانيكية والقوى الدافعة، سواء القوة الحصانية أو العزم، إلى محاور العجلات، وذلك في الطرز التي تعتمد على أنظمة الدفع الثنائي، أو تلك المزودة بأنظمة دفع رباعي دائم أو مؤقت، إلا أن التقدم التكنولوجي في عالم صناعة المركبات فرض متغيرات متفاوتة على صعيد اتصالها بنظم مختلفة من أنماط القيادة .

أجهزة نقل الحركة الاوتوماتيكية والتي يرمز لها عادة بالمختصر AT وهي أجهزة تغيير سرع تقوم بتغيير السرع بصورة اوتوماتيكية او آلية حسب حركة المركبة ، وبذلك تعطي للسائق الحرية بعدم تغيير السرعة يدويا وهذا يحتاج الى استخدام بعض الملحقات الإضافية . اغلب أجهزة نقل الحركة الاوتوماتيكية لها مدى واسع من معدلات تغيير السرع الممكنة ، مع وجود سماحية لحالة التوقف ، وهذه الميزة سوف تقوم بمراقبة القدرة الخارجة من الجهاز . ومع ذلك بعض الأنواع البسيطة يكون لها معدلات سرع محددة او سرعة محرك ثابتة وهذه تستخدم جهاز محول العزم لتزويد الإطارات القائدة للسيارة بنسب تخفيض متغيرة من محركها. ويقع هذا الكتاب في احدى عشر فصلا وفي كل فصل يتم توضيح مفهوم اجهزة نقل الحركة ، والكتاب يتطرق الى مواضيع مختلفة واطلب من الله العلي القدير ان يكون قد وفقني في ايصال الفكرة لكل من يحتاج هذه المواضيع في دراسته أو حياته اليومية او في عمله لانه لايخلو مكان فيه اجهزة او معدات او مركبات او معامل والى اخره والاّ وفيه اجهزة نقل الحركة صغيرة كانت ام كبيرة .

جمهورية العراق – وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الشمالية

(emadbane2007@yahoo.com)

المحتويات

الفصل الاول		
الكميات والوحدات الاساسية		
ت	**العنوان**	**الصفحة**
1	الكميات والوحدات الهندسية	10
1-1	الوحدات الأساسية والمشتقة	10
1-1-1	الوحدات العالمية الاساسية	10
2-1-1	الوحدات المشتقة	10
3-1-1	النظام الدولي للوحدات	11
4-1-1	الكميات العددية والكميات المتجهة	12
2-1	علم السكون	12
1-2-1	عمليات مع القوة	12
2-2-1	عمليات تركيب القوى المتلاقية	14
3-2-1	امثلة متنوعة 1	17
3-1	الاتزان	20
1-3-1	توازن منظومة القوى	20
2-3-1	توازن ميكانيكي	20
3-3-1	مخطط الجسم الحر	21
4-3-1	امثلة متنوعة 2	24
4-1	أسئلة وامثلة متنوعة	28
الفصل الثاني		
الحركة الخطية والدورانية		
ت	**العنوان**	**الصفحة**
2	الحركة الخطية والحركة الدورانية	34
1-2	قوانين نيوتن للحركة	34
2-2	الحركة	35
3-2	التسارع	37
4-2	معادلات الحركة الخطية بتسارع ثابت	37
5-2	الحركة في بعدين	38
6-2	الحركة الدائرية	38
7-2	العلاقة بين متغيرات الحركة الخطية والحركة الدورانية	40
8-2	أسئلة ومسائل عامة	43

الفصل الثالث

العزم والشغل

ت	العنوان	الصفحة
3	العزم والشغل	50
1-3	الفرق بين العزم والشغل	51
2-3	نظرية الالتواء الهندسية	52
3-3	أنواع الشغل	54
1-3-3	الشغل الناتج من قوة ثابتة	54
2-3-3	الشغل الناتج عن قوة متغيرة	56
3-3-3	الشغل الناتج عن قوة النابض	57

الفصل الرابع

الطاقة والقدرة والكفاءة

ت	العنوان	الصفحة
1-4	الطاقة	60
1-1-4	أنواع الطاقة	60
2-1-4	قانون حفظ الطاقة الميكانيكية	62
2-4	القدرة	64
1-2-4	القدرة الميكانيكية	64
2-2-4	القدرة الكهربائية	64
3-4	الكفاءة	65
4-4	الأسئلة	66

الفصل الخامس

أعمدة الدوران

ت	العنوان	الصفحة
5	أعمدة الدوران	75
1-5	أشكال أعمدة الدوران	75
2-5	المواد المستخدمة في صنع الاعمدة والمحاور	76
3-5	الأشكال التصميمية للأعمدة والمحاور المجوفة	76
4-5	الأعمدة والمحاور المجوفة	76
5-5	مميزات الأعمدة والمحاور المجوفة	77
5-6	القوى المؤثرة على الأعمدة والمحاور	77
5-7	أنواع الأعمدة	77

1-7-5	أنواع اعمدة الدوران	77
2-7-5	الأعمدة المرفقية	78
3-7-5	أعمدة الحدبات	79
4-7-5	الأعمدة المتداخلة	80
5-7-5	الأعمدة المرنة	80
6-7-5	الأعمدة المخددة	80
7-7-5	الأعمدة النصفية (العكوس)	81
8-5	المسامير والبنوز	83
9-5	عناصر احكام المسامير والبنوز	84
10-5	اشكال اسنان نقل القدرة	84
11-5	تصميم الاعمدة	85
12-5	الاسئلة	90
الفصل السادس		
القارنات		
ت	**العنوان**	**الصفحة**
6	القارنات	92
1-6	استخدام القارنات	92
2-6	الصفات الواجب توافرها في القارنات	92
3-6	انواع القارنات	92
1-3-6	القارنات الثابتة	93
2-3-6	القارنات المتحركة	95
4-6	المعادلات الاساسية لتحليل اجهاد القص في لوالب القارنات	99
5-6	قضيب الشد في الساحبة	102
6-6	عمود مأخذ القدرة	104
7-6	الجهاز الهيدروليكي	105
8-6	اختبار نظام الرفع الهيدروليكي	107
9-6	الأسس الهندسية لاختبار الجرارات الزراعية	108
10-6	قياس القدرة	108
11-6	اختبار التحميل على أذرع الشبك الهيدروليكية	112
الفصل السابع		
القوابض		
ت	**العنوان**	**الصفحة**
7	القوابض	117

1-7	انواع القوابض	117
1-1-7	القوابض الاحتكاكية	117
1-1-1-7	القابض الاحتكاكي المخروطي	117
2-1-1-7	القابض الاحتكاكي مفرد القرص	119
3-1-1-7	القابض الاحتكاكي المتعدد الرقائق	123
4-1-1-7	القابض الاحتكاكي ذو الطرد المركزي	125
2-1-7	القوابض الكهرومغناطيسية	126
1-2-1-7	القابض الكهرومغناطيسي مفرد القرص	127
3-1-7	القابض الهيدروليكي	128
1-3-1-7	وظيفة ومكونات وعمل انواع محولات العزوم	130
2-3-1-7	الأجزاء الرئيسية لمحول العزم	130
3-3-1-7	وظائف محول العزوم	131
4-1-7	قابض أمان	134
2-7	الأسئلة	136

الفصل الثامن

النقل بالسيور والسلاسل

ت	العنوان	الصفحة
1-8	السيور	138
1-1-8	انواع السيور	138
1-1-1-8	السير المسطح	139
2-1-1-8	السير المستدير	140
3-1-1-8	السير الاسفيني	140
2-1-8	النقل بالسيور	154
1-2-1-8	التوترات في السير	154
2-2-1-8	العلاقة بين قوى الشد في السيور	154
3-2-1-8	زاوية الالتفاف وطول سير مفتوح	155
4-2-1-8	طول سير متقاطع	158
5-2-1-8	نقل الحركة المزدوجة في اتجاه واحد بواسطة السيور	160
2-8	السلاسل	162
1-2-8	أنواع حلاقات السلاسل	163
2-2-8	السلسلة الناقلة	164
3-2-8	أجزاء السلسلة الاسطوانية	165
4-2-8	خطوة السلسلة الاسطوانية	166
5-2-8	أبعاد ربطة سلسليه	167
6-2-8	أنواع البكرات المسننة	169

7-2-8	مقارنة بين نقل القدرة بالسيور والسلاسل	169
الفصل التاسع		
التروس والمحامل		
ت	**العنوان**	**الصفحة**
1-9	المحامل	171
1-1-9	أنواع المحامل	171
2-1-9	أشكال المحامل	171
1-2-1-9	الحوامل الكروية	171
2-2-1-9	الحوامل الاسطوانية	172
3-2-1-9	أجزاء الحامل	172
2-9	التروس	173
1-2-9	انواع التروس	173
2-2-9	اجزاء الترس	174
3-2-9	نقل الحركة في مجموعة تروس	175
4-2-9	صندوق التروس	176
1-4-4-9	وظائف صندوق التروس	176
2-4-4-9	الأجزار الرئيسية صندوق التروس	176
3-4-4-9	كيفية الحصول على السرعات الامامية والخلفية	177
4-4-4-9	الجهاز العمودي	180
5-4-4-9	الجهاز الفرقي	181
6-4-4-9	كيفية عمل الجهاز الفرقي	182
7-4-4-9	تقدير السرعة الامامية النظرية للجرار	184
3-9	الأسئلة	185
الفصل العاشر		
أجهزة التلامس مع الارض		
ت	**العنوان**	**الصفحة**
10	أجهزة التلامس مع الأرض	188
1-10	انواع اجهزة التلامس	188
2-10	العوامل التي تؤثر على كفاءة اجهزة التلامس	188
3-10	العجلات الكاوتش	188
1-3-10	المكونات الأساسية لجهاز التلامس الكاوتش	189
2-3-10	طرز الاطارات	192
3-3-10	مقاس الاطار	193

4-3-10	نفخ الاطار	194
5-3-10	قياس نفخ الاطار	195
6-3-10	أسباب كبر عجلات الجرار الخلفية عن الأمامية	196
7-3-10	وسائل زيادة تماسك عجلات الجرار مع الارض	197
1-7-3-10	تخفيض ضغط نفخ الاطار الكاوتش	197
2-7-3-10	استعمال جنازير أو كباشات خاصة حول العجلات	198
3-7-3-10	زيادة الوزن على العجلات الخلفية	198
4-7-3-10	استعمال جهاز تعطيل الجهاز الفرقي بالجرار (جهاز الغرس)	199
4-10	الكتينة	199
1-4-10	مكونات التلامس بالجرار الكتينة	200
2-4-10	مقارنة بين الجرارات ذات العجلات الكاوتش والجرارات ذات الكتينة	201
5-10	الاسئلة	202
6-10	أسئلة عامة	205

الفصل الحادي عشر

صناديق التروس الاوتوماتيكية

ت	العنوان	الصفحة
11	صناديق التروس الاوتوماتيكية	209
1-11	أنواع صندوق التروس الاوتوماتيكبة	209
2-11	أجزاء ناقل الحركة الاوتوماتيكي	210
1-2-11	محول العزوم	211
2-2-11	مجموعة التروس الكوكبية	212
3-2-11	أجهزة المؤازرة	213
4-2-11	مضخة الزيت	215
5-2-11	أوضاع عصا الاختيار	215
3-11	ناقل الحركة الاوتوماتيكي ذو التحكم الذاتي	217
4-11	وظائف وحدة التحكم الالكترونية	217
5-11	حساسات وحدة التحكم	218
6-11	موصفات وكمية الزيت المناسبة	219
7-11	كيفية تركيب صندوق التروس الاوتوماتيكي	220
	المصادر	237
	الجداول	248

الفصل الاول

الكميات والوحدات الاساسية

Basic quantities and units

1.الكميات والوحدات الهندسية

1.1. الوحدات الأساسية والمشتقة

1.1.1. الوحدات العالمية الأساسية

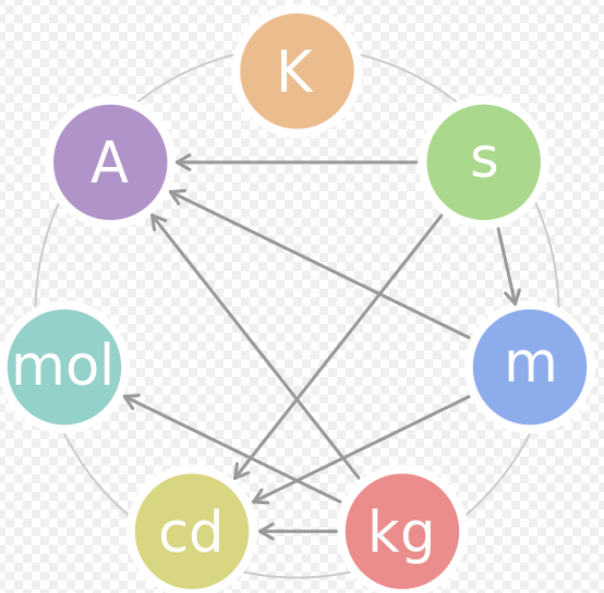
1- وحدة الطول بالمتر
2-وحدة الكتلة بالكيلوغرام
3-وحدة الزمن بالثانية
4-وحدة التيار الكهربائي بالأمبير
5-وحدة كمية المادة بالمول
6- وحدة شدة الإضاءة بالشمعة
7- وحدة درجة الحرارة بالكلفن

2.1.1. الوحدات المشتقة

هي الوحدات التي تتركب من أكثر من وحدة أساسية أو من وحدات مشتقة أخرى ، والجدول والإشكال الآتية توضح ذلك

الوحدات الأساسية	أمبير · شمعة · كلفن · كيلو جرام · متر · مول · ثانية
الوحدات المشتقة	بيكريل · كولوم · تدريج سيليلوزي · فاراد · جراي · هنري · هرتز · جول · كاتال · لومن · لوكس · نيوتن · أوم · باسكال · رأديان · سيمنز · زيفرت · ستراديان · تسلا · فولت · واط · ويبر
يمكن استخدامها مع النظام الدولي للوحدات(SI)	وحدة الكتلة الذرية · وحدة فلكية · يوم · ديسيبل · درجة زاوية · إلكترون فولت · هكتار · ساعة · لتر · دقيقة · دقيقة قوسية · نبير · ثانية قوسية · طن وحدات ذرية · وحدات طبيعية

جدول ومخطط (1) يبين العلاقة بين الوحدات الأساسية في النظام العالمي (IS)



الاسم	الرمز	الكمية
متر	م - m	طول
كيلوغرام	كغ - kg	كتلة
ثانية	ث - s	زمن
أمبير	أ - A	تيار كهربائي
كلفن	ك - K	درجة الحرارة المطلقة
شمعة	cd	شدة الإضاءة
مول	mol	كمية المادة

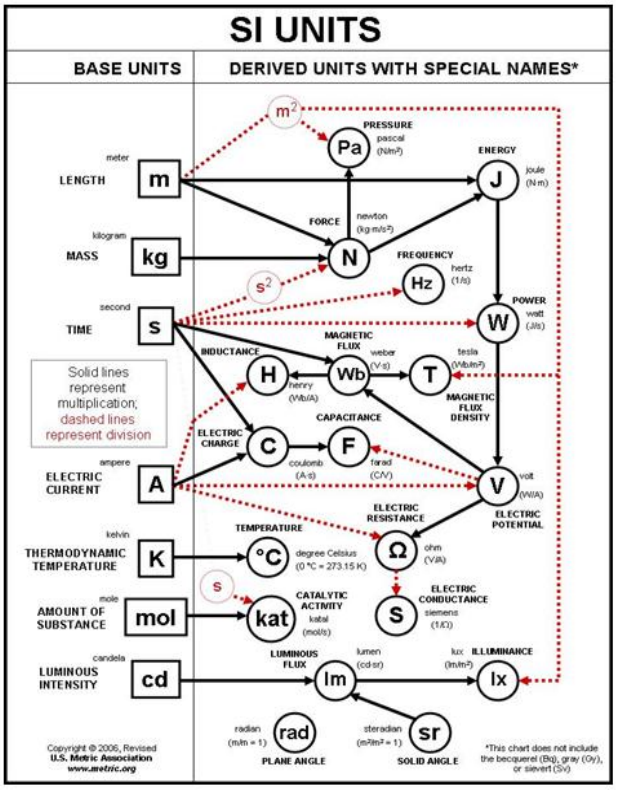
جدول (2) قائمة السوابق في النظام الدولي للوحدات (IS sexiferP)

المضروب Power of ten	الرمز Symbol	محدد وحدة القياس Prefixes to the Units
$1*10^{-18}$	a	Atto آتو
$1*10^{-15}$	f	Femto فيمتو
$1*10^{-12}$	p	Pico بيكو
$1*10^{-9}$	n	Nano نانو
$1*10^{-6}$	μ	Micro ميكرو
$1*10^{-3}$	m	Milli ملي
$1*10^{-2}$	c	Centi سنتي
$1*10^{-1}$	d	Deci ديسي
$1*10^{1}$	da	Deka ديكا
$1*10^{2}$	h	Hecto هيكتو
$1*10^{3}$	k	Kilo كيلو
$1*10^{6}$	M	Mega ميجا
$1*10^{9}$	G	Giga جيجا
$1*10^{12}$	T	Tera تيرا

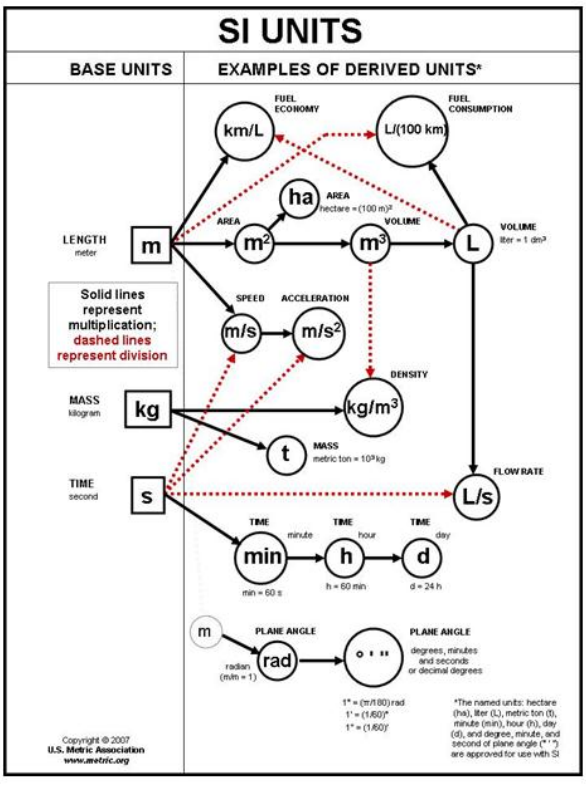
3.1.1 النظام الدولي للوحدات (S I)

نظام وحدات القياس الأوسع انتشارا في العالم، وهو يستخدم في كل بلدان العالم باستثناء الولايات المتحدة الأمريكية. واشتق هذا النظام من نظام متر-كيلوغرام-ثانية للقياس بإضافة بعض الوحدات، وكونه بديلا عن نظام السنتمتر-غرام-ثانية القديم يسمى هذا النظام بالنظام المتري (خاصة في الولايات الأمريكية المتحدة التي لم تتبناه بشكل واسع وبريطانيا التي لا تزال في مرحلة التحول إلى النظام المتري)، وليست جميع وحدات القياس المترية مقبولة في هذا النظام ، الجدول الاتي يبين وحدات الميكانيك القياسية .

المخطط رقم (1) يمثل طريقة اشتقاق الوحدات المشتقة اما المخطط رقم (2) فيبين امثلة على اشتقاق الوحدات المشتقة (ملاحظة : السهم الاسود يعني بسط اما السهم الاحمر فيمثل مقام) .



مخطط 3 طريقة اشتقاق الوحدات المشتقة



مخطط 4 امثلة على اشتقاق الوحدات المشتقة

4.1.1. الكميات العددية والكميات المتجهة

تقسم الكميات الفيزيائية الى نوعين :

1- الكميات العددية (القياسية) Quantities Scalar

وهذه الكميات يلزم لتعريفها مقدار عددي (عدد حقيقي ، رقم) ووحدة فيزيائية . ومن هذه الكميات : الحجم ، الكتلة ، الزمن ، الشغل ، الطول ، المساحة ، القدرة ، عزم القصور الذاتي والطاقة . فمثلاً نقول : حجم المخبار = 200 سم^3 ، كتلة الكرة = 80 غم .

2- الكميات المتجهة Quantities Vector

وهي الكميات التى يلزم لتعريفها مقدار عددي (عدد حقيقي موجب) ووحدة فيزيائية واتجاه . ولا يتم تعريفها الا اذا اكتملت هذه العناصر . ومن الامثلة على الكميات المتجهة : السرعة ، القوة ، العزم ، الزخم ، التعجيل و الإزاحة .

فمثلاً ، إذا قلنا تحركت سيارة بسرعة 60 كم/ ساعة فقط ، فهذا لايتم المعنى ، لأن تحركها قد يكون شمالاً أو جنوباً أو في أي اتجاه، وفي كل حالة تكون النتيجة مختلفة.

كل كمية فيزيائية متجهة يمكن تمثيلها بمتجه "vector" معين ، والمتجه هو: " تمثيل رياضي يُعبر عن الكمية الفيزيائية المتجهة مقداراً واتجاهاً وهو عبارة عن خط مستقيم في نهايته سهم ، وطول الخط المستقيم يتناسب مع مقدار الكمية الفيزيائية ، في حين أن اتجاه السهم يدل على اتجاه الكمية الفيزيائية المتجهة".

2.1. علم السكون

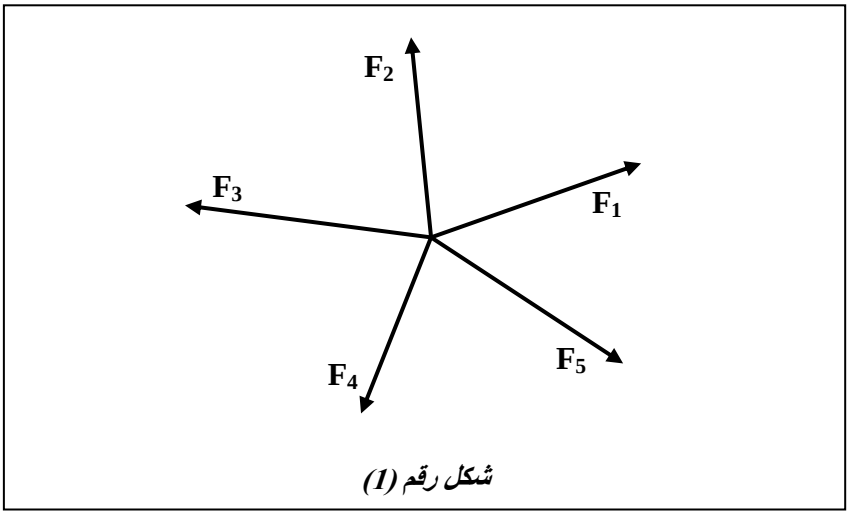
علم السكون (الإستاتيكا) هو فرع من الميكانيكا يهتم بدراسة وتحليل الأحمال (مثل القوى، وعزوم الفتل والدوران) في الأنظمة الفيزيائية في حالة التوازن السكوني، وهي الحالة التي لا تتغير فيها أماكن أجزاء النظام بمرور الوقت، أو أن عناصر النظام ذات سرعة ثابتة. ففي حالة التوازن السكوني، يكون النظام إما ساكنا أو يكون مركز ثقله متحركا بسرعة ثابتة. ودراسة الأجسام المتحركة تسمى بالديناميكا. يستخدم علم السكون بصورة أساسية في الهندسة الإنشائية وفي علوم وتطبيقات الهندسة الميكانيكية.

وبحسب القانون الأول لنيوتن، فإن هذا الوضع يفرض أن القوة الصافية والعزم الصافي (يسمى أيضا بعزم القوة) على أي جسم في النظام مساوية للصفر. ووفق هذا القانون يمكن إهمال بعض القوى مثل الإجهادات الداخلية والضغط. إذن، مجموع القوى الصافية مساوية للصفر يسمى **الشرط الأول للتوازن**، ومجموع العزوم الصافية مساوي للصفر يسمى **الشرط الثاني للتوازن**.

1.2.1. عمليات مع القوة

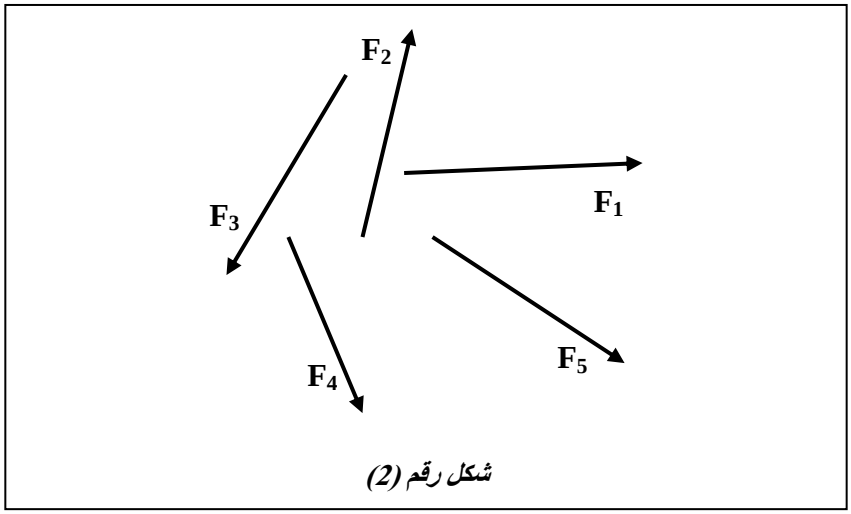
عندما تؤثر مجموعة قوى في موضع يطلق عليها منظومة قوى ويمكن تصنيف القوى الى قوى واقعة ضمن مستوى واحد وقوى غير واقعة في مستوي نفسه. واعتمادا على اوضاع خطوط عمل القوى يمكن تصنيف منظومات القوى الى :

1- **قوى متلاقية :** تلتقي فيها خطوط عمل جميع قوى المنظومة عند نقطة واحدة ويحدث هذا عندم تؤثر القوى على الجسم كما في الشكل (1)



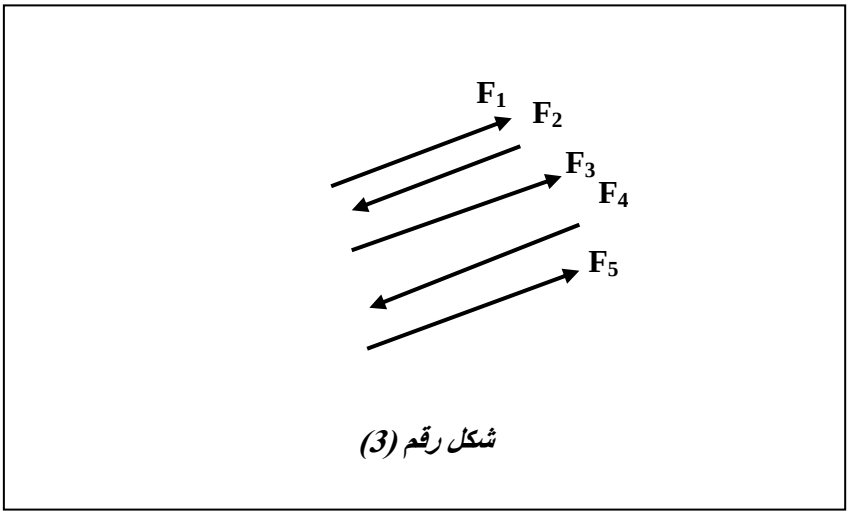
شكل رقم (1)

2- **قوى غير متلاقية :** لا تلتقي فيها خطوط عمل جميع قوى المنظومة عند نقطة واحدة وهي القوى التي تؤثر على جسم له ابعاد كما في الشكل (2)



شكل رقم (2)

3- قوى متوازنة : تكون خطوط عمل قوى المنظومة جميعها متوازية كل في الشكل (3)



شكل رقم (3)

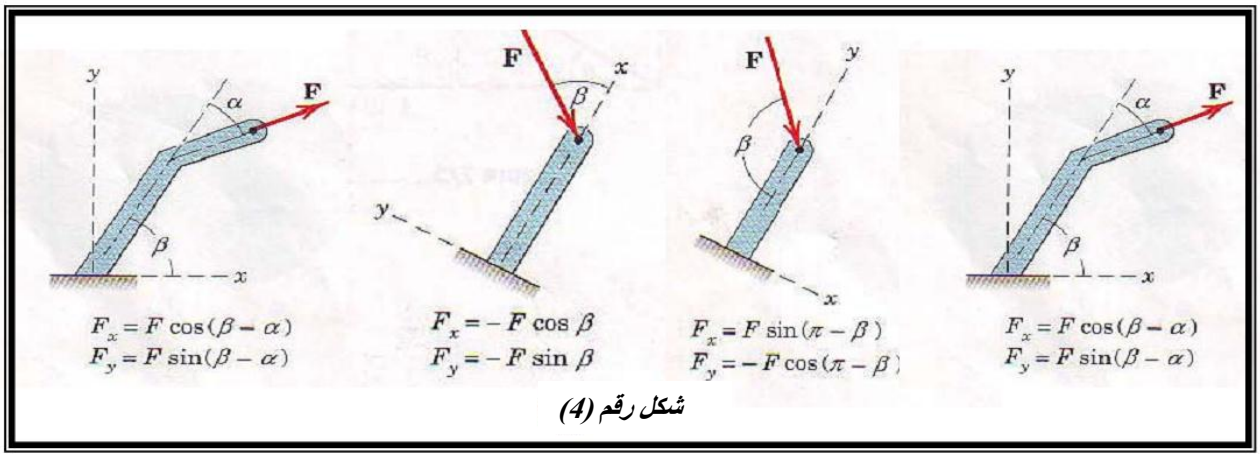
2.2.1. عمليات تركيب القوى المتلاقية

هي جمع قوتين او اكثر للحصول على قوى مكافئة واحدة تحدث التاثير نفسه الذي تحدثه منظومة القوى الاصلية وتسمى القوة المكافئة بالمحصلة (Resultant) وهناك طريقتان لتعيين محصلة القوى:

1- الطريقة التحليلية:

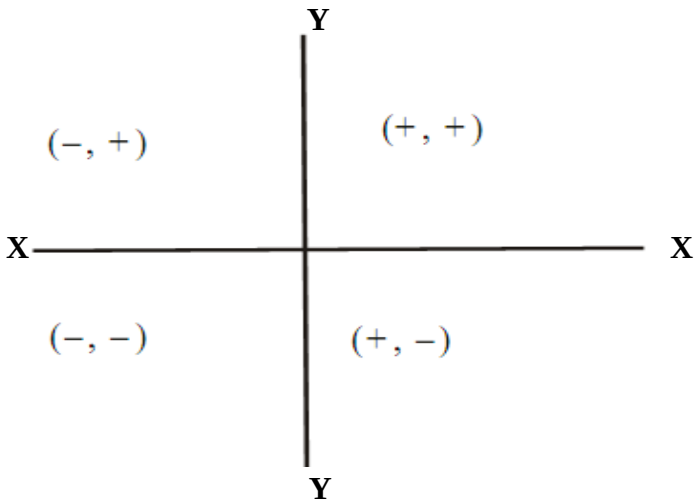
خطوات ايجاد محصلة عدة قوى متلاقية في نقطة

1- نحلل كل قوى مائلة الى مركبتين افقية وشاقولية (F_x , F_y)، شكل رقم (4)



شكل رقم (4)

2- نجمع القوى الواقعة على محور السينات جمع جبري مع الاخذ بنظر الاعتبار الاشارة كما في الشكل (5) فنحصل على محصلة المركبات الافقية ونرمز لها بالرمز (R_x) وبنفس الطريقة نجمع القوى الواقعة على محور الصادات فنحصل على محصلة المركبات الشاقولية ونرمز لها بالرمز (R_y).



شكل رقم (5)

وتحسب من العلاقات التالية :

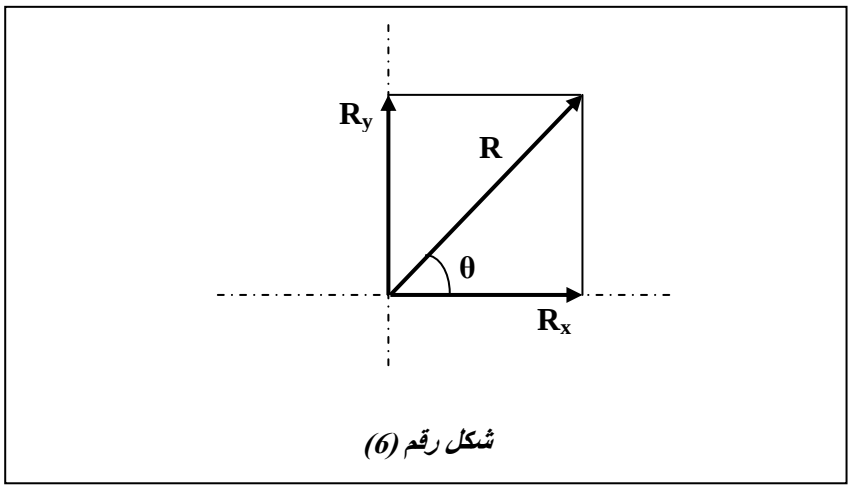
$$R_x = \Sigma F_X \ , \quad R_y = \Sigma F_y$$

3- نحسب المحصلة الكلية ونرمز لها بالرمز (R) وتحسب من القانون التالي

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

4- نجد اتجاه وميل المحصلة الكلية (R) من المعادلة التالية ، شكل رقم (6)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_X}$$



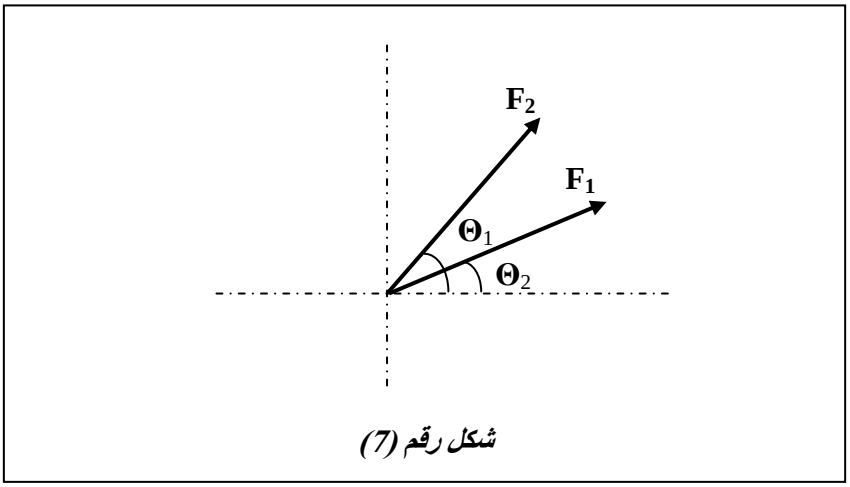
شكل رقم (6)

2- الطريقة البيانية

في هذه الطريقة يتم تعيين المحصلة اما باستخدام قاعدة متوازي الاضلاع او قاعدة المثلث حيث يمثل نصف متوازي الاضلاع

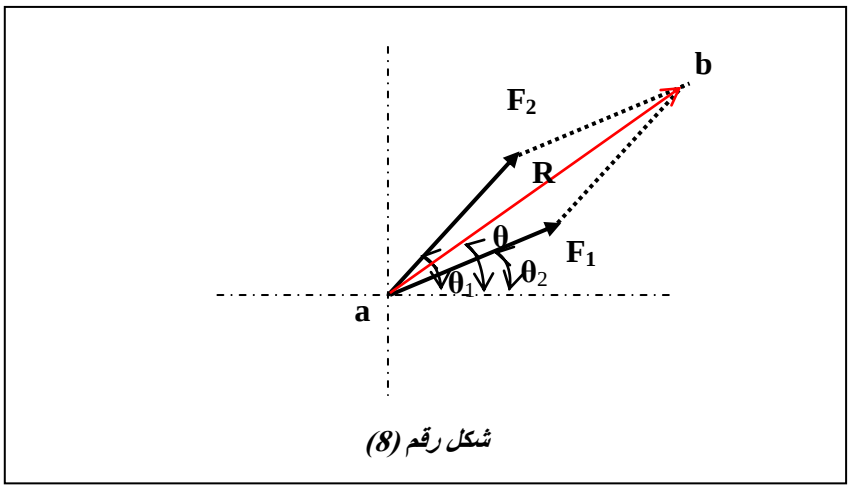
a) قاعدة متوازي الاضلاع

لنفرض وجود قوتين (F_1 , F_2) واقعتين في المستوي (XY) وتلتقيان عند نقطة واحدة . فلايجاد المحصلة كما في الشكل (7)



شكل رقم (7)

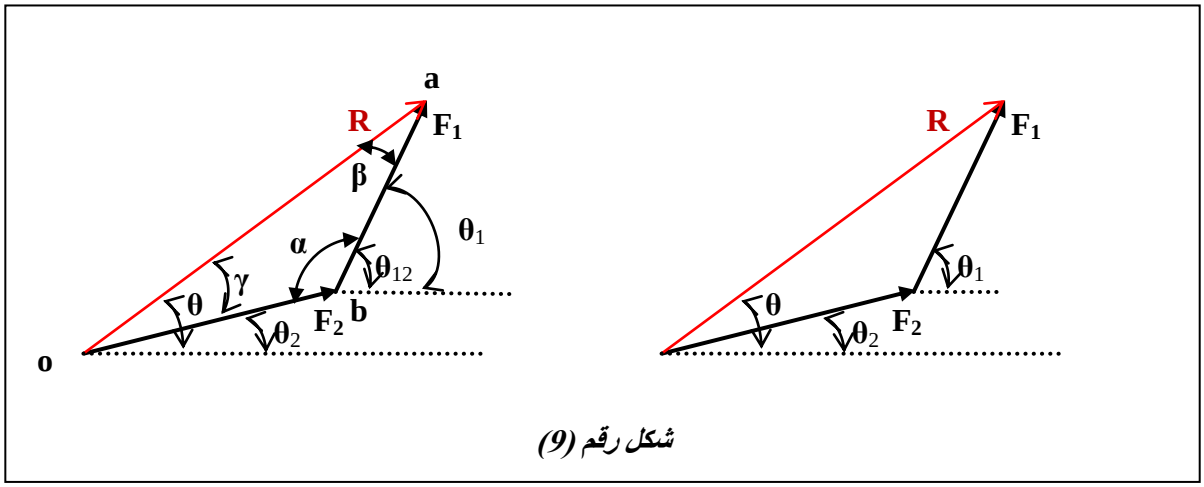
ولتحديد المحصلة . يرسم خط موازي للقوة من نهاية القوة (F_1) . وخط اخر موازي للقوة (F_2) من نهاية القوة (F_1) فينتج عن ذلك شكل متوازي الاضلاع . ثم يتم رسم قطر متوازي الاضلاع يكون هو المحصلة الشكل (8)



شكل رقم (8)

b) قانون المثلث

في هذه الطريقة يعاد رسم القوتين بحيث يوضع بداية القوة الاولى عند نهاية القوة الثانية والخط المرسوم من بداية القوة الثانية يمثل محصلة القوتين ويرمز له (R) اي محصلة ويحدد اتجاهه بزاوية (θ) كما في الشكل (9)



شكل رقم (9)

اما مقدار (R) فيعين بطول (oa)من المثلث (oab) او باستخدام قانون جيب تمام الزاوية (Cos Law) وهو كالاتي :

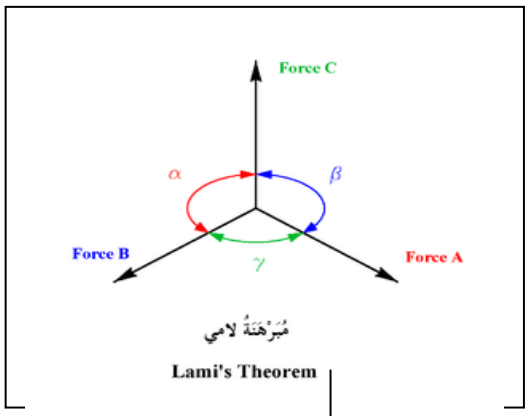
$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1 * F_2 * Cos\alpha$$

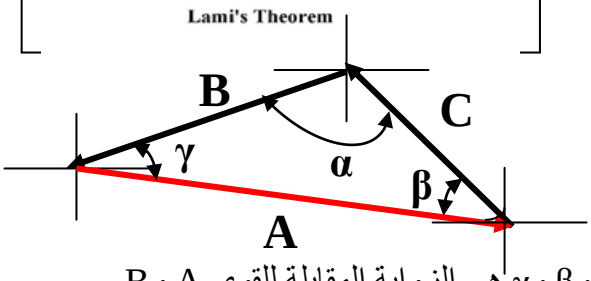
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1^2 * F_2^2 * Cos\alpha}$$

يمكن ايجاد الزاويتين (β , γ) بين كل من القوتين والمحصلة (R) باستخدام قانون جيب الزاوية (Sin Law) قاعدة لامي

مبرهنة لامي

في علم السكون، تنص **مبرهنة لامي** على أنه "إذا اتزنت ثلاث قوى مستوية ومتلاقية في نقطة واحدة فإن مقدار كل قوة يتناسب مع جيب الزاوية المحصورة بين القوتين".



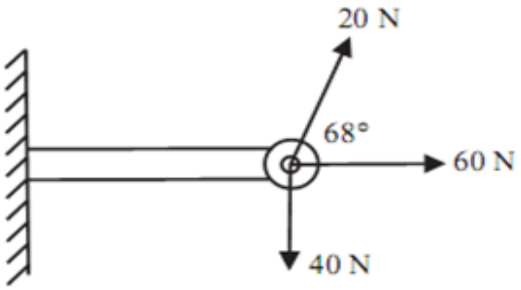


$$\frac{A}{\sin(\alpha)} = \frac{B}{\sin(\beta)} = \frac{C}{\sin(\gamma)}$$

حيث A، B وC هي طويلات القوة العاملة عند نقطة P، بينما α وβ وγ هي الزواية المقابلة للقوى A وB وC على الترتيب.

3.2.1. امثلة متنوعة 1

مثال (1) : ذراع مسحوب بثلاثة اسلاك كما في الشكل رقم (10) ، اوجد محصلة القوى واتجاهها ؟



الشكل رقم (10)

الحل:

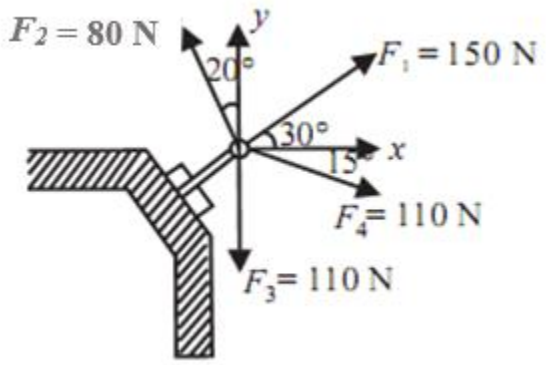
$$\Sigma F_X = Sum\,of\ Vertical\ Component = 60\sin 0^\circ + 20\sin 68^\circ + 40\sin 270^\circ$$
$$= -21.46\ N$$

$$\Sigma F_Y = Sum\,of\ Horizontal\,Component = 60\cos 0^\circ + 20\cos 68^\circ + 40\cos 270^\circ$$
$$= 67.49\ N$$

$$R = \sqrt{\Sigma F_X^2 + \Sigma F_Y^2} = \sqrt{(-21.46)^2 + (67.49)^2} = 70.81\ N$$

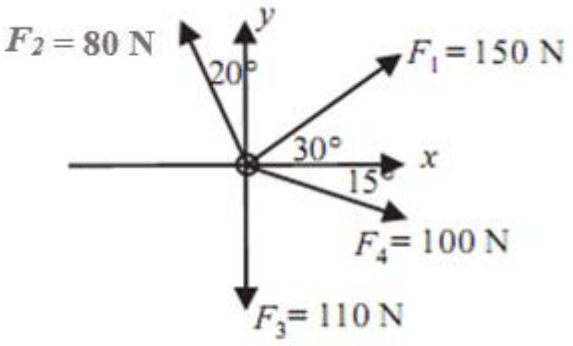
$$\theta = \tan^{-1}\frac{R_Y}{R_X} = TAN^{-1}\frac{-21.46}{67.49} = -17.63^{\circ}$$

مثال (2) :اربعة قوى تؤثر على لولب كما في الشكل (11) ، اوجد محصلة القوى المؤثرة على اللولب واتجاهها ؟



الشكل رقم 11

الحل:



مخطط الجسم الحر (D.B.F.)

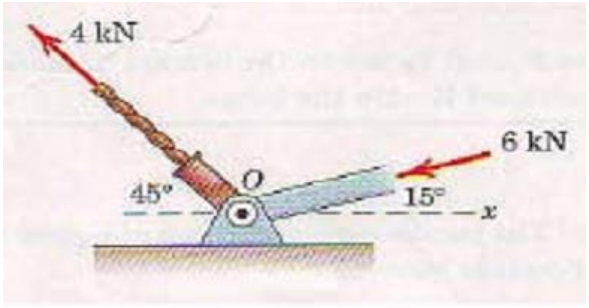
$$\Sigma F_x = 150\sin 30^{\circ} + 80\sin 110^{\circ} + 110\sin 270^{\circ} + 100\sin 345^{\circ} = 14.29\ N$$

$$\Sigma F_Y = 150\cos 30^{\circ} + 80\cos 110^{\circ} + 110\cos 270^{\circ} + 100\cos 345^{\circ} = 199.13\ N$$

$$R = \sqrt{\Sigma F_X^2 + \Sigma F_Y^2} = \sqrt{(14.29)^2 + (199.13)^2} = 199.6\ N$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{R_Y}{R_X} = \tan^{-1}\frac{14.29}{199.13} = -4.11^{\circ}$$

مثال3 / اوجد محصلة القوى بطريقة قانون الجيوب ، ثم اوجد قيم الزوايا (γ,β) بطريقة مثلث الجيوب للشكل رقم (12) ؟



الشكل رقم (12)

الحل:

$$R=\sqrt{F_1^2+F_2^2-2F_1^2*F_2^2*Cos\alpha}$$

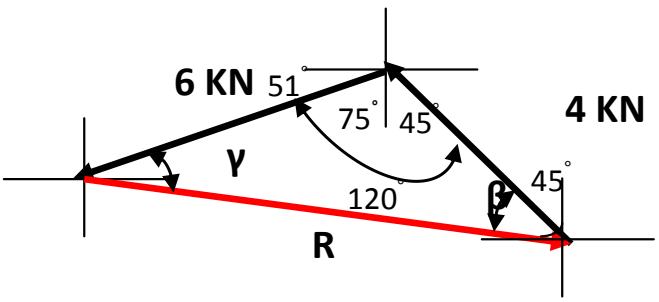
$$R=\sqrt{4^2+6^2-2*4^2*6^2*Cos120^\circ}$$

$$R=\sqrt{16+36+2*4*6*(-0.5)}=\sqrt{76}=8.7\,KN$$

$$\frac{A}{\sin(\alpha)}=\frac{B}{\sin(\beta)}=\frac{C}{\sin(\gamma)}$$

$$\frac{8.7}{\sin 120^\circ}=\frac{6}{\sin\beta}=\frac{4}{\sin\gamma}$$

$$\beta=\sin^{-1}\frac{6}{8.7}\sin 120^\circ=\sin^{-1}\frac{6}{10}=36.9^\circ \qquad \gamma=\sin^{-1}\frac{4}{8.7}\sin 120^\circ=\sin^{-1}\frac{4}{10}=23.6^\circ$$



3.1. الاتزان Equilibrium

القوانين التي تحكم الحركة والسكون هي القوانين المعروفة باسم نيوتن والقانونان الأول والثالث لهما التحكم المطلق في دراسة الإستاتيكا. وبما أن المبدأ الأساسي لعلم الإستاتيكا هو الإتزان، وحسب القانون الأول لنيوتن فإنه إذا تلاشت محصلة القوى المؤثرة على جسم فإنه يسير بسرعة منتظمة أي أن تسارعه يساوي الصفر. وعلى هذا يجوز لنا أن نقول أن الجسم متزن. وينطبق القول أيضا على الجسم الذي تساوي سرعته صفراً. فنجد أن خاصية الإتزان لها وجهان : الأول تلاشي محصلة القوى المؤثرة على الجسم والثاني أن تكون السرعة منتظمة أو تساوي صفراً.

1.3.1. توازن منظومة القوى Equilibrium of Forces System

ينص قانون نيوتن الاول على ان الجسم يبقى ساكنا او يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم مالم تؤثر عليه قوة محصلة . والمعروف ان قالقوة المحصلة هي القوة المكافئة لمجموعة من القوى ورد فعل مؤثر على الجسم . يطلق على التوازن الذي يحقق بتحقيق قانون نيوتن الاول بالتوازن السكوني . وعلى ذلك فان تحقيق التوازن السكوني في انواع اخرى من منظومات القوى يفترض ان يكون العزم المحصل من مجموع العزوم للقوى المؤثرة على الجسم مساويا الصفر ايضا.

2.3.1. توازن ميكانيكي (Mechanical Equilibrium)

يعرف التوازن المستقر كالأتي:

يعتبر نظام من جسيمات بأنه في حالة توازن مستقر عندما تكون جميع جسيمات النظام في حالة سكون وأن تكون جميع القوى المؤثرة على أي جسيم فيه مساوية للصفر.

هذا هو التعريف الدقيق للتوازن المستقر وأحيانا نسمي التوازن المستقر ببساطة "توازن ميكانيكي " ، ويعرف التوازن الميكانيكي كالآتي:

يتحتم لكي يكون جسيم في حالة توازن ميكانيكي أن تكون محصلة القوى المؤثرة علية مساوية للصفر .

والظروف التي تؤدي إلى توازن ميكانيكي لنظام من الجسيمات هي :

1) أن تكون محصلة جميع القوى الخارجية عليه مساوية للصفر ،
2) أن تكون محصلة زخم جميع القوى الخارجية عند أي خط مساوية للصفر.

وعندما نطبق تلك التعريفات على جسم جاسئ نجد أن الظروف الضرورية لكي يكون الجسم في حالة توازن ميكانيكي هي عندما تكون محصلة جميع القوى المؤثرة على جميع جسيماته مساوية لصفر ، باإاة أي أن مجموع عزوم الدوران المؤثرة على جميع جسيمات النظام مساوية أيضا للصفر.

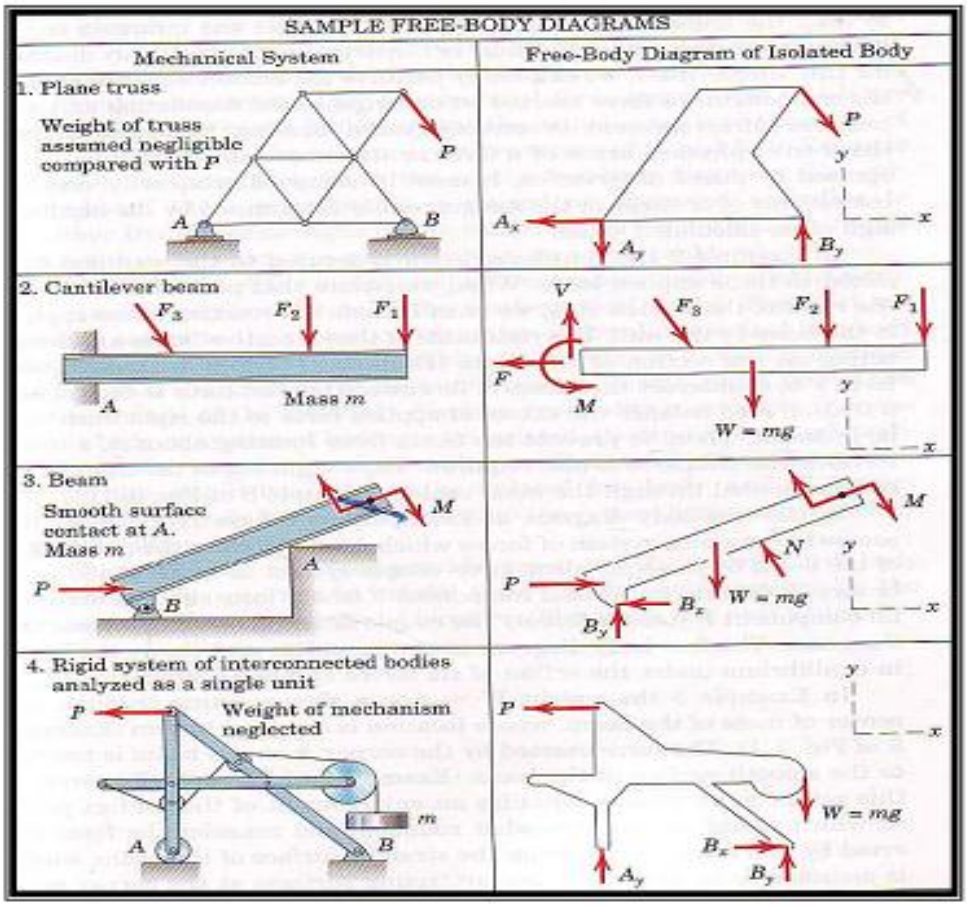
يكون الجسم الجاسئ في حالة " توازن ميكانيكي " عندما لا يكون متحركا ولا يكون في حالة دوران ولا في حالة تعجيل ، (ولكن قد يعتبر أيضا في حالة توازن ميكانيكي إذا كانت له حركة انتقالية منتظمة أو حركة دورانية بسرعة منتظمة).

اذن يكون الجسم في حالة اتزان اذا كانت جميع القوى والعزوم المؤثرة عليه متوازنة ويمكن صياغة التعريف على شكل المعادلات الاتية :

$$\Sigma F_x = 0\ , \quad \Sigma F_y = 0, \ \ \Sigma M = 0$$

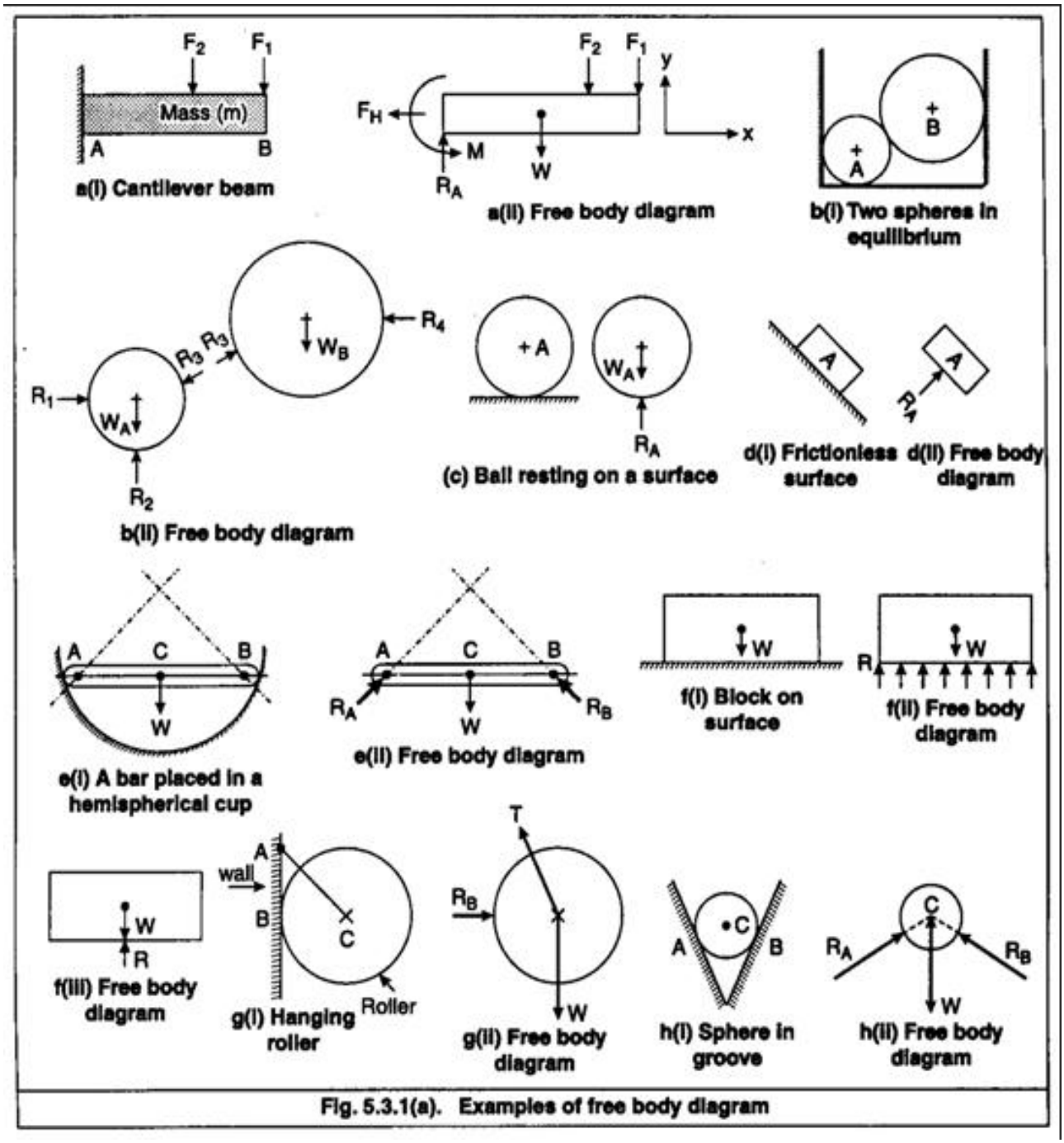
3.3.1. مخطط الجسم الحر (F. B. D.) Free Body Diagram

يعد رسم مخطط الجسم الحر اهم خطوة من خطوات حل المسائل في علم الميكانيك وبالاخص مسائل التوازن باستخدام قانون نيوتن . اذ لا يمكن حساب تاثير القوى على الجسم او الاجسام بصورة دقيقة الا بعد رسم مخطط الجسم الحر . وهو عبارة عن عملية عزل الجسم من القيود وتمثيل القوى المعلومة المؤثرة عليه مع تثبيت ردود فعل القيود التي تم رفعها . ولكن قبل رسم مخطط جسم الحر علينا ان نستوعب بصورة كاملة ودقيقة الخواص الميكانيكية للقوى المطبقة على الجسم . ومن اهم هذه الخواص هي امكانية تسليط القوى على الجسم بالتلامس المباشر او من موقع بعيد . ويمكن ايضا ان تكون القوى داخلية او خارجية بالنسبة للجسم . وقد تكون القوى الخارجية وردود فعل هذه القوى مركزة في نقطة واحدة او موزعة . وتعد القوة ايضا متجهة انزلاقية من حيث تاثيرها الخارجي على جسم صلد، ويستفاد من هذه الخواص في تعين النظام الميكانيكي الذي تطبق عليه ممعادلات التوازن . الشكل رقم (13) يوضح الانواع الشائعة لتطبيقات القوى على النظم الميكانيكية ذات البعدين مع توضيح تاثير القوة المسلطة على الجسم المعزول .

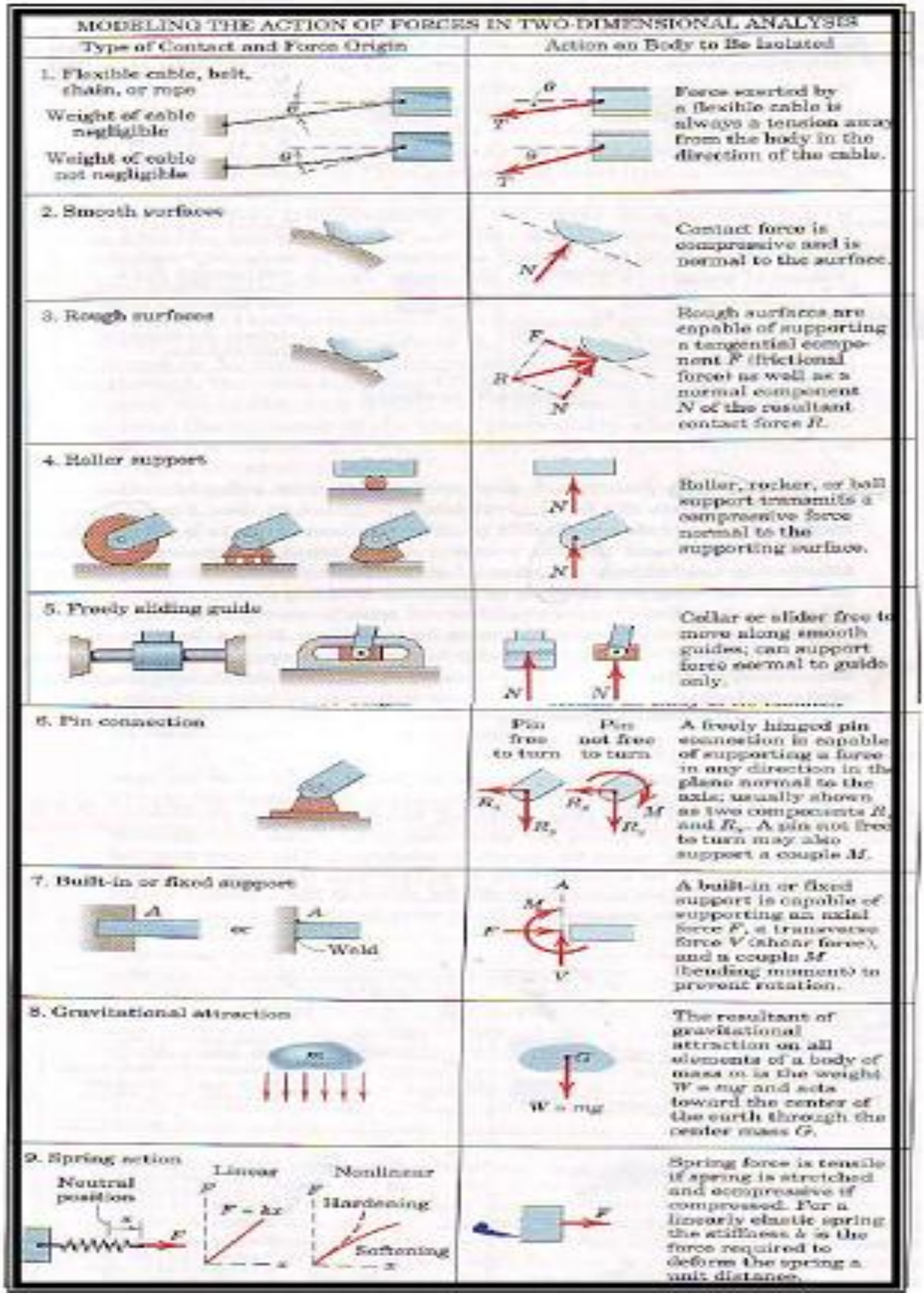


شكل رقم 13 يوضح الانواع الشائعة لتطبيقات القوى على النظم الميكانيكية ذات البعدين

الشكل رقم (14) يبين امثلة مختلفة لرسم مخطط الجسم الحر .F. B. D والشكل رقم (15) يبين نماذج تأثير القوى على الاجسام في بعدين.



شكل رقم 14 امثلة مختلفة لرسم مخطط الجسم الحر .F. B. D



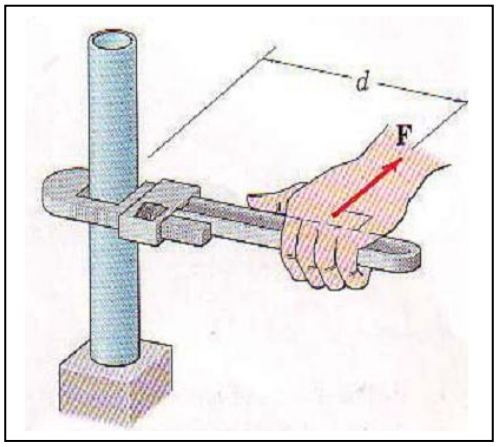
الشكل رقم (15) يبين نماذج تأثير القوى على الاجسام في بعدين.

4.3.1. امثلة متنوعة 2

مثال (1)

اوجد العزم في الشكل رقم (16) ، اذا علمت ان

F = 100 N , D = 0.4 M



شكل رقم 16

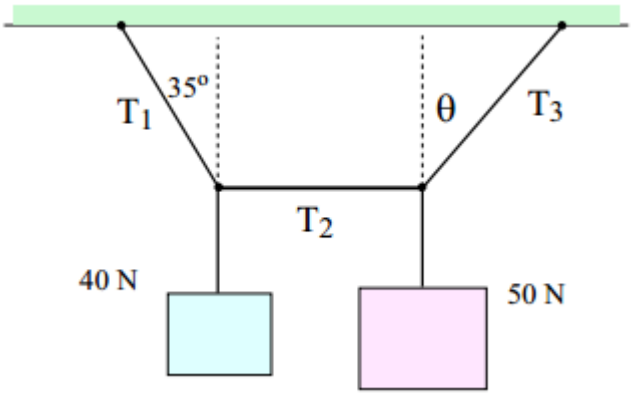
الحل:

$$M = F.d = 100 \times 0.4 = 40\ N.m$$

مثال (2)

النظام الميكانيكي في الشكل رقم (17) في حالة توازن ، اوجد الشد في كل من

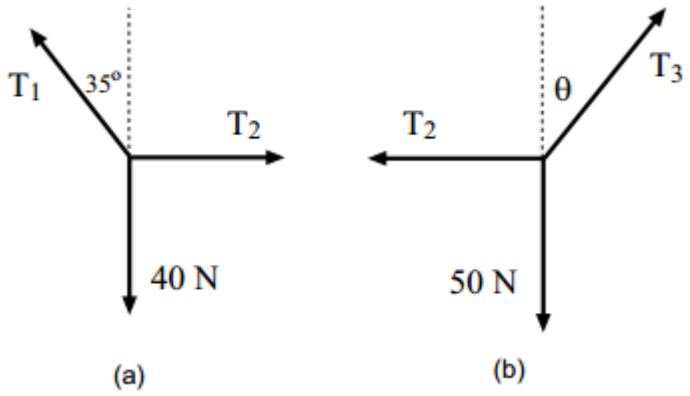
T_1 , T_2 , T_3 وقيمة الزاوية θ



الشكل رقم (17)

الحل:

نرسم مخطط الجسم الحر (D.B.F.)



مجموع مركبات القوى الافقية يساوي صفر عند الاتزان وكالاتي

$$\Sigma F_x = 0$$

$$-T_1 \sin 35^\circ + T_2 = 0 \qquad (1)$$

$$+T_1 \cos 35^\circ - 40 = 0 \qquad (2)$$

مجموع مركبات القوى العمودية يساوي صفر عند الاتزان وكالاتي

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-T_2 + T_3 \sin\theta = 0 \qquad (3)$$

$$+T_3 \cos\theta - 50 = 0 \qquad (4)$$

ومن حل المعادلات نستنتج ان

$$T_1 = \frac{40}{\cos 35^\circ} = 48.8\ N$$

$$T_2 = T_1 \sin 35^\circ = 48.8 \sin 35^\circ = 28\ N$$

$$T_3 \sin\theta = T_2 = 28\ N$$

$$T_3 \cos\theta = 50\ N$$

$$\tan\theta = \frac{28}{50} = 0.56$$

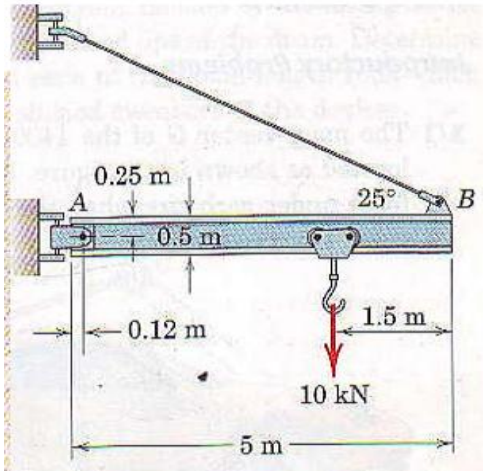
$$\theta = \tan^{-1}(0.56) = 29.3^\circ$$

$$T_3 = \frac{50}{\cos 29.3^\circ} = 57.3\ N$$

اذا النتائج النهائية تساوي كالاتي

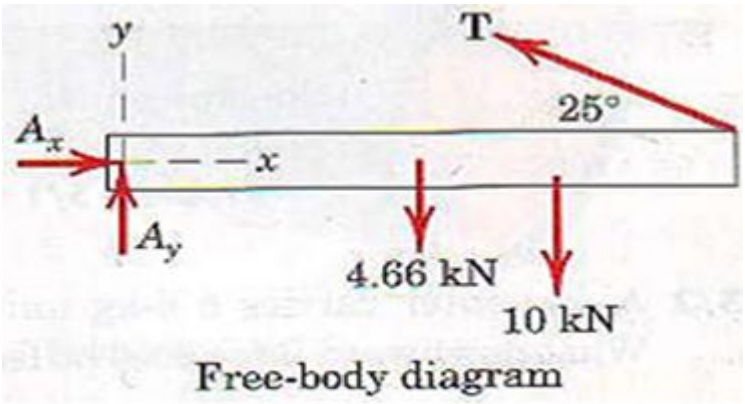
$$T_1 = 48.8\ N \ ;\ T_2 = 28\ N \ ;\ T_3 = 57.3\ N \ ;\ \theta = 29.3^\circ$$

مثال 3 / اوجد قيمة الشد في السلك (T) في منظومة عتبة حديدية معلقة بسلك اذا علمت ان وزن العتبة يساوي (NK4.66) وهي في حالة اتزان كما في الشكل رقم (18) ؟



الشكل رقم 18

الحل :



$$\Sigma M_A = 0$$

$$T\cos 25^\circ \times 0.25 + T\sin 25^\circ \times (5-0.12) - 10(5-1.5-0.12) - 4.66(2.5-0.12) = 0$$

$$\therefore \quad T = 19.61\,KN$$

$$\Sigma F_X = 0$$

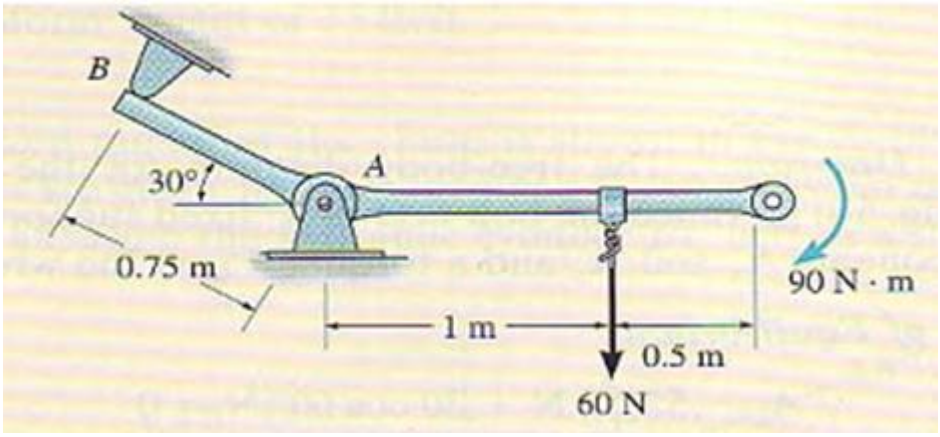
$$A_X - 19.61\cos 25^\circ = 0 \qquad \Rightarrow \qquad A_X = 17.77\ KN$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$A_Y + 19.61\sin 25^\circ - 4.66 - 10 = 0 \quad \Rightarrow \quad A_Y = 6.37\,KN$$

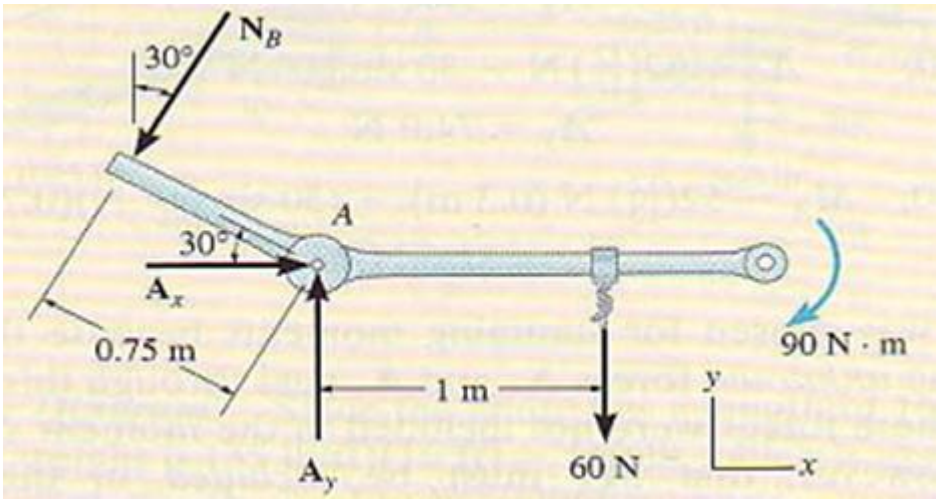
$$A = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2} \quad \Rightarrow \quad A = \sqrt{(17.77)^2 + (6.37)^2} = 18.88\ KN$$

مثال 4/ اوجد رد الفعل في النقاط (A,B) في منظومة ميكانيكية مفصلية وهي في حالة اتزان كما في الشكل رقم (19) ؟



شكل رقم 19

الحل:



مجموع العزوم حول نقطة A في حالة الاتزان يساوي صفر كما في العلاقة التالية:

$$\Sigma M_A \downarrow_+ = 0$$

$$90 + 60 \times 1 - N_B \times 0.75 = 0$$

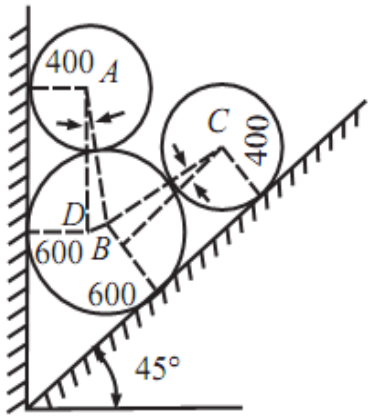
$$N_B = \frac{90 + 60}{0.75} = 200\,N$$

$$\Sigma F_X = 0 \quad \Rightarrow \quad A_X - 200\sin 30^\circ = 0 \quad \Rightarrow \quad A_X = 100\,N$$

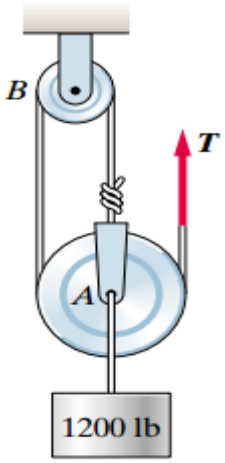
$$\Sigma F_Y = 0 \quad \Rightarrow \quad A_Y - 200\cos 30^\circ - 60 = 0 \quad \Rightarrow \quad A_Y = 233\,N$$

4.1. أسئلة وتمارين متنوعة

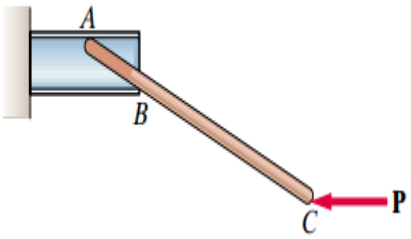
س1 / ماهي الوحدات الاساسية عددها وارسم مخطط يوضح العلاقة بينها ؟
س2 / ارسم جدول موضحا فيه قائمة السوابق في النظام الدولي للوحدات ؟
س3 / ماهو نظام الوحدات العالمية (IS) وضحه مع ذكر الامثلة ؟
س4 / ماهي الكميات العددية والكميات المتجهه وضحها مع ذكر الامثلة ؟
س5 / ماهي منظومات القوى عددها مع تمثيلها بالرسم ؟
س6 / ماهي مبرهنة لامي وضحها مع ذكر المعادلة والرسم ؟
س7 / ماهي الظروف التي تؤدي الى توازن لاي نظام ميكانيكي مع ذكر العلاقات الرياضية ؟
س8 / ارسم (D.B.F.) للاشكال التالية



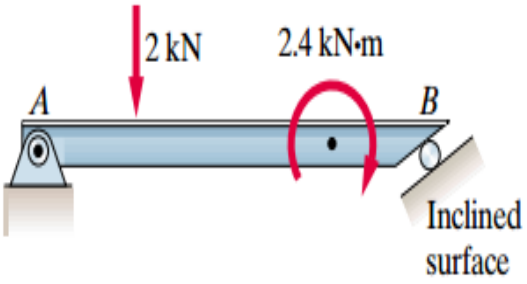
شكل رقم 22



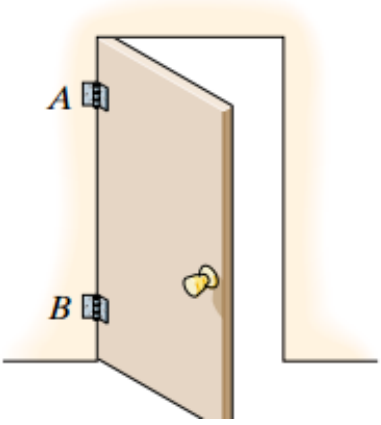
شكل رقم 21



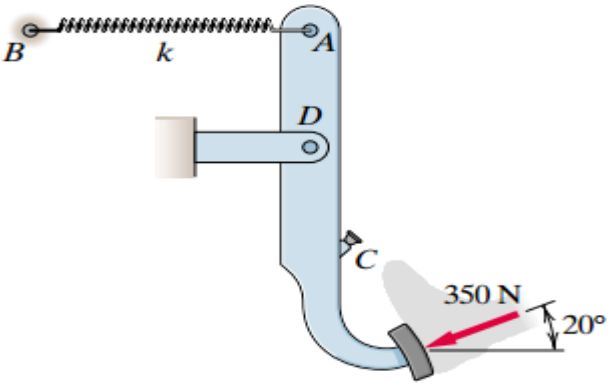
شكل رقم 20



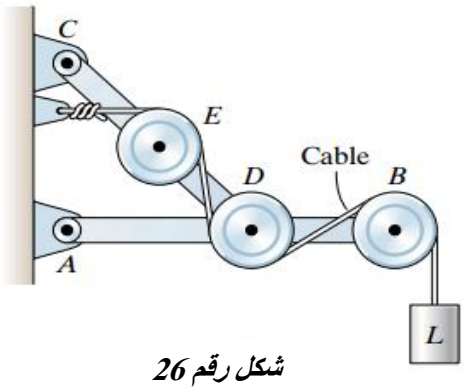
شكل رقم 24



شكل رقم 23

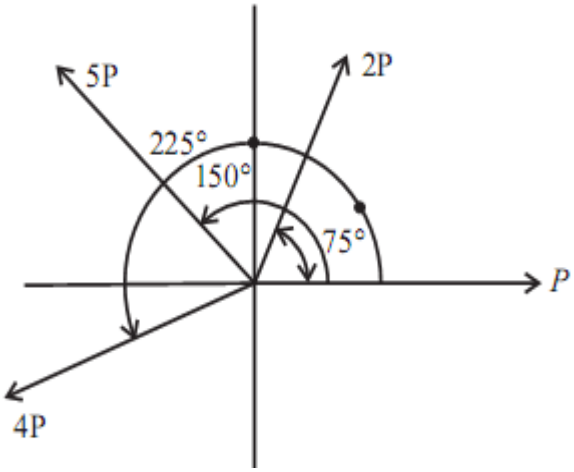


شكل رقم 25

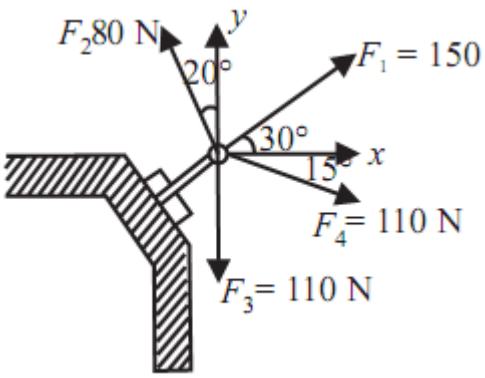


شكل رقم 26

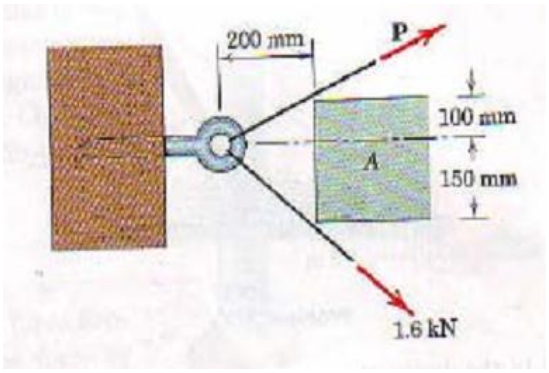
س9 / اوجد قيمة واتجاه المحصلة للاشكال الاتية



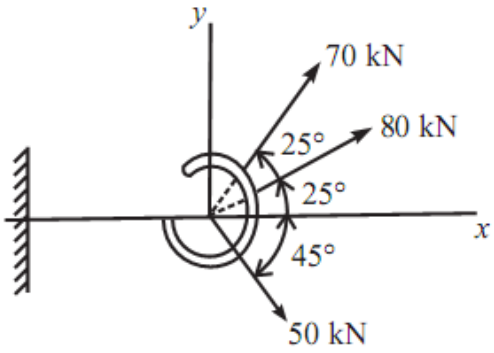
شكل رقم 27



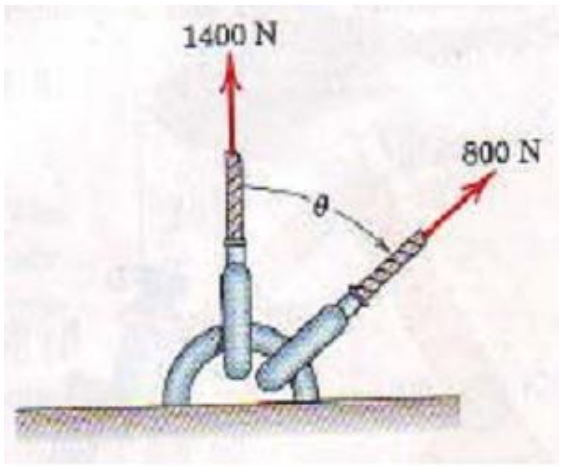
شكل رقم 28



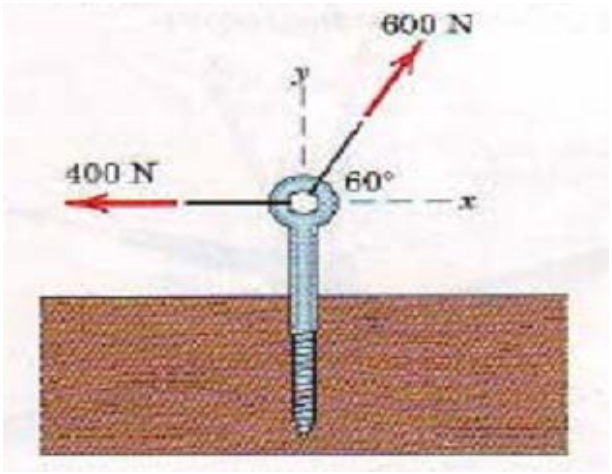
شكل رقم 29



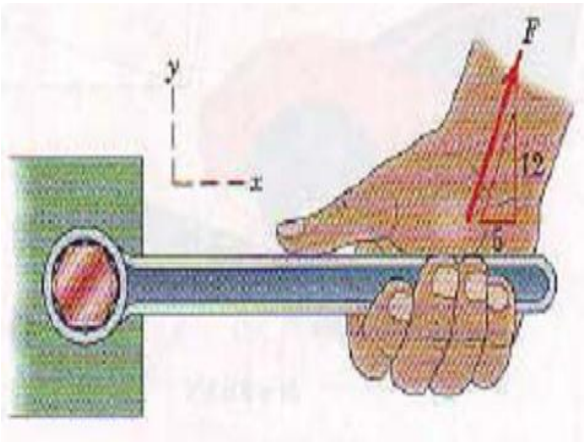
شكل رقم 30



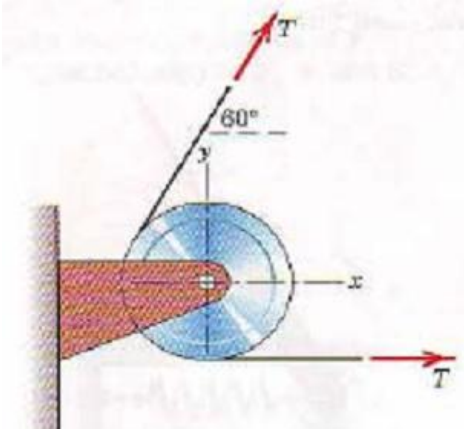
شكل رقم 31



شكل رقم 32

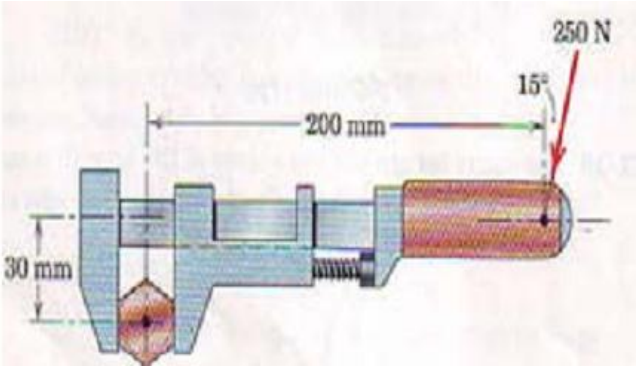


شكل رقم 33

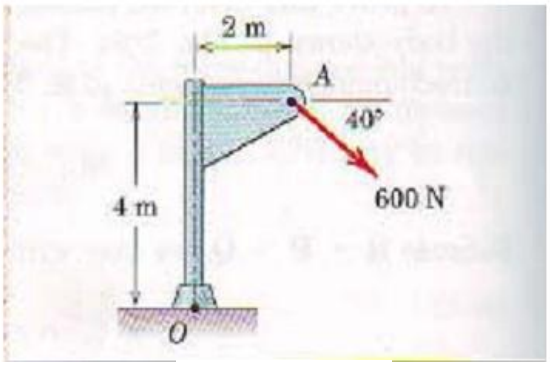


شكل رقم 34

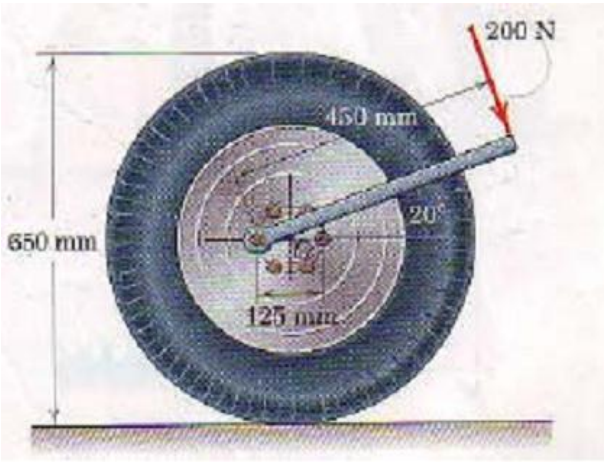
س10 / اوجد العزم في الاشكال الاتية



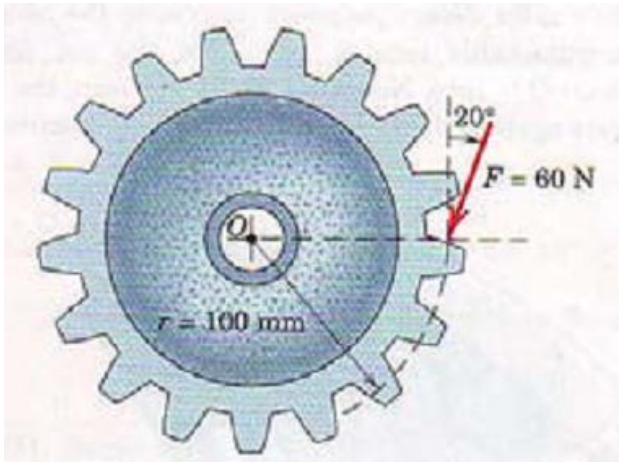
شكل رقم 35



شكل رقم 36

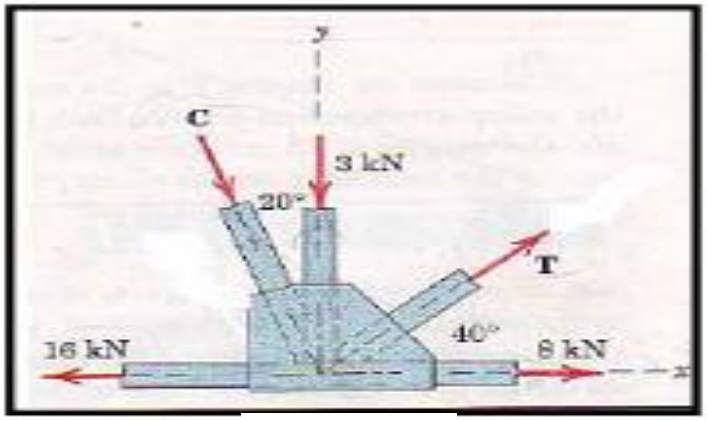


شكل رقم 37



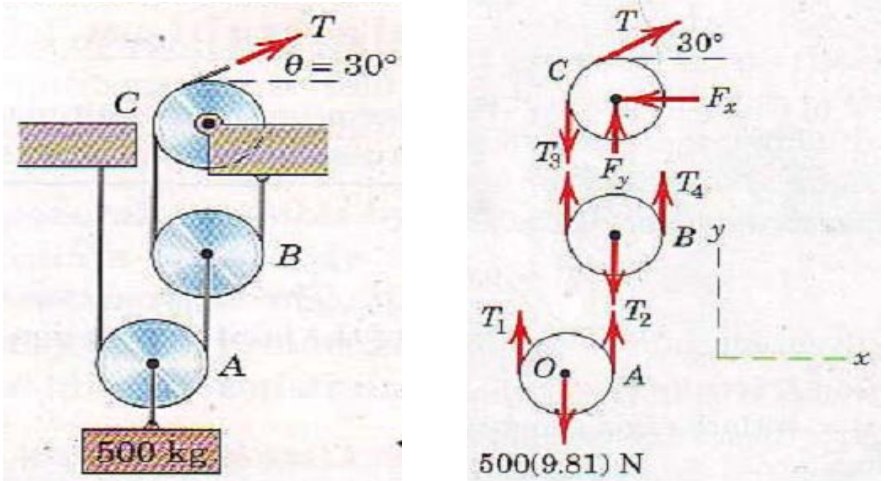
شكل رقم 38

س11 / اوجد قيمة الشد في كل من (T,C) من منظومة شد مفصل وهي في حالة اتزان كما في الشكل (38) ؟



شكل رقم 38

س12 / اوجد قيمة الشد في الخيط (T) في منظومة بكرات وهي في حالة اتزان كما في الشكل (39)؟



شكل رقم 39

س13/ اوجد رد الفعل عند النقطة (A,B) للعتلة في الشكل (40) باهمال وزن العتلة ؟

Given:

$F_1 = 600$ N

$F_2 = 400$ N

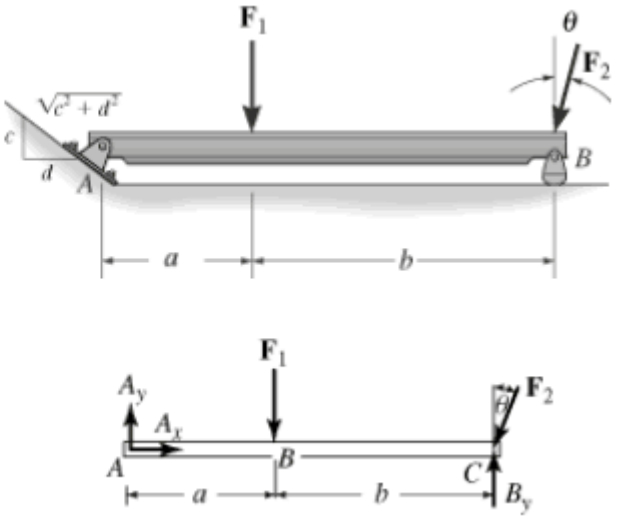
$\theta = 15$ deg

$a = 4$ m

$b = 8$ m

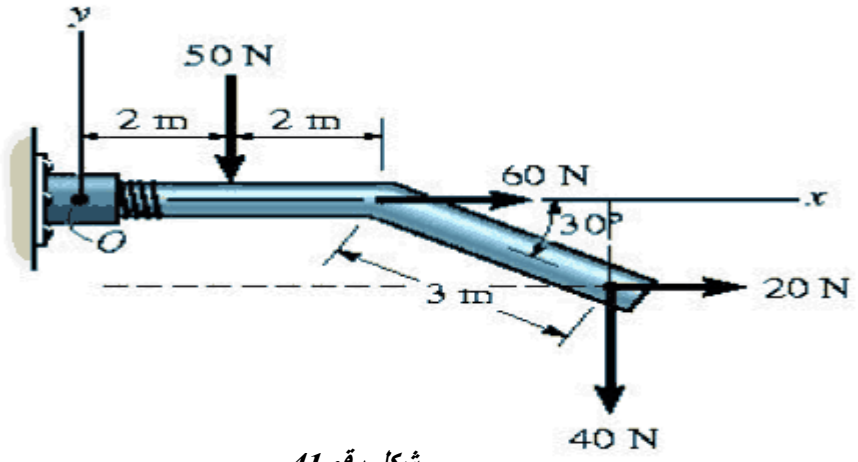
$c = 3$

$d = 4$



شكل رقم 40

س 14 / اوجد محصلة العزوم حول نقطة O للشكل رقم (41)؟



شكل رقم 41

الفصل الثاني

الحركة الخطية والدورانية

Linear and rotational motion

2. الحركة الخطية والحركة الدورانية

1.2. قوانين نيوتن في الحركة

ثلاثة قوانين فيزيائية تأسس الميكانيكا الكلاسيكية، وتربط هذه القوانين القوى المؤثرة على الجسم بحركته. أول من جمعها هو إسحاق نيوتن، وقد استخدم هذه القوانين في تفسير العديد من الأنظمة والظواهر الفيزيائية.

قانون نيوتن الأول

"يظل الجسم على حالته الحركية (إما السكون التام أو الحركة في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثر عليه قوة تغيره من هذه الحالة."

$$\sum F = 0$$

قانون نيوتن الثاني

"إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى $\sum F$ على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً a يتناسب مع محصلة القوى المؤثرة، ومعامل التناسب هو كتلة القصور الذاتي m للجسم .

$$\sum F = ma$$

قانون نيوتن الثالث

"لكل قوة فعل قوة رد فعل، مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه ."

$$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$$

قوة الاحتكاك

وهي القوة التي تقاوم الحركة بسبب تلامس سطح جسم يتحرك مع سطح آخر. مثال: مقاومة الماء لسفينة تسير فيه ، أو مقاومة الهواء لسير السيارة أو لراكب الدراجة.

قوة الاحتكاك الساكن

تمثل أقل قوة لتحريك الجسم الساكن ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة:

$$f_s = m_s N$$

حيث يعرف ثابت التناسب m_s باسم معامل الاحتكاك الساكن.

قوة الاحتكاك الحركي

تعرف قوة الاحتكاك بين سطحين لجسمين متحركين ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة :

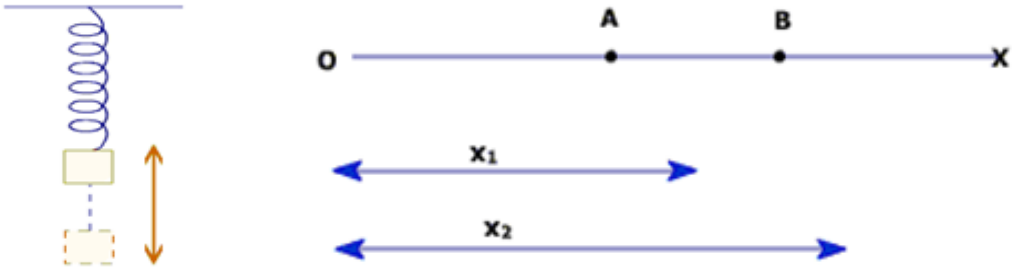
$$F_k = m_k N$$

حيث يعرف m_k معامل الاحتكاك الحركي

2.2. الحركة

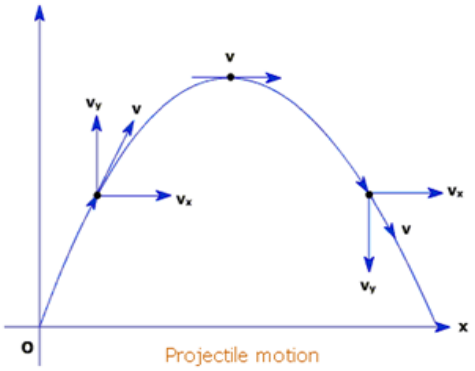
تغير مستمر في موقع الجسم..... ومن أنواعها :

1- **الحركة في بعد واحد** " وتمتلك مركبة واحدة " والشكل 1 يبين امثلة ذلك.



الشكل رقم 1. امثلة على الحركة في بعد واحد

2- **الحركة في بعدين** : وهي الحركة التي يمتلك متجه الموقع فيها مركبتين .ومن أمثلتها: الحركة الدائرية. والشكل 2 يبين حركة في بعدين .

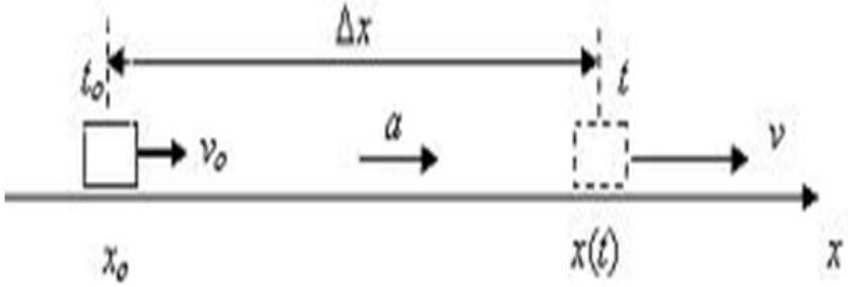


الشكل رقم 2. مثال على الحركة في بعدين

الحركة في خط مستقيم تعتبر حركة في بعد واحد ويميزها كميتان فيزيائيتان هما: المسافة x ; والزمن t
ولوصف الحركة في خط مستقيم ندرس علاقة هاتين الكميتين .

السرعة ومتوسط السرعة

السرعة هي نسبة تغير الإزاحة إلى التغير في الزمن الشكل رقم 3



الشكل رقم 3 . يمثل العلاقة بين الازاحة والسرعة

ويمكن تمثيلها رياضيا كما في العلاقة التالية:

$$\vec{V} = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1}$$

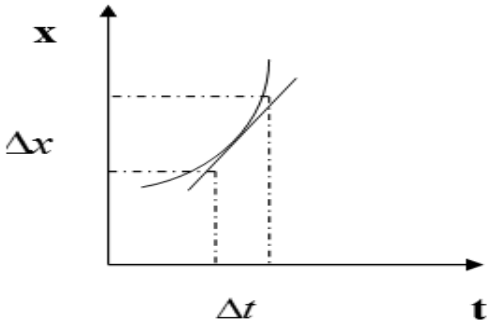
وإذا بدأنا من الصفر بحيث أن $X_1 = 0$ عندما $t_1 = 0$ فأن:

$$\vec{V} = \frac{X_2}{t_2} = \frac{X}{t}(\frac{m}{s}) \Rightarrow \vec{X} = \vec{V}t$$

وإذا ما كانت السرعة ليست ثابتة بل متغيرة فإننا نعرف **متوسط السرعة** : (مجموع التغيرات/عددها)

$$\vec{V} = \frac{\vec{V}_1 + \vec{V}_2}{2}$$

اما السرعة اللحظية : هي السرعة عند لحظة معينة ويمثلها ميل المماس للمنحنى الشكل 4



الشكل رقم 4 . يمثل ميل المماس للمنحني

ويمكن تمثيلها رياضيا كما في العلاقة التالية:

$$V_{ins.} = \lim_{\Delta t \to 0}(\frac{\Delta x}{\Delta t}) = \frac{dx}{dt}$$

" عند لحظة زمنية dt فإن عنصر المسافة dx "

مثال1 : جسيم يتحرك تبعا للعلاقة : $x = 3t^2 + 2t - 5$ حيث x **المسافة بالمتر &** t **الزمن بالثواني**

احسب: ا) المسافة المقطوعة في 5 ثواني

$$x = 3(5)^2 + 2(5) - 5 = 80\ m$$

ب) السرعة عند الزمن t = 2s

$$V_{ins.} = \frac{dx}{dt} = 6t + 2 = 14\frac{m}{s}$$

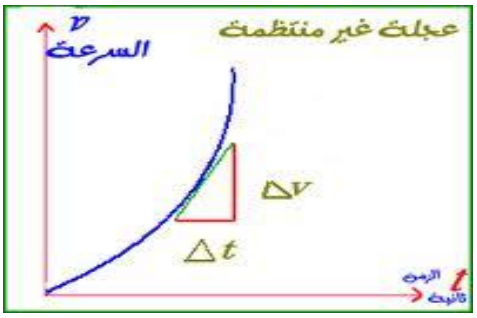
ج) السرعة عند الزمن t = 4s

$$V_{ins.} = \frac{dx}{dt} = 6t + 2 = 26\ \frac{m}{s}$$

د) متوسط السرعة بين الزمن $t = 2s\ \&\ 4s$

$$\overline{V} = \frac{14 + 26}{2} = 20\, m/s$$

3.2. التسارع



الشكل رقم 5 . يمثل العلاقة بين السرعة والزمن

هو تغير في السرعة أو الاتجاه أو كلاهما معا، حيث أن السرعة ليست ثابتة بل متغيرة فهناك تسارع (متوسط التسارع) ، الشكل 5

$$\vec{\bar{a}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

التسارع اللحظي: هو التسارع عند لحظة معينة

$$\vec{a}_{ins.} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt}(\frac{m}{s^2})$$

وحيث أن التسارع هو المشتقة الأولى للسرعة (أي المشتقة الثانية للإزاحة)

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} \Rightarrow \int \frac{d^2x}{dt^2} = \int a \Rightarrow \int \frac{dx}{dt} = \int at = t\int \frac{dV}{dt} \Rightarrow [x]_{x_0}^{x} = Vt \Rightarrow x = x_0 + Vt$$

مثال2 : افترض أ ن السرعة تعطى بالعلاقة $V = 10 + 2t^2$ حيث $V(\frac{cm}{s}) \,\&\, t(s)$ احسب:

ا) التغير في السرعة في الفترة من $t_1 = 2\sec \rightarrow t_2 = 5\sec$

$$V_1 = 10 + 2(2)^2 = 18 \,\&\, V_2 = 10 + 2(5)^2 = 60 \therefore V_2 - V_1 = 60 - 18 = 42\frac{cm}{s}$$

ب) متوسط التسارع في الفترة نفسها

$$\bar{a} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{42}{3} = 14(\frac{cm}{s^2})$$

ج) التسارع عند الزمن $t_1 = 2\sec$

$$a_{inst.} = \frac{dV}{dt} = 4t = 4x2 = 8\frac{cm}{s^2}$$

4.2. معادلات الحركة الخطية بتسارع ثابت

هذه المعادلات تربط بين السرعة الابتدائية V_0 والنهائية V والتسارع a والزمن t والإزاحة x

وكما يلي في المعادلات التالية:

$$V = V_0 + at$$

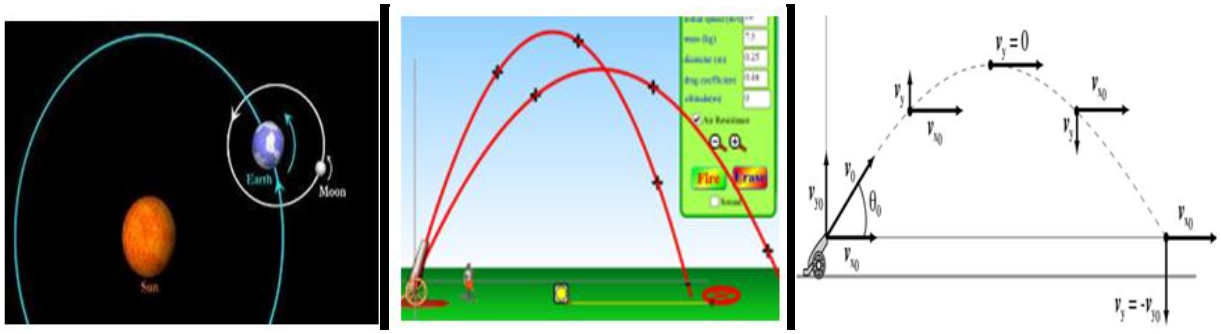
$$x = x_0 + V_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

$$V^2 = V_0^2 + 2ax$$

5.2. الحركة في بعدين

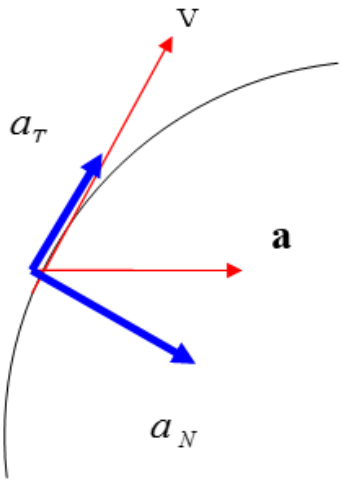
هي حركة على منحنى ومن أمثلتها حركة قذيفة مدفع وحركة القمر حول الأرض "سرعة الجسم عند أي نقطة على المسار يحدده اتجاه مماس المسار عند تلك النقطة" الشكل رقم 6 تسارع هذه الحركة يشير إلى مركز المسار المنحني، ويسمى التسارع المركزي وكما في العلاقة الرياضية التالية:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



الشكل رقم 6 . امثلة على حركة ببعدين

نحلل التسارع a في اتجاه السرعة والاتجاه العمودي عليه ، الشكل 7



$$a_T = \frac{dV}{dt} \qquad \& \qquad a_N = \frac{V^2}{R}$$

نصف قطر المسار المنحني R

$$(F = ma = m\frac{V}{t} = m\frac{V^2}{R})$$

إذا كانت السرعة ثابتة فإن: $\frac{dV}{dt} = 0$

الشكل رقم 7. تحليل التسارع الى محصلتين

6.2. الحركة الدائرية

إذا تحركت نقطة على محيط دائرة فإنها تقطع أقواس من الدائرة " S " تقابلها مسافات زاوية " θ " الزاوية النصف قطرية = (طول القوس / نصف القطر) ، الشكل 8

$$\theta = \frac{S}{R} \Rightarrow S = R\theta$$

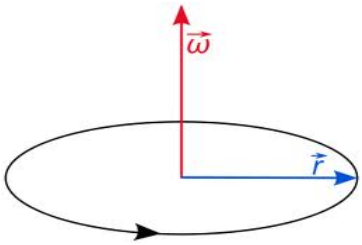
أي أن المسافة الخطية = المسافة الزاوية . نصف القطر

معادلة السرعة المماسية

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{d(R\theta)}{dt} = R\frac{d\theta}{dt} = R\omega$$

أي أن السرعة الخطية المماسية = السرعة الزاوية . نصف القطر

وتمثل السرعة الزاوية بمتجه اتجاهه عموديا على مستوى الحركة



الشكل رقم 8 . يمثل الحركة الدائرية

الحركة الدائرية بسـرعة ثابتة (ω):

عندما يتحرك جسيم على محيط دائرة مرة واحدة بسرعة ثابتة فان زمن هذه الحركة يسمى الزمن الدوري T أي زمن دورة واحدة. وعدد الدورات في الثانية الواحدة يسمى التردد f

$$\therefore T = \frac{1}{f}$$

وحيث أن: (السرعة الزاوية = المسافة الزاوية / الزمن)

أي أن:

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

ولدورة واحدة كاملة :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f\ (\frac{rad}{\sec})$$

الحركة الدائرية بتسارع ثابت (α):

إذا تغيرت السرعة الزاوية مع الزمن فإن التسارع الزاوي يعطى بالعلاقة:

$$\alpha = \frac{dw}{dt} = \frac{\omega_2 = \omega_1}{t}$$

معادلات الحركة الخطية	معادلات الحركة الدائرية
$V = V_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$x = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
$V^2 = V_0^2 + 2ax$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

مثال 3: عجلة نصف قطرها 0.9 m تدور حول محورها بسرعة 120 cycle/min احسب كل من التردد ، الزمن الدوري ، السرعة الزاوية و السرعة المماسية لنقطة على المحيط؟

أ) التردد

$$f = \frac{120}{60} = 2\frac{cycle}{\sec.}$$

ب) الزمن الدوري

$$T = \frac{1}{f} = 0.5\sec.$$

ج) السرعة الزاوية

$$\omega = 2\pi f = 2\pi x2 = 4\pi(rad/\sec.)$$

د) السرعة المماسية لنقطة على المحيط

$$V = \omega R = 4\pi x0.9 = 3.6\pi(\frac{m}{\sec})$$

7.2. العلاقة بين متغيرات الحركة الخطية والحركة الدورانية

من المفيد جدا ان نربط بين متغيرات الحركتين الخطية والدورانية لنلاحظ التناظر التام بينهما ، مما يسهل فيما بعد استخلاص معادلات التحريك الدوراني مباشرة . ولذلك نفترض ان لدينا جسما يدور على مسار دائري نصف قطره (r) ، كما في الشكل (1) فنلاحظ انه يقطع مسافة خطية (S) عندما يدور بزاوية (θ) بحيث ان :

$$S = r\theta$$

حيث تقدر الزاوية (θ) بالرديان دوما .

وباشتقاق العلاقة السابقة بالنسبة للزمن نجد :

$$\frac{dS}{dt} = r\,\frac{d\theta}{dt}$$

ولكن

$$\upsilon = \frac{dS}{dt}$$

هي السرعة الخطية التي يتحرك بها الجسم على المسار الدائري ، بينما

$$\upsilon = r\omega$$

وبنفس الشكل نربط بين التسارع الخطي والتسارع الزاوي باشتقاق (1) فنجد :

$$\frac{d\upsilon}{dt} = r\frac{d\omega}{dt}$$

وبملاحظة ان :

$$\frac{d\upsilon}{dt} = a_t$$

هو التسارع المماسي للجسم على المسار الدائري و $\frac{d\omega}{dt} = \alpha$ هو التسارع الزاوي ، فنحصل على :

$$\alpha = ra_t$$

ونركز هنا ان التسارع الخطي المعني في هذه العلاقة هو التسارع المماسي فقط الذي يدل على تغير قيمة السرعة الخطية للجسم . لأنه اذا دار بسرعة خطية (υ) ثابتة عندئذ يكون تسارعه المماسي (a_t) معدوما لكن تسارعه المركزي (a_c) لا يساوي الصفر . ومع ذلك فان تسارعه الزاوي يكون مساويا للصفر لان سرعته الزاوية ، مثل سرعته الخطية ، ثابتة . فاذا دار الجسم بسرعة خطية ثابتة ينعدم تسارعه المماسي والزاوي ويبقى تسارعه المركزي الذي يدل على تغيير اتجاه حركته والمعطى بالعلاقة التالية :

$$a_c = \frac{\upsilon^2}{r} = \omega^2 r$$

أخيرا نلخص في الجدول (1) والجدول(2) العلاقة بين متغيرات الحركة الانتقالية والدورانية لتوضيح التناظر في قوانين الحركة بين الحالتين .

مثال 4

تتسارع أسطوانة موسيقية نصف قطرها 15 cm بدءا من السكون فتصير سرعتها 33 دورة بالدقيقة خلال 60. s (أ) ما السرعة والتسارع الخطيين لنقطة على محيطها؟ (ب) ما التسارع الزاوي لهذه النقطة؟

الحل: لحساب السرعة الخطية نستخدم $\upsilon = r\omega$ حيث نضع:

$$\omega = 33\,\text{rev/min} = 33(2\pi\,\text{rad}/60\,\text{s}) = 3.45\,\text{rad/s}$$

فنجد:

$$\upsilon = r\omega = (0.15\,\text{m})(3.45\,\text{rad/s}) = 0.52\,\text{m/s}$$

(ب) لحساب التسارع المركزي لهذه النقطة نكتب:

$$a_c = \frac{\upsilon^2}{r} = 1.8\,\text{m/s}^2$$

مثال 5

تتسارع أسطوانة موسيقية نصف قطرها 15 cm بدءا من السكون فتصير سرعتها 33 دورة بالدقيقة خلال 60. s (أ) ما السرعة والتسارع الخطيين لنقطة على محيطها؟ (ب) ما التسارع الزاوي لهذه النقطة؟

الحل: لحساب السرعة الخطية نستخدم $v=r\omega$ حيث نضع:

$$\omega = 33\,\text{rev/min} = 33(2\pi\,\text{rad}/60\,\text{s}) = 3.45\,\text{rad/s}$$

فنجد:

$$v = r\omega = (0.15\,\text{m})(3.45\,\text{rad/s}) = 0.52\,\text{m/s}$$

(ب) لحساب التسارع المركزي لهذه النقطة نكتب:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = 1.8\,\text{m/s}^2$$

(ج) أخيرا نجد التسارع الزاوي للاسطوانة من العلاقة:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = 0.06\,\text{rad/s}^2$$

الجدول 1 العلاقة بين متغيرات الحركة الانتقالية والدورانية

المتغيرات	انتقال	دوران	العلاقة
الموضع	s	θ	$s=r\theta$
السرعة	v	ω	$v=r\omega$
التسارع	a	α	$a=r\alpha$

الجدول 2 التناظر في قوانين الحركة الانتقالية والدورانية بتسارع ثابت

الحركة الانتقالية	الحركة الدورانية
$v = at + v_0$	$\omega = \alpha t + \omega_0$
$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$	$\alpha = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t$
$v^2 - v_0^2 = 2as$	$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha\theta$

8.2. أسئلة ومسائل عامة

س1/ ما هي قوانين نيوتن في الحركة ؟

ثلاثة قوانين فيزيائية تأسس الميكانيكا الكلاسيكية، وتربط هذه القوانين القوى المؤثرة على الجسم بحركته. أول من جمعها هو إسحاق نيوتن، وقد استخدم هذه القوانين في تفسير العديد من الأنظمة والظواهر الفيزيائية.

قانون نيوتن الأول

"يظل الجسم على حالته الحركية (إما السكون التام أو الحركة في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثر عليه قوة تغيره من هذه الحالة."

$$\sum F = 0$$

قانون نيوتن الثاني

"إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى $\sum F$ على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً a يتناسب مع محصلة القوى المؤثرة، ومعامل التناسب هو كتلة القصور الذاتي m للجسم .

$$\sum F = ma$$

قانون نيوتن الثالث

"لكل قوة فعل قوة رد فعل، مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه ."

$$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$$

س2 / ماهي قوة الاحتكاك وما هي انواعه وضحها ؟

قوة الاحتكاك

وهي القوة التي تقاوم الحركة بسبب تلامس سطح جسم يتحرك مع سطح آخر. مثال: مقاومة الماء لسفينة تسير فيه ، أو مقاومة الهواء لسير السيارة أو لراكب الدراجة.

قوة الاحتكاك الساكن

تمثل أقل قوة لتحريك الجسم الساكن ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة:

$$f_s = m_s N$$

حيث يعرف ثابت التناسب m_s باسم معامل الاحتكاك الساكن.

قوة الاحتكاك الحركي

تعرف قوة الاحتكاك بين سطحين لجسمين متحركين ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة :

$$F_k = m_k N$$

س3 / ماهي انواع الحركة عددها مع ذكر امثلة ؟

أ/ حركة انتقالية : مثل الحركة في خط مستقيم – حركة المقذوفات.

ب /حركة دورية : مثل (الحركة الدائرية ، الاهتزازية ، الموجية) حركة عقارب الساعة ، دوران جسم مربوط في نهاية خيط ، حركة المروحة ، حركة العجلات .

س4 / ما المقصود بالتسارع و متى يتسارع الجسم ؟

هو معدّل تغيّر السرعة بالنسبة لـ الزمن ويتسارع بتغيّر سرعته بالنسبة لـ الزمن

س5 / عدد عناصر السرعة ومتى يتسارع الجسم ؟

المقدار و الاتجاه لأن السرعة كمية متجهة
ويتسارع الجسم بتغيّر:
مقدار سرعة الجسم
اتجاه سرعة الجسم
مقدار و اتجاه سرعة الجسم

س 6 / يدور حجر مثبتْ في نهاية خيط بسرعة ثابتة .. بيّن ما إذا كان لهذا الحجر تسارع ام لا ولماذا ؟

ج / نعم له تسارع لأن الاتجاه يتغيّر لحظياً
على الرغم من ثبات مقدار السرعة . إلا أن اتجاه السرعة يتغيّر لحظياً وهذآ يجعل للجسم تسارع

س7 / اثناء حركة الجسم اين يكون موقعه بالنسبة للدائرة وكيف نحدد موقعه بالنسبة لمركز الدائرة وبماذا يتميز ؟

ج / سيكون على محيط الدائرة بمتجه الموقع r والذي يُمثل نصفْ قطر الدائرة ويتميز بأن طوله لا يتغير عندما يدور الجسم حول الدائرة ولكن اتجاهه يتغير.

س8 / أكتبْ قانون إيجاد السرعة المتجهة المتوسطة ، ثم طبق القانون في الحركة الدائرية

$v=\Delta d/\Delta t$ ، $(v=\Delta r/\Delta t)$

س9 /عندما يُكمل الجسم دورة كآمله فماهي المسافة التي قطعها وماذا يُسمى الزمنْ اللازم لإتمام هذه الدورة ؟

ج / مُحيط الدائرة والذي بشاوي قطر الدائرة مضروبا بالنسبة الثابتة ، الزمن الدوريT

س10 / أكتب معادلات الحركة الخطية بتسارع ثابت ؟

هذه المعادلات تربط بين السرعة الابتدائية V_0 والنهائية V والتسارع a والزمن t والإزاحة x

$$V = V_0 + at$$

$$x = x_0 + V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$V^2 = V_0^2 + 2ax$$

س11 / أكتب معادلات الحركة الدورانية بتسارع ثابت ؟

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

س12/ ارسم جدول وضحا فيه العلاقة بين متغيرات الحركة الخطية والحركة الدورانية ؟

س13 / ارسم جدول وضحا فيه التناظر في قوانين الحركة الخطية والحركة الدورانية ؟

س14 / من قانون نيوتن الثاني F= m.a ما الذي يُكسبْ الجسم تسارعاً ؟

ج / القوة

س15/ ماذا تُسمى القوة التي تجعل الجسم مُتسارعاً تسارعاً مركزياً ، أعط أمثله على ذلكْ ؟

ج / القوة المركزية – أمثلة على ذلك القوة المُسببة لدوران الأرض حول الشمس ، ناتجة عن قوة جذب الشمس للأرض القوة المُسببة لدوران المطرقة في مسار دائري ناتجة عن قوة الشد في اتجاه المركز.

س16/ ما أوجه الشبه والاختلاف بين متجهي السرعة والتسارع في الحركة الدائرية ؟

التشابه / كلاهما له مقدار ثابت واتجاه متغير

الاختلاف / في الاتجاه ـــ اتجاه السرعة يكون مماساً للمسار فيما يكون اتجاه التسارع في اتجاه المركز .

س17/ عندما تكون على ساحبة تسير بسرعة معينة ، ثم توقفت الساحبة فجأة فما الذي سيحدث ، وهل هناك قوة دفعتك إلى الأمام ؟

ج/ سيندفع جسمك نحو الامام (القوة الوهمية)، لا لأنه بحسب قانون نيوتن الأول سيستمر جسمي في الحركة بالسرعة نفسها مالم تؤثر فيه قوة خارجية .

س18/ جسم يتحرك بسرعة ابتدائية 3 m/s وبتسارع ثابت $4m/s^2$ وباتجاه السرعة.احسب:

ا) سرعة الجسم بعد مرور 7s من بدء الحركة

$$V = V_0 + at = 3 + (4x7) = 31 \, m/s$$

ب) المسافة المقطوعة خلال ألـ 7s الأولى من الحركة

$$x = V_0 t + \tfrac{1}{2} at^2 = (3x7) + \frac{1}{2}(4x49) = 119m$$

س19/ جسم يتحرك بتسارع ثابت، فقطع 600 m في 15 s احسب: سرعته عند نهاية المسافة وتسارعه

$$x = \tfrac{1}{2} at^2 \Rightarrow 600 = \frac{1}{2} a(15)^2 \therefore a = \frac{1200}{15x15} = \frac{16}{3} \, m/s^2$$

$$V = V_0 + at = at = \frac{16}{3} x15 = 80 \, m/s$$

س20/ بدأت مركبة الحركة من السكون فوصلت سرعتها 10m/s خلال 15s احسب:

أ) متوسط تسارعها

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t} = \frac{10}{15} \, m/s^2$$

ب) المسافة المقطوعة خلال هذه المدة

$$x = \tfrac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} x \frac{10}{15} x15x15 = 75m$$

س21/ يتحرك جسم بخط مستقيم تبعا للمعادلة: $x = 16t - 6t^2$ حيث المسافة بالمتر والزمن بالثانية. احسب:

أ) المسافة المقطوعة بعد 1 s

$$x = 16(1) - 6(1)^2 = 10m$$

ب) الزمن الذي تكون فيه الإزاحة = صفر

$$x = 0 \Rightarrow 16t = 6t^2 \ \therefore t = \frac{16}{6}s$$

ج) متوسط السرعة في الفترة من الزمن صفر إلى الزمن 2 s

$$\overline{V} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{16(2) - 6(2)^2}{2} = \frac{32 - 24}{2} = 4 m/s$$

س22/ قرص نصف قطره 50 cm يدور بسرعة منتظمة ويقطع 13.2 cycle/6s احسب:

1- سرعته الزاوية

$$\omega = 2\pi f = 2\pi x 2.2 = 4.4\pi$$

2- زمنه الدوري

$$T = \frac{1}{2.2} = \frac{10}{22}\sec$$

3- تردده

$$f = \frac{13.2}{6} = 2.2\frac{cycle}{s}$$

4- الزمن اللازم ليدور 780^0

$$t = \frac{\theta}{\omega} = (\frac{780x2\pi}{360}) / 4.4\pi$$

س23/ إذا علمت أن مدار الالكترون حول نواة ذرة الهيدروجين "مدار دائري" نصف قطره $5x10^{-11}m$ وزمنه الدوري $1.5x10^{-16}s$ احسب :

1. سررعته الزاوية

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1.5x10^{-16}}$$

2. تسارعه المركزي $a_{centr.} = \frac{V^2}{R} = \frac{(R\omega)^2}{R} = R\omega^2 = ...$

س24/ يتحرك جسيم مادي على مسار دائري حسب العلاقة: $\theta = 3t^2 + 2t$ أوجد:

a. سرعته الزاوية

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 6t + 2$$

b. تسارعه الزاوي بعد 4 s من بدء حركته

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$6t + 2 = \alpha x4 = 4\alpha \Rightarrow 6(4) + 2 = 4\alpha \therefore \alpha = \frac{26}{4} = 6.5(\frac{rad}{s^2})$$

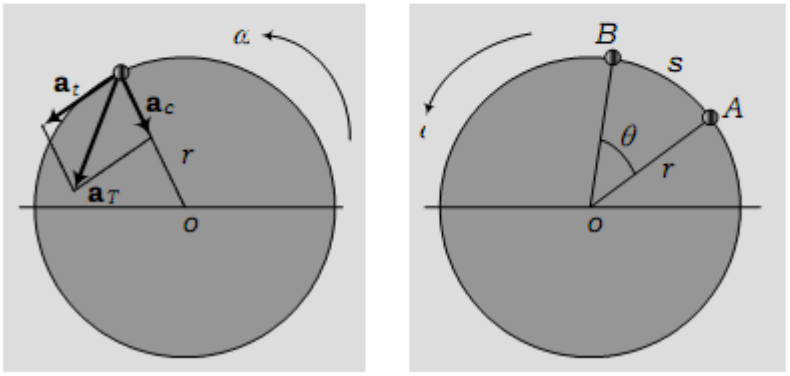
ولكن $$\upsilon = \frac{ds}{dt}$$

هي السرعة الخطية التي يتحرك بها الجسم على المسار الدائري، بينما

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

هي السرعة الزاوية التي يدور بها، ولذلك نكتب:

$$\boxed{\upsilon = r\omega}$$



الفصل الثالث

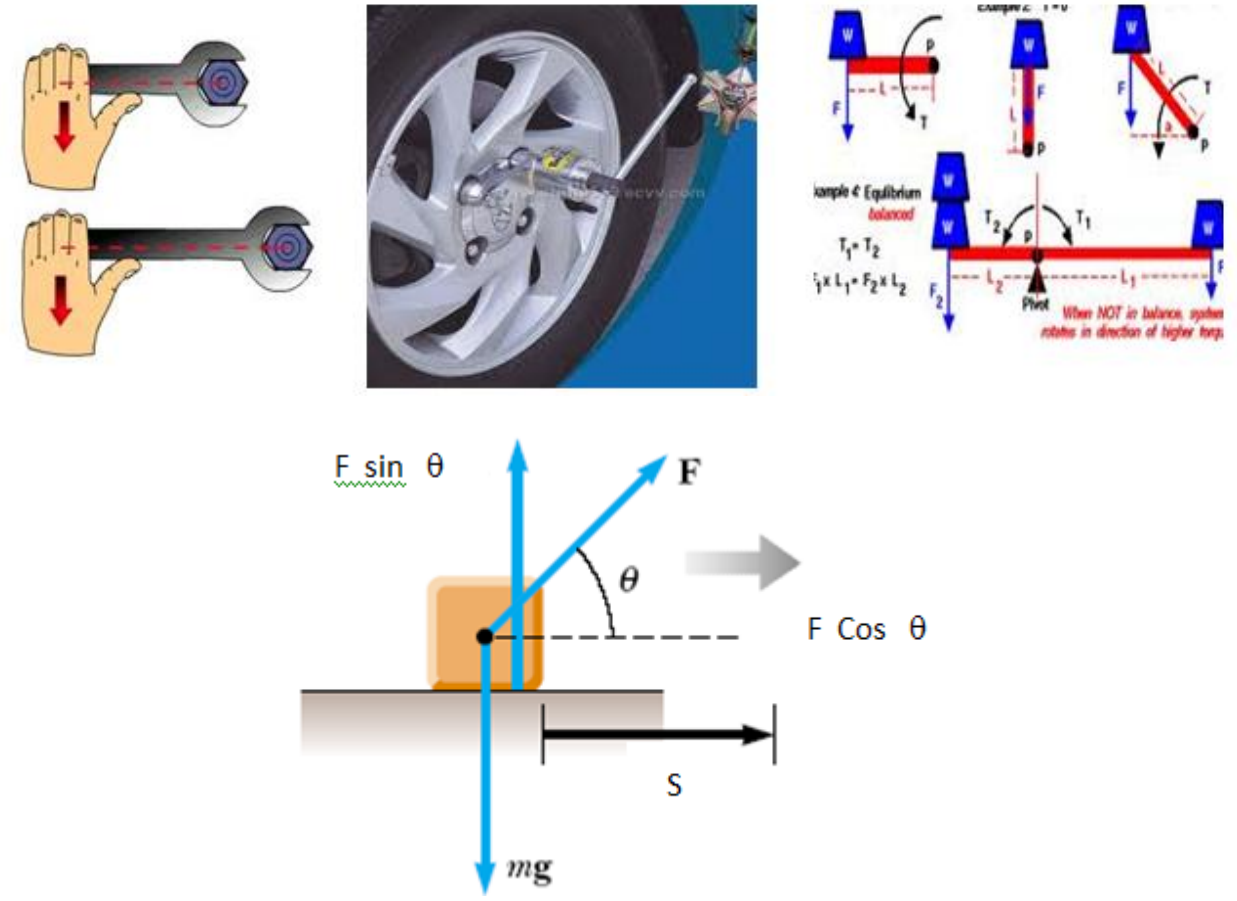
العزم والشغل

Torque & Work

3. العزم والشغل

العزم هو حاصل الضرب ألاتجاهي بين متجهي القوة و الإزاحة وهو القوة التي تحدث دوران ، كما في الشكل 1.

$$T = F \times d = F\, d \sin \theta$$



الشكل 1. يبين اشكال تولد العزم

الشغل هو القوة التي تحرك جسم من مكان إلى أخر

$$W = F \times S = F\, S \cos \theta$$

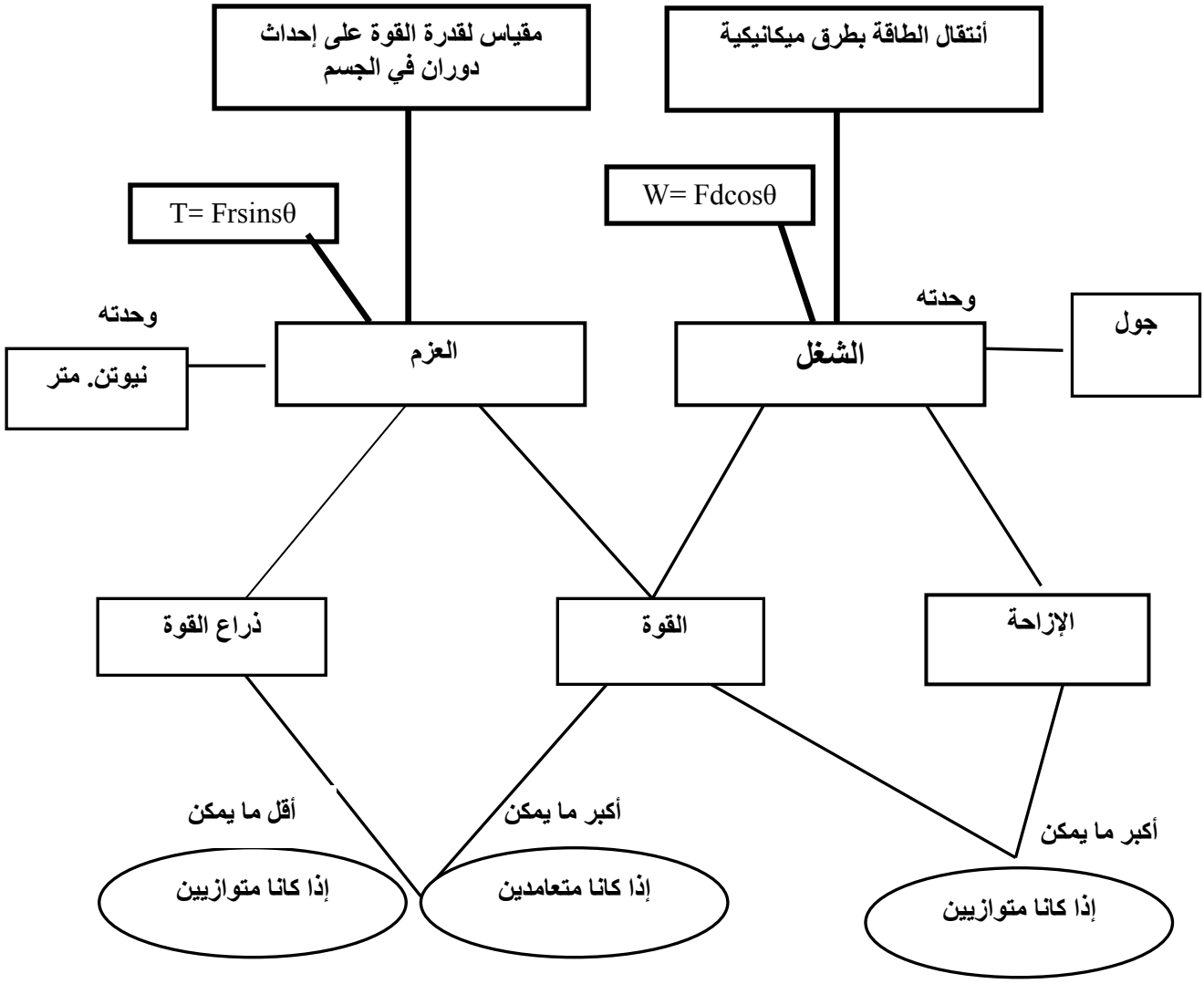
القوة العمودية على الإزاحة ينتج عنها أقصى عزم و ينعدم عندها الشغل

القوة الموازية للإزاحة ينتج عنها أقصى شغل و ينعدم عندها العزم

العزم لا ينعدم بانعدام الحركة والشغل ينعدم بانعدام الحركة

لان العزم الموازن له قيمه ويعمل على إيقاف الحركة

فالعزم المحرك = العزم الموازن في المقدار ويعاكسه في الاتجاه



جدول 1. يبين أوجه الاختلاف بين الشغل والعزم

1.3. الفرق بين العزم والشغل

العـــــزم :

يعطى العزم بالعلاقة التالية :

$$T = F \times d = F\, d \sin \theta$$

d : هي المسافة من النقطة أ الى النقطة اخرى
تسمى ذراع القوة .

نلاحظ التالي من خلال القانون :

1. العزم عبارة عن حاصل الضرب الاتجاهي للقوة (F) وذراع القوة (d) اي انه كمية اتجاهية .
2. اعلى قيمة للعزم عندما ($\theta = 90$) اي ان القوة وذراع القوة متعامدين .
3. يقاس بوحدة نيوتن × متر (متعامدة).
4. لايشترط في العزم ان يتحرك الجسم بواسطة القوة (F) .

الشـــــغل :

يعطى الشغل بالعلاقة التالية :

$$T = F \times d = F\, d \cos \theta$$

نلاحظ التالي من القانون :

1. الشغل عبارة عن حاصل الضرب القياسي للقوة (F) والازاحة التي تحدثها (d) اي انه كمية قياسية .
2. اعلى قيمة للشغل عندما ($\theta = 0$) اي ان القوة والازاحة متوازيتان .
3. يقاس بوحدة : نيوتن × متر (متوازية) تسمى جول .
4. يشترط للقوة ان تنتج شغل عندما تزيح الجسم (تحركه).

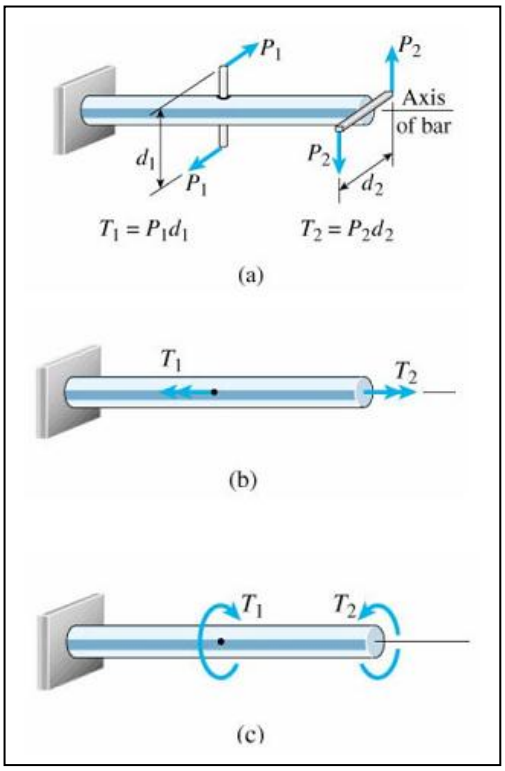
عزم الفتل: هو التواء لأحد التراكيب الهيكلية، عندما ينم تحميلها زوج من القوى، كما في الشكل المزدوج (T_1 ،T_2) تسمى عزوم ، وتكون هذه العزوم اما نتيجة مزدوجات الالتواء او عزوم الالتواء.

وحدات العزم هي (m . N)

الشكل رقم (1) يبين كيفية حصول عزم في محور

حيث ان :

$$T_1 = P_1 . d_1 \qquad ; \qquad T_2 = P_2 . d_1$$



الشكل رقم (2)

2.3. نظرية الالتواء الهندسية

Engineer's theory of Torsion (E.T.T.)

ينص قانون هذه النظرية على انه:

$$\frac{T}{I} = \frac{G\Phi}{L} = \frac{\tau}{r}$$

حيث ان:

T-عزم الدوران الداخلي في المقطع العرضي

I-عزم القصورالذاتي القطبية للمحور

G - معامل القص او الجساءة

r - المسافة الشعاعية من المحور (وسط)

φ - زاوية البرم

L - طول المحور

τ - أجهاد القص

للمحور الدائري الصلد

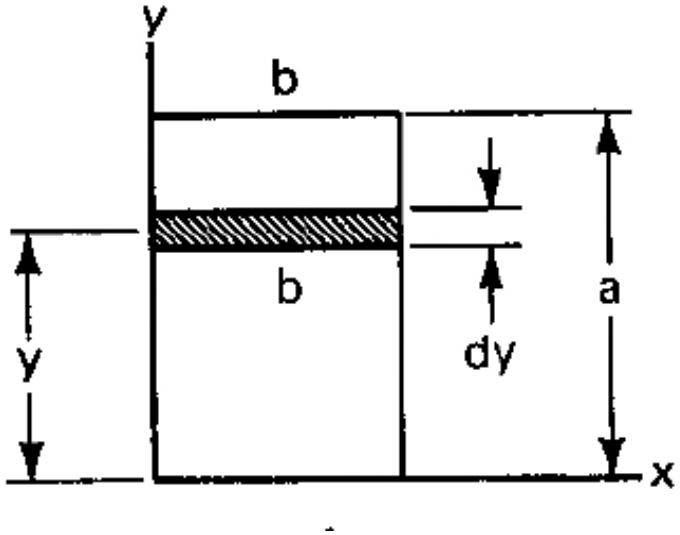
$$I = \frac{\pi d^4}{32}$$

للمحور الدائري المجوف

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

للمحور المربع الصلد

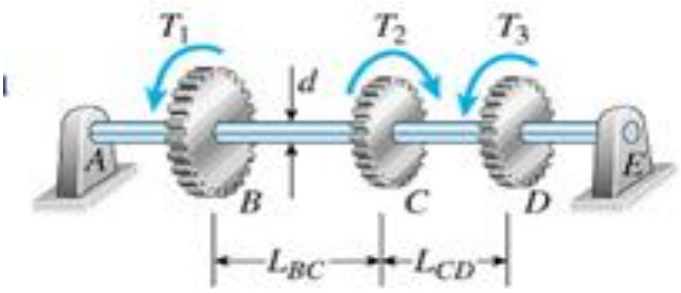
$$I = \frac{ab^3}{3}$$



مثـــــــال (1):

محور دائري صلد من الفولاذ مركبة عليه ثلاثة تروس قطره *(d = 30 mm)* وتؤثر عليه ثلاثة عزوم كما في الشكل 2.

إذا علمت ان قيم العزوم والاطوال كما يلي:



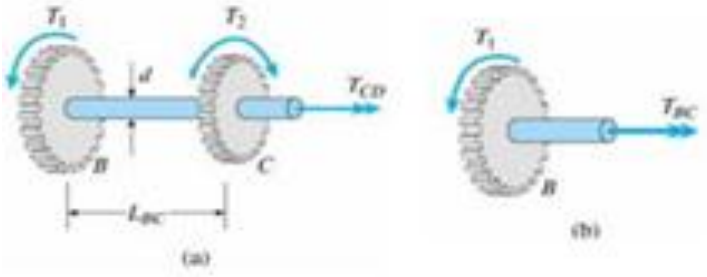
T_1 = 275 N-m T_2 = 450 N-m

T_3 = 175 N-m G = 80 GPa

L_1 = 500 mm L_2 = 400 mm

اوجد مايلي : 1- اعلى اجهاد قص في كل جزء

2-زاوية (Φ_{BD})



الشكل رقم (3)

الحل

$$\frac{T}{I} = \frac{G\Phi}{L} = \frac{\tau}{r}$$

T_{CD} = T_2 - T_1 = 175 N-m

T_{BC} = - T_1 = - 275 N-m

$$I = \frac{\pi d^4}{32} \qquad r = \frac{d}{2}$$

$$\tau_{BC} = \frac{16\ T_{BC}}{\pi\ d^3} = \frac{16 \text{ x } 275 \text{ x } 10^3}{\pi\ 30^3} = 51.9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{CD} = \frac{16\ T_{CD}}{\pi\ d^3} = \frac{16 \text{ x } 175 \text{ x } 10^3}{\pi\ 30^3} = 33 \text{ MPa}$$

$$\phi_{BD} = \phi_{BC} + \phi_{CD}$$

$$I_p = \frac{\pi\ d^4}{32} = \frac{\pi\ 30^4}{32} = 79{,}520 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{BC} = \frac{T_{BC}\ L_1}{G\ I_p} = \frac{-\ 275 \text{ x } 10^3 \text{ x } 500}{80 \text{ x } 10^3 \text{ x } 79{,}520} = -\ 0.0216 \text{ rad}$$

$$\phi_{CD} = \frac{T_{CD}\ L_2}{G\ I_p} = \frac{175 \text{ x } 10^3 \text{ x } 400}{80 \text{ x } 10^3 \text{ x } 79{,}520} = 0.011 \text{ rad}$$

$$\phi_{BD} = \phi_{BC} + \phi_{CD} = -\ 0.0216 + 0.011 = -\ 0.0106 \text{ rad} = -\ 0.61^{\circ}$$

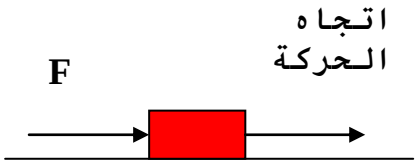
3.3. أنواع الشغل

والشغل هو التأثير بقوة على جسم فيتحرك مسافة ما في اتجاه القوة أو باتجاه إحدى مركباتها

1.3.3. الشغل الناتج من قوة ثابتة

إذا تحرك جسم مسافة S

فان الشغل W تحت تأثير قوة ثابتة F يساوي كما في الشكل 3.



الشكل رقم (4)

$$W = F.S$$

الضرب هنا قياسي ويعطي قيمة عددية غير متجهة الشكل 4.

أما إذا كانت القوة تميل بزاوية على اتجاه الإزاحة، نحلل القوة في اتجاه الإزاحة تكون

$$F\cos\theta$$

وفي الاتجاه العمودي تكون

$$F\sin\theta$$

الشغل المبذول فيساوي

$$W = FS\cos\theta$$

$$\theta = 0 \Rightarrow W = FS$$

$$\theta = 90^o \Rightarrow W = 0$$

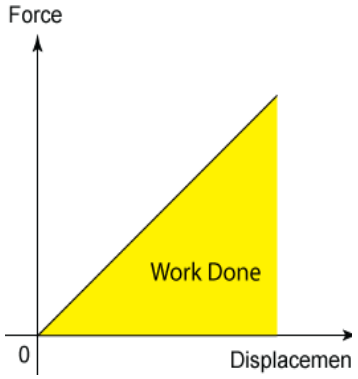
$$\theta = 180^o \Rightarrow W = -FS$$

الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك سـالب

وحدات قياس الشغل: هي الجول او الارك

$$W = F.S(Newton.Meter) = Joul$$

$$W = F.S(Dyne.cm) = Erg$$

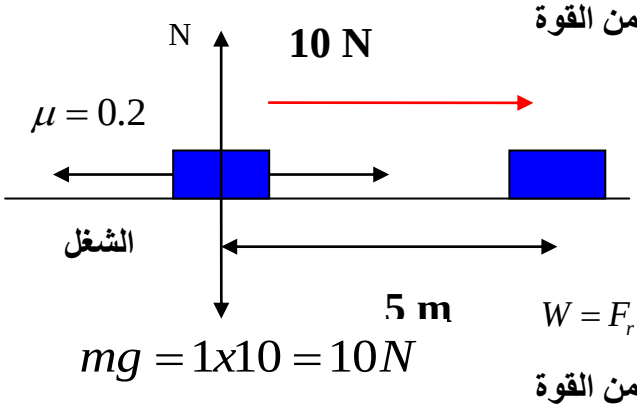


الشكل رقم (5)

الجول: شغل تبذله قوة ثابتة مقدارها واحد نيوتن فتحرك الجسم مسافة واحد متر في اتجاهها

الارك: شغل تبذله قوة ثابتة مقدارها واحد داين فتحرك الجسم مسافة واحد سنتيمتر في اتجاهها

مثـــــــال (2): للشكل المقابل احسب الشغل المبذول من القوة



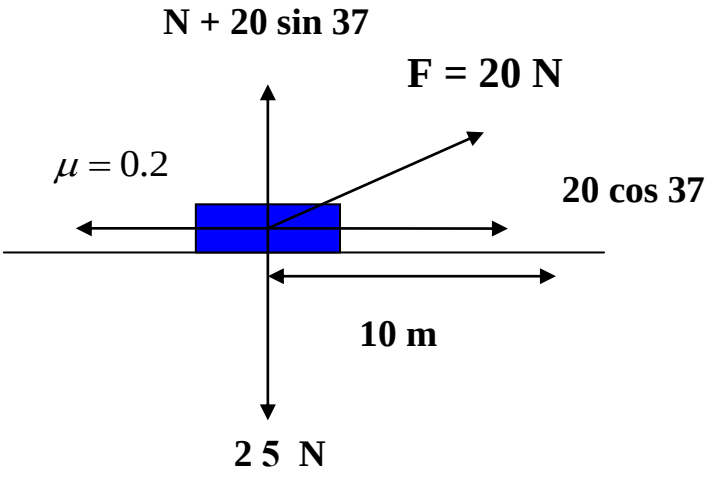
$$W = F.S = 10x5 = 50J.$$

$$mg = 1x10 = 10N$$

المبذول من قوة الاحتكاك:

$$W = F_r S\cos 180 = -\mu N.S = -\mu.mg.S = -0.2x10x5 = -10J.$$

مثـــــــال (3): للشكل المقابل احسب الشغل المبذول من القوة



$$W = F.S\cos\theta = 20x10x0.8 = 160J.$$

بالنسبة للمركبات الرأسية

$$N + (20\sin 37) = 25$$

$$N + (20x0.6) = 25 \Rightarrow N = 25 - 12 = 13N$$

الشغل المبذول من قوة الاحتكاك:

$$W = F_r S\cos 180 = -\mu N.S = -0.2x13x10 = -26J.$$

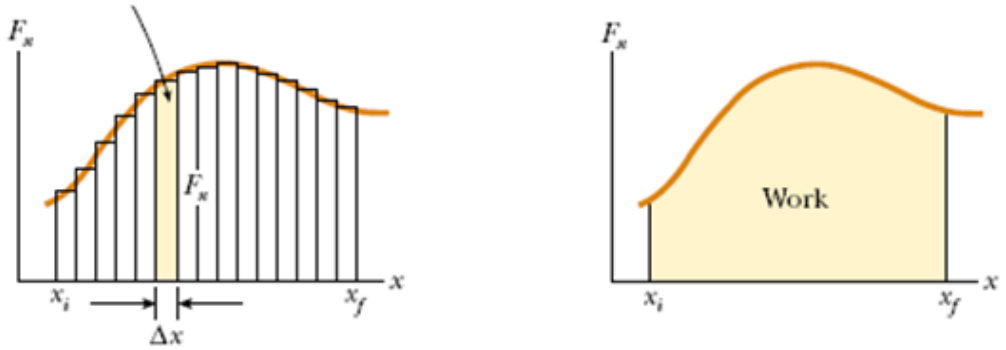
ملحوظة :-

إذا كان الشغل ناتج عن مجموعة من القوى ($F_1, F_2, F_3, \ldots\ldots$) فإن الشغل يساوى مجموع هذه القوى مضروبا فى الإزاحة الناتجة عن هذه القوى.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots\ldots\ldots$$
$$= F_1 . S + F_2 . S + F_3 . S$$
$$= \left(\sum F \right). S$$

2.3.3 الشغل الناتج عن قوة متغيرة

وعندما تكون القوة المؤثرة متغيرة اثناء الازاحة الناتجة هذا يولد بالتالي شغل متغير ويمكن تمثيل الشغل الناتج بيانيا بعلاقة بين القوة (F_x) والإزاحة (X) ويمثل الشغل الكلي المساحة الكلية تحت المنحنى الناتج أو تكامل العنصر من المساحة كما بالشكل: 5.



الشكل رقم (6)

وتكون العلاقة على الشكل التالي:

$$\mathbf{W} = \sum_{x_i}^{x_f} \mathbf{F_x} . \Delta \mathbf{x} = \int_{x_i}^{x_f} \mathbf{F_x} . \mathbf{dx}$$

مثـــــــال (4):

قوة متغيرة باتجاه x حسب العلاقة التالية

$$F_X = 3X^3 - 5$$

حيث أن x بالمتر والقوة بالكيلو نيوتن ، احسب الشغل المبذول نتيجة هذه القوة عندما تتحرك من أربعة أمتار إلى مسافة سبعة أمتار ؟

$$W = \int_4^7 F dx = \int_4^7 (3x^3 - 5)dx = \left[\frac{3}{4}x^4 - 5x\right]_4^7$$

$$W == 1.59\ KJ$$

3.3.3. الشغل الناتج عن قوة النابض

ينص قانون هوك على أنه في حاله تعرض نابض لقوة شد F فإنها تحدث تشوها عبارة عن استطالة Δl يعبر عنها بالعلاقة

$$F = k(\Delta l) \longrightarrow \textbf{(1)}$$

حيث الثابت k هو معامل النابض وعند زوال القوة المؤثرة F يعود النابض إلى حالته الأولى بفعل قوة الاسترجاع والتي تكون مختزنة في النابض هي مساوية للقوة المؤثرة F في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه أي أن

$$F = -k(\Delta L)$$

ولحساب الشغل المبذول على النابض يجب الأخذ بنظر الاعتبار أن الشغل هنا تنجزه قوة متغيرة وفي هذه الحالة نأخذ عنصر الإزاحة صغير Δs باعتبار أنه خلال هذه الإزاحة الصغيرة تبقى القوة ثابتة ويمكن التعبير عن الشغل المبذول بداية نحول قانون هوك ليصبح: $F = k\Delta s$ وبالنظر للشكل رقم **6**.

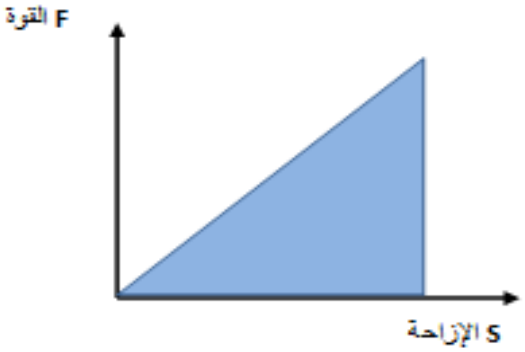
نقول بأن الشغل يساوي المساحة تحت المنحنى والذي يساوي

مساحة المثلث ، حيث أن مساحة المثلث $= \frac{1}{2}$ القاعدة × الإرتفاع

لذا نجد أن الشغل $= \frac{1}{2}$ القاعدة × الإرتفاع

$$w = \frac{1}{2}F.s$$

بالتعويض عن قيمة F بقانون هوك معادلة

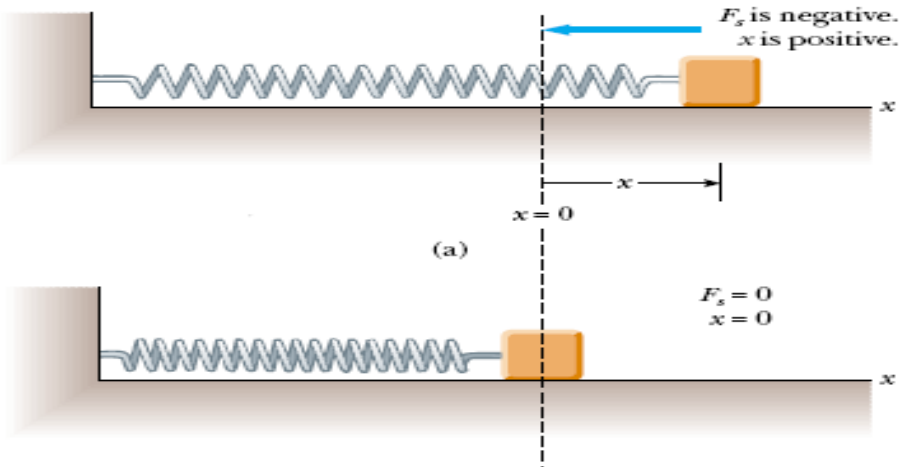


الشكل رقم (7)

$$w = \frac{1}{2}k\ \Delta s.\Delta s$$

$$w = \frac{1}{2}k\Delta s^2 \longrightarrow \textbf{(2)}$$

حيث أن المعادلة **2** تمثل الشغل المبذول في نابض.



الشكل رقم (8)

مثـــــــال (5):

عندما تعلق كتلة 3 كيلوغرام , بنهاية نابض رأسي يكون طول النابض 40 سنتمتر، ويزداد طول النابض إلى 50 سنتمتر بزيادة الكتلة إلى 5 كيلوغرام، ما هو معامل النابض؟

الحـــل:

$$F = K\Delta S$$

$$K = \frac{F}{S} = \frac{(3Kg)(9.8\,{}^{m}/_{s^2})}{0.1\text{m}} = 294\,{}^{N}/_{m}$$

الفصل الرابع

Energy الطاقة

4. 1. الطاقة

تعريف الطاقة :

هي المقدرة على القيام بشغل ما . وهي كمية (قياسية) وتقاس بوحدة (الجول)

1.1.4. أنواع الطاقة

الطاقة الكيميائية: وهي الطاقة التي تربط بين ذرات الجزيئ الواحد بعضها ببعض في المركبات الكيميائية. وتتم عملية تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية عن طريق إحداث تفاعل كامل بين المركب الكيميائي وبين الأكسجين لتتم عملية الحرق وينتج عن ذلك الحرارة. وهذا النوع من الطاقة متوفر في الطبيعة ، ومن أهم أنواعه النفط والفحم والغاز الطبيعي والخشب .

الطاقة الميكانيكية : وهي الطاقة الناتجة عن حركة الأجسام من مكان لآخر حيث أنها قادرة نتيجة لهذه الحركة على بذ ل شغل والذي يؤدي إلى تحويل طاقة الوضع (potential energy) إلى طاقة حركة (kinetic energy)، والأمثلة الطبيعية لهذا النوع من الطاقة هي حركة الرياح وظاهرة المد والجزر ، ويمكن أن تنشأ الطاقة الميكانيكية بتحويل نوع آخر من الطاقة إلى آخر ، مثل المروحة الكهربائية " تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية . "

الطاقة الحرارية : وتعتبر من الصور الأساسية للطاقة التي يمكن أن تتحول كل صور الطاقة إليها ، فعند تشغيل الألات المختلفة باستخدام الوقود ، تكون الخطوة الأولى هي حرق الوقود والحصول على طاقة حرارية تتحول بعد ذ لك إلى طاقة ميكانيكية أو إلى نوع من أنواع الطاقة . ولا تتوفر الطاقة الحرارية بصورة مباشرة في الطبيعة إلا في مصادر الحرارة الجوفية.

الطاقة الشمسية : وهي مصدر للطاقة لا ينضب ، ولكنها تصل إلينا بشكل مبعثر وتحتاج إلى تقنية حديثة (خلايا شمسية) لتجميعها والاستفادة منها ، وهي مصدر نظيف فلا ينتج عن استعماله أي غازات أو نواتج ضارة للبيئة كما هو الحال في انواع الوقود الأخرى .

الطاقة النووية : وهي الطاقة التي تربط بين مكونات النواة (البروتونات أو النيترونات) وهي تنتج نتيجة تكسر تلك الرابطة وتؤدي إلى إنتاج طاقة حرارية كبيرة جدا.

الطاقة الكهربائية : حيث لا يوجد مصدر طبيعي للكهرباء ، والسبب في ذ لك أن جميع المواد تكون متعادلة كهربائيا ، والطاقة الكهربائية لا تنشأ إ لا بتحويل نوع من أنواع الطاقة إلى طاقة كهربائية مثل تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية كما هو الحال في المولد الكهربائي ، أو تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية كما هو الحال في البطاريات.

الطاقة الضوئية : هي عبارة عن موجات كهرو مغناطيسية تحتوي كل منها على حزم من الفوتونات ، وتختلف الموجات الكهرو مغناطيسية في خواصها الفيزيائية باختلاف الأطوا ل الموجية ، ومن الأمثلة عليها الأشعة السينية : وهي عبارة عن أشعة غير مرئية ذات طول موجي قصير جدا وتستخدم في المجال الطبي ، وكذ لك أشعة جاما : وهي أشعة لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغناطيسية ولها القدرة على النفاذ وتعتبر من الأشعة الخطرة.

الطاقة الميكانيكية :

وتنقسم الى :

1- الطاقة الحركية :

وهي الطاقة المصاحبة للأجسام المتحركة .

اذا:

اي جسم يتحرك فانه يمتلك طاقة حركية تعتمد طرديا على كتلة الجسم ومربع سرعته . ونستطيع حسابها من العلاقة :

$$W = F.S = F.\frac{V^2}{2a} = \frac{F}{a}.\frac{V^2}{2} = m\frac{V^2}{2} = \frac{1}{2}mV^2 = Kinetic.Energy$$

2- الطاقة الكامنة او طاقة الوضع :

وهي الطاقة التي تنتج عن وضع الجسم . وتعطى بالعلاقة :

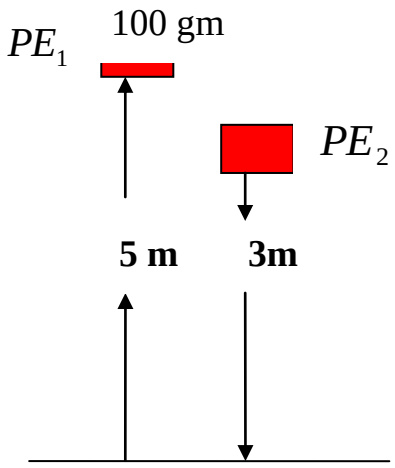
$$P.E = mgy$$

Potential Energy

وتعتمد على الارتفاع العمودي عن سطح الارض وكتلة الجسم . حيث نعتبر الطاقة الكامنة للأجسام عند سطح الارض صفر .

مثـــــــال (1):

للشكل المقابل ، احسب التغير في طاقة الوضع؟



أولا: لابد من النظر إلى الوحدات وتعديلها

$$m - kg - joul$$
$$cm - gm - Erg$$

$$PE_1 = mgy_1 = 0.1x10x5 = 5\,J$$
$$PE_2 = mgy_2 = 0.1x10x3 = 3J$$
$$\Delta PE = PE_2 - PE_1 = 3 - 5 = -2J$$

الشغل المبذول لرفع جسم من أسفل لأعلى (-) ولتحريك جسم من أعلى لأسفل فالشغل (+).هل العكس صحيح؟

مثـــــــال (2):

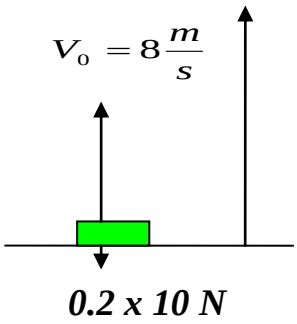
للشكل المقابل: احسب طاقة الحركة وطاقة الوضع في الحالات التالية:

(1) عند بدء انطلاق الجسم لأعلى

$$P.E = mgy$$

Potential Energy

$$W = F.S = F.\frac{V^2}{2a} = \frac{F}{a}.\frac{V^2}{2} = m\frac{V^2}{2} = \frac{1}{2}mV^2 = Kinetic.Energy$$



$$K.E = \frac{1}{2}x0.2x(8)^2 = 6.4\,J$$

$$P.E = 0$$

(2) عند وصول الجسم لأقصى ارتفاع

$$K.E = 0 \;\&\; P.E = 6.4\,J$$

(3) عندما يصل الجسم لارتفاع 2 m

$$P.E = mgh = 0.2x10x2 = 4\,J$$

$$K.E = 6.4 - 4 = 2.4\,J$$

2.1.4. قانون حفظ الطاقة الميكانيكية:

نجد أن ناتج جمع طاقة الحركة وطاقة الوضع لجسم، يسمى الطاقة الميكانيكية الكلية.لذا نجد أن الشغل الذي تنجزه كل القوى المؤثرة في الجسم (عدا قوة الجاذبية الأرضية) يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية الكلية :

وفي الحالة التي يكون فيها الشغل صفراً تصبح كالتالي:

$$w = \Delta kE + \Delta KP = 0$$

$$(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2) + (mgh_2 - mgh_1) = 0$$

ومن العلاقة الأخيرة نستنتج أنه كلما زادت طاقة حركة الجسم فإن ذلك يكون على حساب طاقة الوضع ، أي أن طاقة الوضع تقل. أما إذا نقصت طاقة الحركة فإن طاقة الوضع تزيد ، فالبندول المتحرك يمنة ويسرة تكون لكرته أقصى حركة عندما تكون في أخفض وضع لها ، أي وضع الاتزان(حيث تكون طاقة الوضع أقل ما يمكن) وعندما تتحرك لليمين (مثلاً) تبدأ طاقة الوضع بالازدياد ، ولكن على حساب طاقة الحركة ، أي أن طاقة الحركة تنقص ،وتستمر قيمة طاقة الحركة في النقصان حتى تصل الكره إلى أقصى اليمين ، وبذلك تمتلك أكبر طاقة وضع لها، ولكن حركتها في هذا الوضع تساوي صفرا .. وهكذا تتناوب طاقة الحركة والوضع في الازدياد والنقصان في أثناء حركة البندول البسيط يمنة ويسرة.

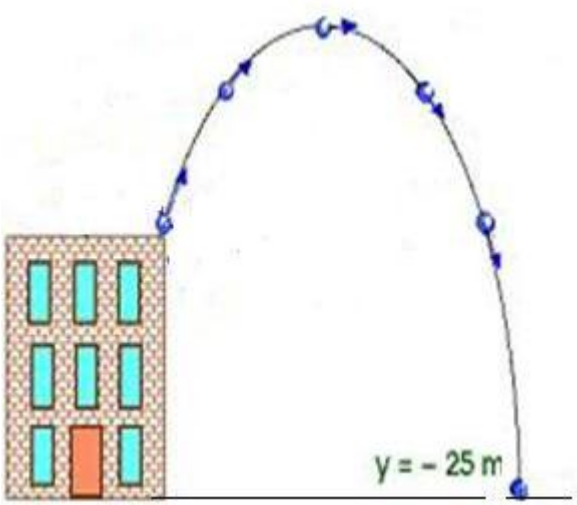
لذا نعرف الطاقة الميكانيكية الكلية بحاصل جمع طاقة الحركة وطاقة الوضع للجسم ومن هنا يمكن كتابة قانون الحفاظ على الطاقة الميكانيكية على النحو التالي :

(الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم ولكنها تتحول من صورة إلى أخرى)

مثـــــــال (3):

قذف جسم راسيا إلى اعلى بسرعة ابتدائية قدرها (0s/m3) ، احسب أقصى ارتفاع يصل اليه الجسم ، علما بان مقاومة الهواء مهملة ؟

الحـــــل:



$$\Delta kE = -\Delta P.E$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = -mgh$$

$$\frac{1}{2}m(30)^2 = -m \times 9.8 \times h$$

$$h = \frac{30^2.m}{-m \times 9.8 \times 2}$$

$$h = \frac{-900}{9.8 \times 2} = -46m$$

2.4. القدرة (Power)

القدرة تعرف على انها معدل الزمن لانتقال الطاقة ، لو فرضنا انه طبقت قوة خارجية الى هدف معين واذا كان الشغل يساوي ΔW في فترة زمنية Δt وعليه يكون معدل القدرة يساوي

$$P_{ave.} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

وعليه تكون القدرة تساوي

$$P = {}_{\Delta t} \underrightarrow{Lim}_{0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$$

$$P = \frac{dW}{dt} = F.\frac{ds}{dt} = F.y$$

وحدات القدرة هي جول على الثانية والتي تسمى واط

وكذلك تقاس القدرة بالحصان حيث ان (حصان = 764 واط)

1.2.4. القدرة الميكانيكية

هي حاصل ضرب السرعة في القوة

$$\boldsymbol{P.\ W = F.v} \qquad [N.(m/s)]$$

F: force **v:** velocity

N: newton **m/s:** meter per second

2.2.4. القدرة الكهربائية

هي حاصل ضرب الفولتية في التيار

$$\boldsymbol{P.\ W = U.I} \qquad [V.A]$$

P: *power* **U:** voltage

V: volt **I:** current **A:** ampere

3.4. الكفاءة

هي نسبة بين القدرة المستفادة منها على القدرة المستخدمة لتشغيل اي محرك وليس لها وحدات ودائما تعطى كنسبة بالمئة.

والكفاءة الميكانيكية هو مصطلح يستخدم لمعرفة حجم الطاقة المستفاد منها من أصل الطاقة الإجمالية.

نستطيع حساب الكفاءة الميكانيكية من خلال المعادلة التالية:

- **كمية الطاقة المستفاد منها مقسومة على إجمالي الطاقة المستخدمة**

من المستحيل أن تتعدى قيمة الكفاءة الميكانيكية الواحد أي ١٠٠ ٪ فإذا تعدت الواحد هذا يعني أننا نحصل على طاقة من عدم وهذا مخالف لكل القوانين الفيزيائية، كما أنه أيضاً من المستحيل الوصول إلى قيمة كفاءة ميكانيكية تساوي الواحد فلابد أن يكون هناك خسارة بالطاقة إما على شكل احتكاك أو على شكل حرارة أو بسبب عدم وجود التكنولوجيا الكافية، كما أن كل تغير في حالة الطاقة يؤدي إلى الهدر وبالتالي تدني كمية الطاقة المستفاد منها، فإذا أخدنا محرك احتراق داخلي كمثال نجد بأن هناك خسارة للطاقة على شكل حرارة الناتجة أولاً عن عملية الاحتراق ثانياً نتيجة الاحتكاك بين القطع المعدنية وأيضاً سنجد خسارة للطاقة عند تحولها من طاقة كيميائية (نفط) إلى حركية بسبب عدم الاحتراق بشكل كامل الناتج إما بسبب نقص الأكسجين أو أي عنصر أخر.

Efficiency

Efficiency is the ratio between the useful power delivered by the motor and the power that you supply to the engine. In most energy conversions energy gets lost (usually in the form of heat). We call this lost energy “losses”.

$$\eta = P_n / P_t \quad [W/W]$$

With $\mathbf{P_n}$: useful power output
$\mathbf{P_t}$: total power input
Efficiency has no unit and is usually expressed in %.
We calculate the efficiency of the LEGO engine by dividing the useful mechanical power output by the electrical power input.

$$\eta = P_{mechanical} / P_{electrical}$$

مثـــــــال (4):

حاصدة كتلتها تزن 9000 كيلوغرام تسير على طريق مرتفع عن الأفق بزاوية قدرها 20 درجة فإذا سارت الحاصدة مسافة 200 متر في زمن قدره 2 دقيقة احسب مايلي:

1- الشغل المنجز للحاصدة 2- قدرة الحاصدة خلال هذه الفترة 3- كفاءة الحاصدة اذا علمت ان القدرة المجهزة تساوي 150 حصان

الحل

الزمن بالثواني = 2 *60 = 120 ثانية

$$W_{Gravity} = -mgx\sin\theta = -9000 \times 9.81 \times 200 = -6039392\ J = -6039\ KJ$$

الشغل المنجز للحاصدة

$$\because W_{Har.} = -W_g = -(-6039) = 6039 KJ$$

قدرة الحاصدة خلال هذه الفترة

$$P_{Har.} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{6039}{120} = 50.32\ KJ/s = 50.32\ KWatt$$

كفاءة الحاصدة اذا علمت ان القدرة المجهزة تساوي 150 حصان

القدرة المجهزة بالكيلوواط = 150 * 0.764 = 114.6 كيلوواط

$$\eta = P_n / P_t$$

η = 50.32 / 114.6 * 100% = 43.9 %

4.4. الأسئلة

س1: عرف كلاً مما يأتي :

ج1:

الشغل : القدرة على تحريك ما مسافة ما يفعل قوة تذل على الجسم .

الشغل (W) = F × الإزاحة (d) .

يقاس الشغل بوحدة : نيوتن × متر (الجول).

الطاقة : المقدرة على إنجاز شغل ما .

وحدة الطاقة هي : الجول .

الطاقة الحركية : الطاقة التي يملكها الجسم (طاقة الجسم الناتجة عن حركته)

الطاقة الكامنة : هي الطاقة التي يختزنها الجسم . أي أنها قدرة الجسم على إنجاز شغل نتيجة وجوده في مكان خاص أو اتخاذ وضعاً خاصاً أو حالة خاصة .

الطاقة الكامنة الناشئة عن الجاذبية الأرضية : هي الطاقة التي تكتسبها الأجسام بسبب ارتفاعها عن الأرض مسافة ما .

قانون حفظ الطاقة : الطاقة لا تفنى ولا تخلق من العدم ، ولكن تتحول من شكل إلى آخر ، وتظل محفوظة .

س2: الفرق بين العزم والشغل

العـــــزم :

يعطى العزم بالعلاقة التالية :

$$T = F \times d = F\, d \sin \theta$$

S : هي المسافة من النقطة أ الى النقطة م

تسمى ذراع القوة .

نلاحظ التالي من خلال القانون :

1. العزم عبارة عن حاصل الضرب الاتجاهي للقوة (ق) وذراع القوة (ف) اي انه كمية اتجاهية .
2. اعلى قيمة للعزم عندما $\theta = 90$ اي ان القوة وذراع القوة متعامدين .
3. يقاس بوحدة نيوتن × متر (متعامدة).
4. لايشترط في العزم ان يتحرك الجسم بواسطة القوة (F) .

الشـــغل :

يعطى الشغل بالعلاقة التالية :

$$W = F \,.\, S \cos \theta$$

نلاحظ التالي من القانون :

1. الشغل عبارة عن حاصل الضرب القياسي للقوة (F) والازاحة التي تحدثها (S) اي انه كمية قياسية .
2. اعلى قيمة للشغل عندما θ = صفر اي ان القوة والازاحة متوازيتان .
3. يقاس بوحدة : نيوتن × متر (متوازية) تسمى جول .
4. يشترط للقوة ان تنتج شغل عندما تزيح الجسم (تحركه).

س3: ما هي العلاقة بين الطاقة والشغل ؟ وضحها ؟

ج3: الشغل والطاقة مصطلحان ، متداخلان ، فالطاقة تنتج شغلاً كما أنها تنشأ عن الشغل .

وحدة قياس الشغل هي وحدة قياس الطاقة وهي الجول .

س4: اذكر أهم صور الطاقة مع إعطاء أمثلة ؟

ج4: 1ـ طاقة كامنة : الأجسام المرنة مثل النابض وخيط المطاط تختزن طاقة عند بذل شغل عليها ، تسمى طاقة كامنة بسبب تغير طرأ على شكلها . والأجسام التي في مجال الجاذبية الأرضية تملك طاقة كامنة .

2ـ طاقة حركية : يملكها الجسم المتحرك (السيارة المتحركة) .

3ـ طاقة حرارية : هي الطاقة التي تملكها الأجسام بتسخينها (مثل الطاقة التي يمتلكها الغاز الساخن) .

4ـ طاقة صوتية : عند حدوث صوت عالي الشدة ، مثل مرور طائرة على ارتفاع منخفض نلاحظ اهتزاز زجاج النوافذ والأبواب .

5ـ طاقة ضوئية : ضوء الشمس .

6- طاقة كهربائية .

7- طاقة نووية .

س5: ما هي العوامل المؤثرة في مقدار الطاقة الحركية لجسم متحرك ؟ وضح ذلك ؟

ج5: 1- سرعة الجسم : كلما زادت سرعة الجسم زادت طاقته الحركية (علاقة طردية) .

2- كتلة الجسم : كلما كبرت كتلته زادت طاقته الحركية .

س6: ما هي العوامل التي يعتمد عليها الشغل ؟

ج6: 1- مقدار القوة المبذولة .

2- مقدار الإزاحة الناتجة بشرط أن تكون الإزاحة في اتجاه القوة المبذولة .

$W = F$ (نيوتن) $\times$ S (متر) .

س7: ما هي العوامل التي تعتمد عليها الطاقة الكامنة الناشئة عن الجاذبية الأرضية (الطاقة التي تكسبها الأجسام بسبب ارتفاعها عن الأرض مسافة ما) .

ج7: 1- **ثقل الجسم** : يرمز له بالرمز (W) ، كلما زاد ثقل الجسم زادت طاقته .

2- ارتفاعه عن سطح الأرض : يرمز له بالرمز (H) كلما زاد ارتفاعه زادت طاقته (تناسب طردي)

الطاقة الناشئة عن رفع الجسم $= W \times H$

س8: عرف الاحتكاك ؟ وكيف يمكن التغلب عليه ؟ وضح إجابتك ؟

ج8: **الاحتكاك** : قوة غير منظورة مساوية للقوة المحركة في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه ، تعمل على إيقاف الأجسام المتحركة وتتسبب في استهلاك الطاقة .

التغلب على الاحتكاك : ببذل شغل أي طاقة تتحول إلى طاقة حرارية تسخن الأجسام المحتكة ببعضها . واستنفاذ شكل من أشكال الطاقة في التغلب على الاحتكاك لا يعني ضياع هذه الطاقة أو انعدامها ، بل تحولها إلى أشكال أخرى .

س9: صندوق ثقله 8 نيوتن ، مزيد رفعه مسافة 5 أمتار عن سطح الأرض في مقدار الشغل الذي يجب إنجازه ؟

ج9: الحل : $W = F$ (نيوتن) $\times$ S (متر) .

$W = 8 \times 5 = 40$ جول

س10: أنجزت قوة شغلاً قدره 250 جولاً لسحب صندوق على سطح خشن مسافة 5 أمتار ، ما مقدار قوة الاحتكاك ؟

ج10: الحل : W (نيوتن) = F × S (متر) .

$$5 \times F = 250$$

$$F = 250 = 50 \text{ نيوتن}$$

س11: جسم ثقله 50 نيوتن رفع مترين عن سطح الأرض .

(ب) ما مقدار الطاقة التي اكتسبها . (أ) ما مقدار الشغل المبذول لرفعه .

ج11: أ- $W = F \times S = 50 \times 2 = 100$ جول

ب ـ مقدار الطاقة التي اكتسبها = 100 جول .

س12: أيها أصعب : رفع جسم يزن 50 نيوتن إلى ارتفاع 3 أمتار ، أم رفع جسم يزن 40 نيوتن إلى 4 أمتار ؟ علل إجابتك ؟

ج12: الحل : (1) الشغل المبذول على 50 نيوتن $= F \times S = 50 \times 3 = 150$ جول .

(2) الشغل المبذول على 40 نيوتن $= F \times S = 40 \times 4 = 160$ جول .

أي أن رفع الجسم في الحالة الثانية أصعب من الحالة الأولى .لزيدة الشغل المبذول في الحالة الثانية .

س13: عندما تطرق مسمار عدة طرقات قوية ، ثم تلمسه ، تجده ساخناً فما سبب ارتفاع حرارته ؟ اشرح إجابتك على ضوء تحولات الطاقة ؟

ج13: إن طرق المسمار بالطريقة يعني أننا نبذل عليه طاقة ميكانيكية ، ويتحول جزء من هذه الطاقة إلى طاقة حرارية في المسمار فترفع درجة حرارته ونجده ساخناً عن اللمس .

س14: عندما تنفخ عجلة (كفر) دراجتك بسرعة ، تشعر أن طرف المنفاخ الموصول بالعجلة يصبح ساخناً ، اذكر بعض تحولات الطاقة التي حصلت وتسبب في سخونة طرف المنفاخ ؟

ج14: يتحول جزء من الطاقة الميكانيكية المبذولة على مكبس المنفاخ إلى طاقة حرارية تسخن الهواء المضغوط ، والذي يسخن بدوره طرف المنفاخ .

س15: سم جسماً يمتلك طاقة كامنة وطاقة حركية في الوقت نفسه؟

ج15: كل جسم يرتفع إلى أعلى أو يسقط بفعل الجاذبية الأرضية يملك طاقة كامنة وطاقة حركية في الوقت نفسه ، شرط ألا يكون قد وصل إلى النقطة العليا أو الدنيا في مساره .

س16: رفع جسم ثقله 80 نيوتن إلى ارتفاع 10 ثم يترك ليسقط باتجاه الأرض.

أ ـ ما شكل طاقته وهو على ارتفاع 10 م ؟

ب ـ احسب كلاً من طاقته الكامنة وطاقته الحركية لحظة ارتفاعه 7م عن سطح الأرض ؟

ج ـ فشكل طاقته في اللحظة التي تسبق ملامسته سطح الأرض مباشرة ؟ وما مقدار هذه الطاقة ؟

ج16: (أ) طاقة كامنة .

(ب) طاقته الكامنة وهو على ارتفاع 7م عن سطح الأرض = 80 × 7 = 560 جول .

مجمل الطاقة = الطاقة الكامنة + الطاقة الحركية .

800 = 560 + الطاقة الحركية .

الطاقة الحركية = 800 _ 560 = 249 جول .

(ج) في اللحظة التي تسبق ملامسة الجسم للأرض تكون حركية ومقدارها 800 جول ، أى مساوية لطاقته الكامنة التي تبدأ بها .

س17: سم جسماً يمتلك طاقة كامنة فقط ؟

ج17: الجسم المعلق بخيط ولا يلامس الأرض ، أي جسم مرتفع عن سطح الأرض ولا يتحرك ، يمتلك طاقة كامنة فقط .

س18: سقط جسمان متشابهان في الشكل ، وكتلة كل منها 5 كجم ، بشكل عامودي على أرض موحلة ، فأحدث الأول حفرة عمقها 14 سم ، وأحدث الثاني حفرة عمقها 7 سم ؟

ج18: يعود الاختلاف في عمق الحفرتين إلى اختلاف الارتفاعين اللذين سقط منهما الجسمان ، فالجسم الذي أحدث الحفرة الأعمق سقط من الارتفاع الأعلى ، وبذلك تكون طاقته الكامنة الناشئة عن الجاذبية الأرضية هي الكبرى .

س19: أقرن المصطلحات والعبارات في العمود الأول مع ما يناسبها من العمود الثاني :

أ ـ الجول	1ـ القوة × المسافة
ب ـ الطاقة الحركية .	2ـ القدرة على الشغل
ج ـ الشغل .	3ـ وحدة قياس الشغل والطاقة
د ـ قانون حفظ الطاقة .	4ـ الطاقة لا تفنى
ه ـ الاحتكاك .	5ـ ثقل الجسم وارتفاعه عن سطح الأرض
و ـ الطاقة الكامنة .	6ـ طاقة الجسم الناتجة عن حركته
ز ـ الطاقة .	7ـ طاقة الجسم نتيجة وضع خاص أو حالة خاصة
ح ـ العوامل التي تؤثر على الطاقة .	8ـ يتسبب في هدر الطاقة الناشئة عن الجاذبية الأرضية

ج19:

أ : 3

هـ : 8

ب : 6

و : 7

ج : 1

ز: 2

د : 4

ح : 5

س20: ساحبة كتلتها تزن 4000 كيلوغرام تسير على طريق مرتفع عن الأفق بزاوية قدرها 30 درجة فإذا سارت الساحبة مسافة 500 متر في زمن قدره 4 دقيقة احسب مايلي:

1- الشغل المنجز للساحبة 2- قدرة الساحبة خلال هذه الفترة 3- كفاءة الساحبة اذا علمت ان القدرة المجهزة تساوي 120 حصان

س21 / محور مربع صلد من الفولاذ مركبة عليه ثلاثة تروس طول ضلعه *(Smm40=)* وتؤثر عليه ثلاثة عزوم كما في الشكل

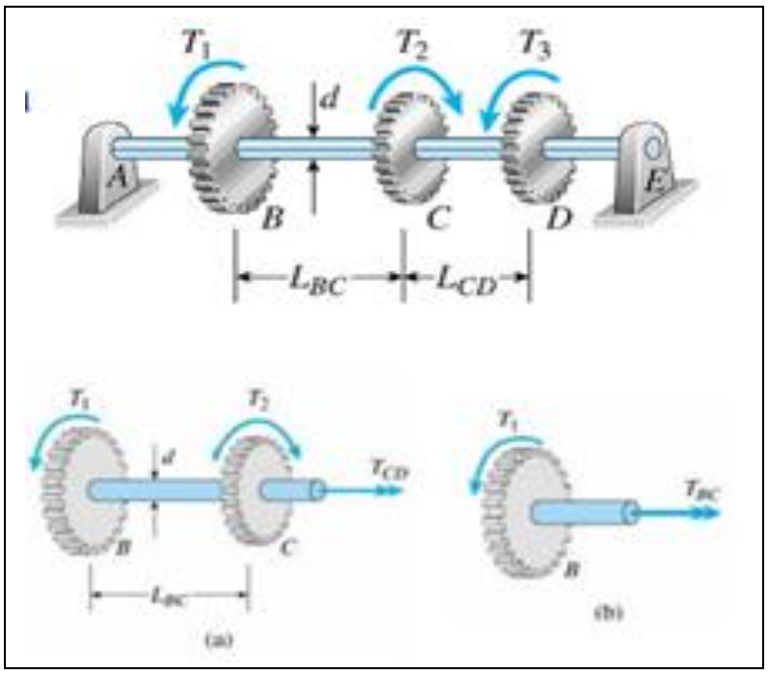
أذا علمت ان قيم العزوم والاطوال كما يلي:

$$T_1 = 300\ N.m \quad ; \quad T_2 = 400\ N.m \quad ; \quad T_3 = 200\ N.m$$

$$G = 80\ MPa \quad ; \quad L_1 = 500mm \quad ; \quad L_2 = 400mm$$

اوجد مايلي : 1- اعلى اجهاد قص في كل جزء

2- زاوية (Φ_{BD})



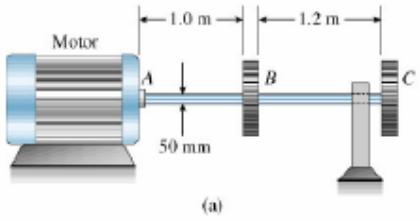
س22 /

a solid steel shaft ABC, $d = 50$ mm

motor A transmit 50 kW at 10 Hz

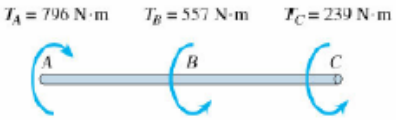
$P_B = 35$ kW, $P_C = 15$ kW

determine τ_{max} and ϕ_{AC}, $G = 80$ GPa



(a)

$$T_A = \frac{P_A}{2\pi f} = \frac{50 \times 10^3}{2\pi\, 10} = 796 \text{ N-m}$$



(b)

similarly $P_B = 35$ kN $T_B = 557$ N-m

$P_C = 15$ kN $T_C = 239$ N-m

then $T_{AB} = 796$ N-m $T_{BC} = 239$ N-m

shear stress and angle of twist in segment AB

$$\tau_{AB} = \frac{16\, T_{AB}}{\pi\, d^3} = \frac{16 \times 796}{\pi\, 50^3} = 32.4 \text{ MPa}$$

$$\phi_{AB} = \frac{T_{AB}\, L_{AB}}{G\, I_p} = \frac{796 \times 1.0}{80 \times 10^9 \dfrac{\pi}{32} 0.05^4} = 0.0162 \text{ rad}$$

shear stress and angle of twist in segment BC

$$\tau_{BC} = \frac{16\, T_{BC}}{\pi\, d^3} = \frac{16 \times 239}{\pi\, 50^3} = 9.7 \text{ MPa}$$

$$\phi_{AB} = \frac{T_{BC}\, L_{BC}}{G\, I_p} = \frac{239 \times 1.2}{80 \times 10^9 \dfrac{\pi}{32} 0.05^4} = 0.0058 \text{ rad}$$

$\therefore$ $\tau_{max} = \tau_{AB} = 32.4$ MPa

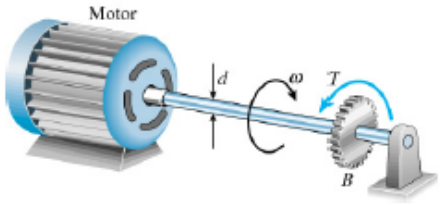
$\phi_{AC} = \phi_{AB} + \phi_{BC} = 0.0162 + 0.0058 = 0.022 \text{ rad} = 1.26^\circ$

س23/

$P = 30$ kW, $\tau_{all} = 42$ MPa

(a) $n = 500$ rpm, determine d

(b) $n = 4000$ rpm, determine d



(a) $$T = \frac{60\,P}{2\,\pi\,n} = \frac{60 \text{ x } 30 \text{ kW}}{2\,\pi \text{ x } 500} = 573 \text{ N-m}$$

$$\tau_{max} = \frac{16\,T}{\pi\,d^3} \qquad d^3 = \frac{16\,T}{\pi\,\tau_{all}} = \frac{16 \text{ x } 573 \text{ N-m}}{\pi \text{ x } 42 \text{ MPa}} = 69.5 \text{ x } 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$d = 41.1 \text{ mm}$$

(b) $$T = \frac{60\,P}{2\,\pi\,n} = \frac{60 \text{ x } 30 \text{ kW}}{2\,\pi \text{ x } 4000} = 71.6 \text{ N-m}$$

$$d^3 = \frac{16\,T}{\pi\,\tau_{all}} = \frac{16 \text{ x } 71.6 \text{ N-m}}{\pi \text{ x } 42 \text{ MPa}} = 8.68 \text{ x } 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$d = 20.55 \text{ mm}$$

ملخص الفصل

شغل قوة ثابتة	$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} = Fs\cos\phi$
شغل قوة متغيرة	$W = \int_A^B \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = \int_A^B F ds \cos\phi$
الطاقة الحركية	$K = \frac{1}{2}mv^2$
طاقة الوضع لقوة الجاذبية	$U(y) = mgy$
طاقة الوضع لقوة الإرجاع	$U(x) = \frac{1}{2}kx^2$
نظرية الشغل و الطاقة	$W_T = K_2 - K_1$
الطاقة الميكانيكية	$E = K + U$
حفظ الطاقة للقوى المافظة	$\Delta E = 0$
حفظ الطاقة للقوى غير المحافظة	$\Delta E = W'$
طاقة الوضع في مجال الجاذبية	$U(r) = -Gm_1m_2/r$
الطاقة الكلية في مجال الجاذبية	$E = \frac{1}{2}mv^2 - GmM/r$
سرعة الإفلات	$v_{esc} = \sqrt{2g_R R}$
القدرة المتوسطة	$P_{av} = \Delta W/\Delta t$
القدرة اللحظية	$P = dW/dt$
مردود الآلة	$e = W_{out}/W_{in}$

الفصل الخامس

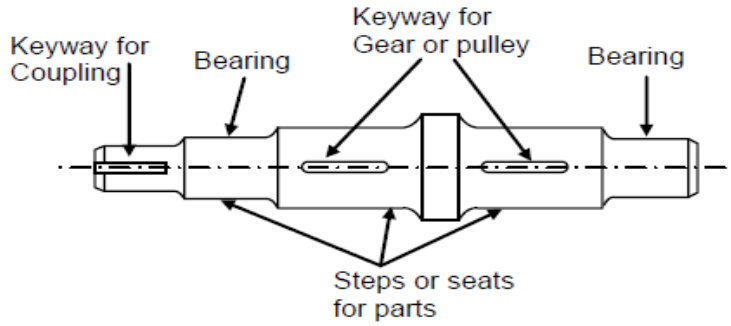
أعمدة الدوران shafts

5. أعمدة الدوران Shafts

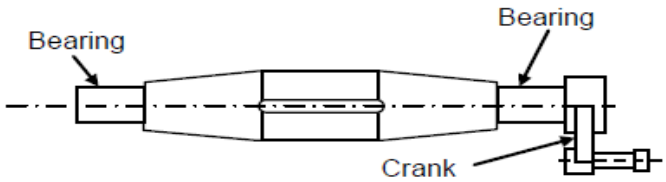
1.5. أشكال أعمدة الدوران

الشكل رقم (1) يبين أهم أنواع محاور نقل القدرة

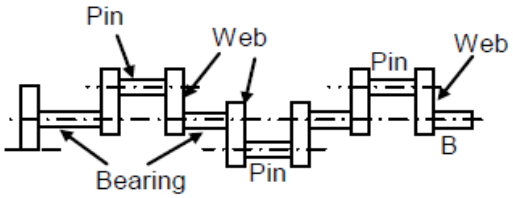
a- عمود متدرج
b- عمود مرفق احادي
c- عمود مرفق متعدد
d- عمود مرن
e- اعمدة مفصلية



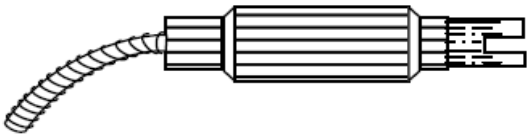
(a) A Stepped Shaft



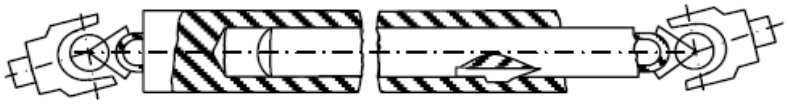
(b) A Single Crank Shaft



(c) Multiple Crank Shaft



(d) Flexible Shaft



(e) Articulated Shaft

شكل رقم (1) اهم انواع اعمدة الدوران

2.5. المواد المستخدمة في صنع الاعمدة والمحاور

Material Used For Manufacturing Shafts and Axles

تصنع أعمدة محاور وماكينات الانتاج وألات الاحتراق الداخلى والألات ذات القدرات الكبيرة من مواد تتميز بمواصفات متانة عالية بعد معالجتها حراريا بهدف زيادة مقاومتها للتأكل الميكانيكى ،ويتوقف اختيار المواد التى تصنع منها الأجزاء الميكانيكية المختلفة على مدى تحمل هذه المواد للاجهادات المختلفة لذلك يستخدم:

1- الصلب الكربونى : يستخدم فى صنع الأعمدة والمحاور حيث يتميز بمواصفات تشغيلية عالية.
2- الصلب السبائكى : يستخدم فى صنع الأعمدة والمحاور ذات التحميل العالى ، الأعمدة المرفقية.
3- حديد الزهر الممطولى العالى المتانة: يستخدم فى صنع المحاور.

4- الفولاذ الطري، الفولاذ الكربوني أو سبائك الصلب مثل (النيكل، النيكل والكروم أو الفولاذ الكروم الفاناديوم) 5- الاعمدة والمحاور التجارية عادة تصنع من الصلب الكاربوني المنخفض بالدرفلة عل الساخن. والمواصفات التي تتميز فيها هذه المعادن

ان تكون ذات مقاومة عالية
ان يكون لها القدرة على تحمل المعالجات الحرارية
ان تكون مقاومة للتاكل والسوفان
ان يكون لها القدرة على مقاومة الصدمات
ان تكون ذات قدرة تشغيلية عالية وذات عمر طويل

3.5. الأشكال التصميمية للأعمدة والمحاور المجوفة Shapes of Hollow Shafts and Axles

تشكل الأعمدة والمحاور على هيئة قضبان اسطوانية ذات أقطار متدرجة لزيادة قدرتها على مقاومة الاجهادات الديناميكية المختلفة وأبسطها التى تشغل بصورة قضبان اسطوانية ذات قطر واحد والتى تعتبر من الأمور النادرة حيث تزيد من صعوبة تثبيت الأجزاء المركبة عليها كما تجعل عمليات فك وتجميع الوحة أكثر تعقيدا بالاضافة لمقاومتها الضعيفة للأحمال الديناميكة المعرضة لها أثناء أدائها الوظيفى .

4.5. الأعمدة والمحاور المجوفة The Hollow Shafts and Axles

العمود الأجوف أقوى كثيرا فى مقاومته لعزم الالتواء (Torsion) والانحناء (Bending) من العمود المصمت الذى له نفس الوزن وغالبا ما تكون خفة الوزن أمرا ضروريا كما فى محركات الطائرات ، وتنتج الأعمدة والمحاور لتكون مصمتة أو مجوفة ، وقد لجأت دور الصناعة الى انتاج الأعمدة والمحاور المجوفة التى انتشر استخدامها فى شتى المجالات الهندسية مثل محاور أعمدة المخارط والفرايز وأجهزة نقل الحركة فب المكائن والآلات الزراعية المختلفة .

5.5. مميزات الأعمدة والمحاور المجوفة :

Advantages of Hollow Shafts ad Axles

1- خفة الوزن .
2- سهولة تزليق الأجزاء المختلفة للألة من خلال مرور الزيت بتجوف الأعمدة والمحاور .
3- تثبيت أجهزة التحكم الدقيقة داخل تجويف الأعمدة والمحاور .

6.5 القوى المؤثرة على الأعمدة والمحاور Forces Affecting Shafts and Axles

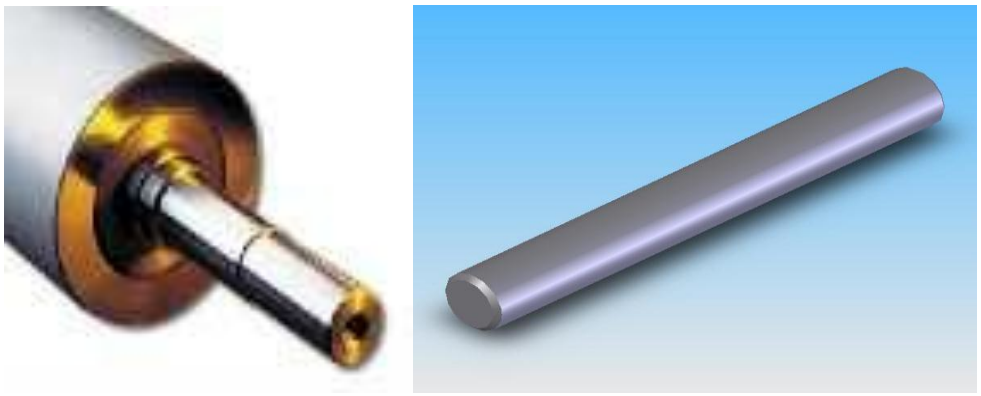
تستخدم الأعمدة فى نقل عزم الدوران وبذلك يكون الحمل الواقع عليها أساسا هو :

1. اجهاد لى (Torsion Stress).
2. كما تتعرض لاجهاد ثنى (Bending Stress) نتيجة لوزن التروس وبكرات السيور والحدافات وغيرها
3. القدرات التى تنقلها .
4. وزن الأعمدة نفسها .

7.5 أنواع الأعمدة : Kinds of Shafts

1.7.5 أنواع اعمدة الدوران

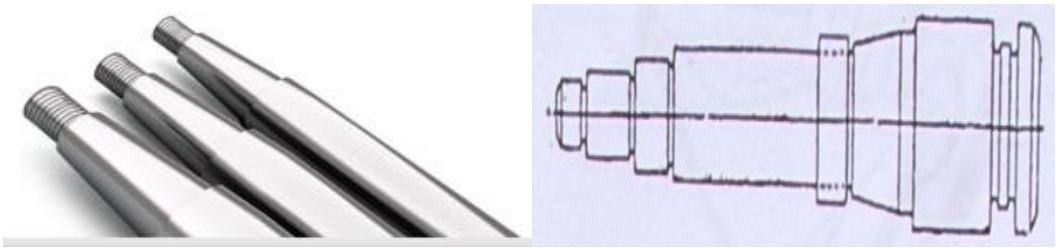
1. أعمدة اسطوانية : Cylindrical Shafts



شكل رقم (2) يبين الاعمدة الاسطوانية

العمود الاسطوانى المستقيم من أبسط أنواع الأعمدة وانتاجه من الأمور النادرة حيث يزيد من صعوبة تثبيت الأجزاء المركبة عليه كما تجعل عمليات الفك والتركيب أكثر تعقيدا

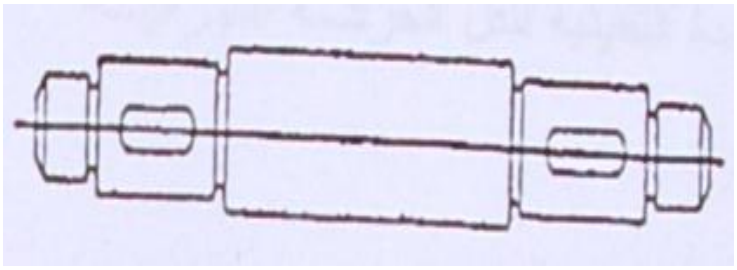
2. أعمدة بتدريجات مخروطية : Conical Graded Shafts



شكل رقم (3) يبين اعمدة بتدرجات مخروطية

تستخدم الأعمدة ذات الأقطار أو التدرجات المخروطية كأعمدة دوران بالمخارط والفرايز وغيرها من ماكينت التشغيل حيث تمتاز بسهولة تثبيت الأجزاء المركبة عليها بالاضافة لقدرتها على امتصاص الاجهادات الديناميكية الناتجة عن أدائها الوظيفى الشاق.

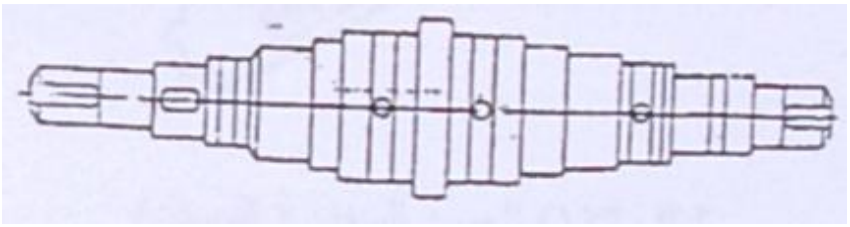
3. أعمدة بأقطار متدرجة: Graded Diameter Shafts



شكل رقم (4) يبين اعمدة باقطار متدرجة

تستخدم الأعمدة ذات الأقطار المتدرجة كأعمدة دوران بالمخارط والفرايز وغيرها من ماكينات التشغيل حيث تثبت الركائز والتروس المختلفة على الأقطار المتدرجة بالاضافة لقدرتها العالية على امتصاص الاجهادات الديناميكية الناتجة عن أدائها الوظيفى.

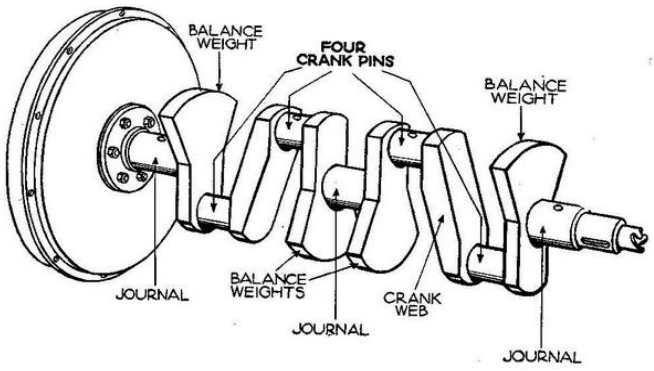
4. أعمدة بأقطار متدرجة متعددة: Multi-Graded Diameters Shafts



شكل رقم (5) يبين اعمدة باقطار متدرجة متعددة

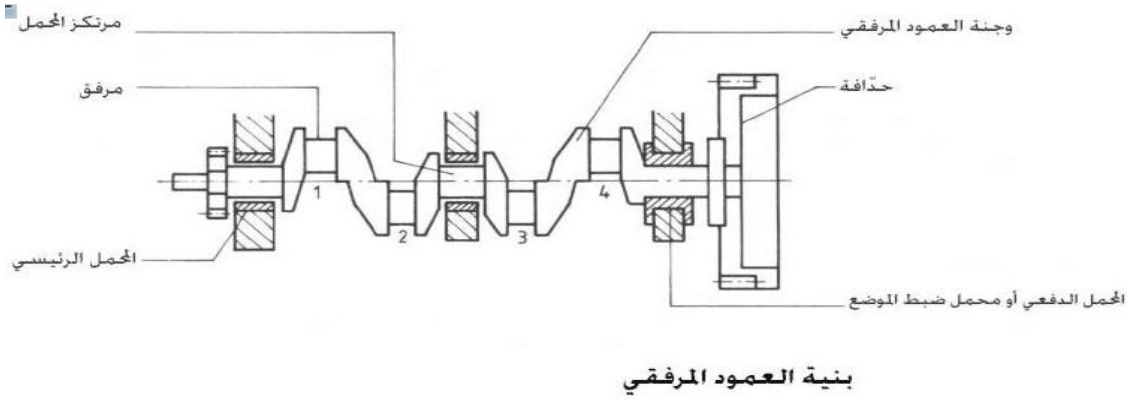
تصمم الأعمدة بأقطار اسطوانية متعددة لاستخدامها كأعمدة دوران بالتربينات لنقل القدرات العالية وذلك لتعدد مناطق الارتكاز ، وقدرتها على امتصاص الاجهادات الديناميكية.

2.7.5 الأعمدة المرفقية: Crank Shafts



شكل رقم (6) يبين الاعمدة المرفقية

عمود المرفق هو عمود يحمل مجموعة أقطار غير مركزية أى بمحاور مختلفة تقع حول المحور الأساسى ، ويستخدم فى جمع محركات الاحتراق الدخلى والمكابس الترددية لتحويل الحركة الترددية الى حركة دورانية أو بالعكس كما يوضح (شكل) وتصنع الأعمدة المرفقية من الصلب السبائكى عالى الكربون لقدرته الكبيرة على مقاومة البرى (Mechanical Wear)ومتانته الكبيرة التى تساعده على امتصاص الاجهادات الميكانيكية .

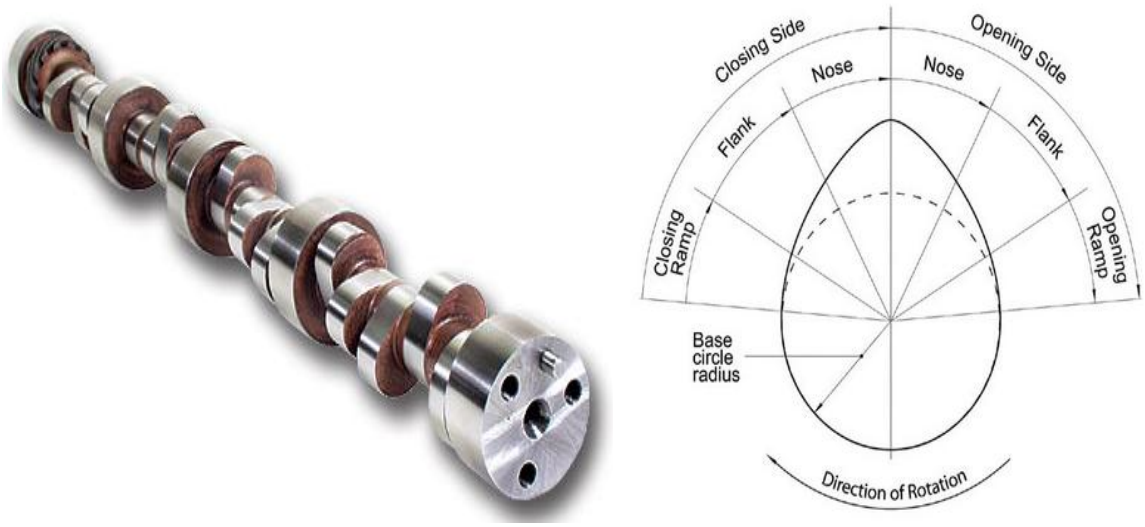


بنية العمود المرفقي

شكل رقم (7) يبين اجزاء العمودي المرفقي

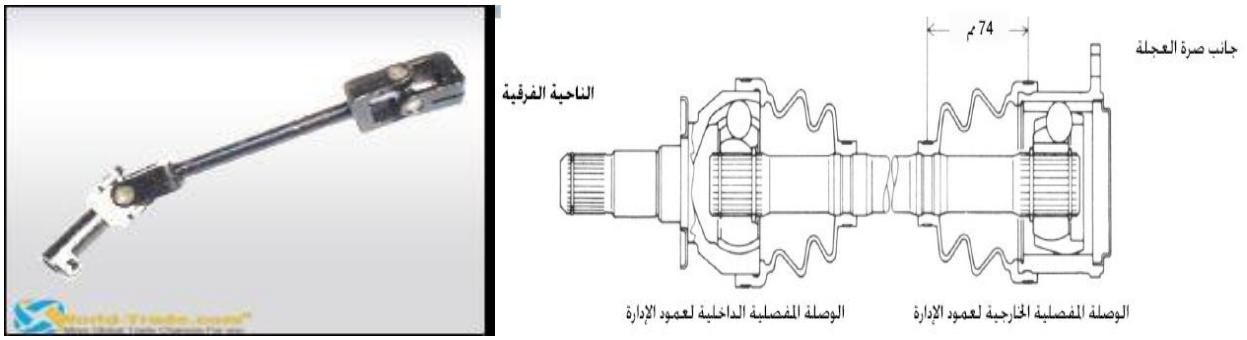
3.7.5 أعمدة الحدبات : Cam Shafts

يسمى أيضا عمود الكامات وهو عبارة عن عمود اسطوانى موجود به حدبات بيضاوية الشكل بعدة مواضع وباتجاهات مختلفة ، وتصنع الأعمدة ذات الحدبات من الصلب السبائكى ويعمل عمود الحدبات على تحويل الحركة الدورانية الى حركة ترددية كما فى آلات الاحتراق الداخلى للتحكم فى حركة فتح وغلق صمامات التغذية وعوادم الاحتراق.



شكل رقم (8) يبين أعمدة الحدبات

4.7.5 الأعمدة المتداخلة : Interference Shafts



شكل رقم (9) يبين الاعمدة المتداخلة

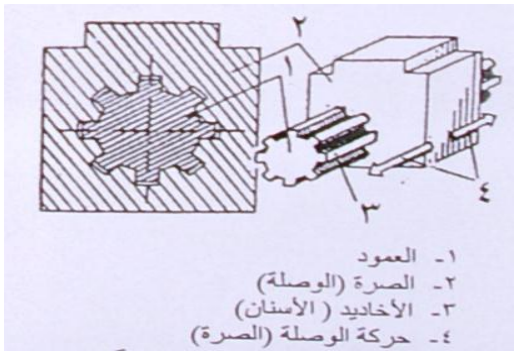
5.7.5 الأعمدة المرنة: Flexible Shafts

تستخدم لنقل الحركة بين الأجزاء التى تقع محاور دورانها فى وضع يستحيل الربط بينهما أو فى الحالات التى يتغير فيها المواضع النسبية بين هذه المحاور أثناء التشغيل كما يستخدم فى العمليات الميكانيكية التى يصعب تشغيلها بالطرق العادية مثل عمليات البرادة والثقب والتجليخ ...الخ كما تستخدم فى الأجهزة الطبية بعيادات الأسنان .

شكل رقم (10) يبين الاعمدة المرنة

6.7.5 الأعمدة المخددة : Splinted Shafts

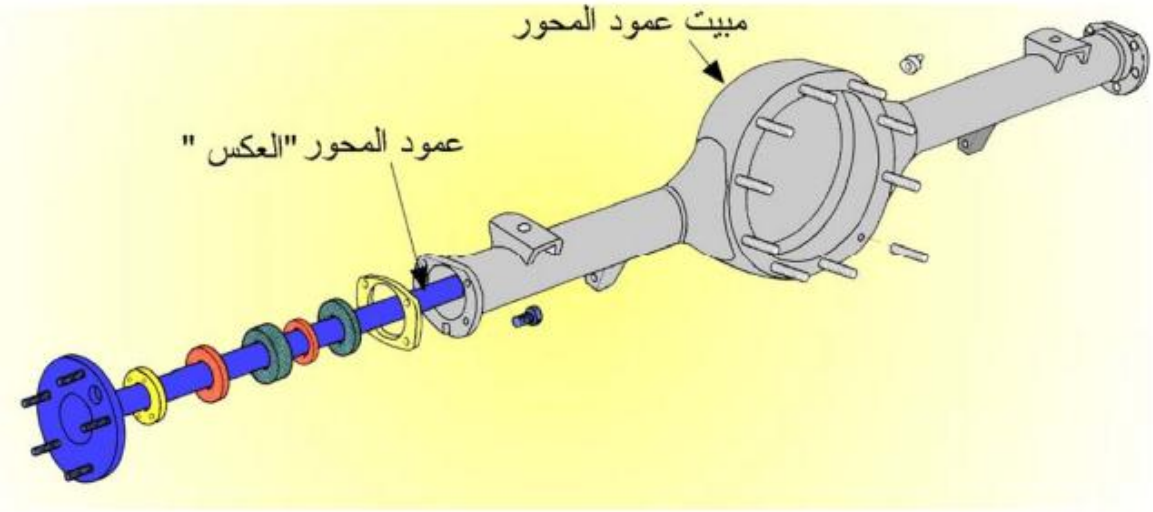
تسمى أيضا بالأعمدة المسننة وهى عبارة عن عمود اسطواني مشكل على سطحه الخارجي عدة أسنان طولية تعمل بمثابة خوابير لنقل عزم الدوران الى الجزء المقابل لها وهى مشكلة من الداخل بنفس الشكل ، ويتراوح عدد الأسنان من (20:16) وذلك حسب قطر العمود وتستخدم عادة وصلة مخددة (مسننة) تسمى صرة للسماح بوجود حركة محورية نسبية بين العمود المخدد وصرة الجزء المتزاوج معه وتشكل الأسنان بشكل طولى (مستقيم) أو بشكل حلزونى وذلك حسب الحركة المطلوبة للوصلة والقدرة المنقولة.



شكل رقم (12) يبين الاعمدة المخددة

7.7.5 الأعمدة النصفية (العكوس)

هنالك اثنان من اعمدة المحور المصنوعة من الحديد الصلب موضوعة داخل الغلاف وفي بعض الحالت تكون نهايتها الداخلية في حالة تماس ، أما النهايات الخارجية فهي بارزة عن الغلاف وتشكل القاعدة التي تتركب عليها صرة العجلة . ان النهايات الداخلية تكون محملة بوساطةالمجموعة الفرقية ، واما الخارجية فتكون محملة بواسطة محامل كروية او ابرية .



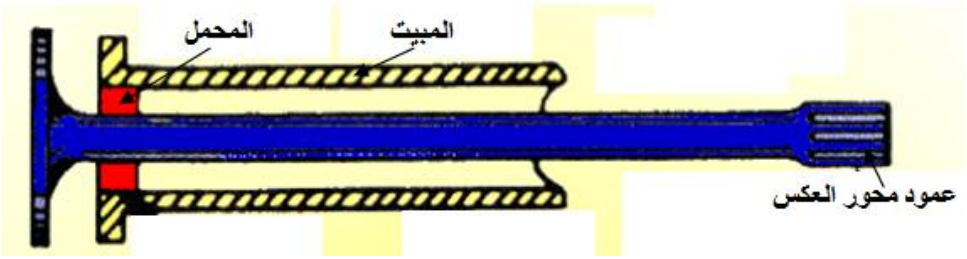
شكل رقم (13) يبين الاعمدة انصفية (العكوس)

أنواع الاعمدة النصفية (العكوس) :

توجد ثلاثة انواع من المحاور (العكوس) الخلفية مصممة خصيصا لتجنب بعض الاجهادات وهي كالاتي :

1. محور نصف طافي

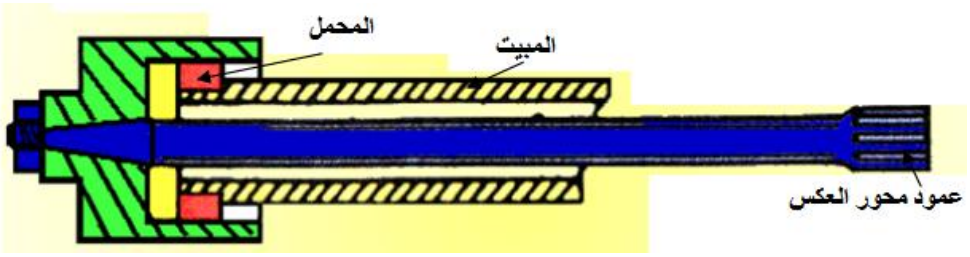
حيث يركب كرسي التحميل بين العمود أنبوب الغلاف ، وهذا التصميم يؤثر على حمل السيارة ، القوة الجانبية وعزم الدوران .



شكل رقم (14) يبين محور نصفي طافي

2. محور ثلاثة أرباع طافي

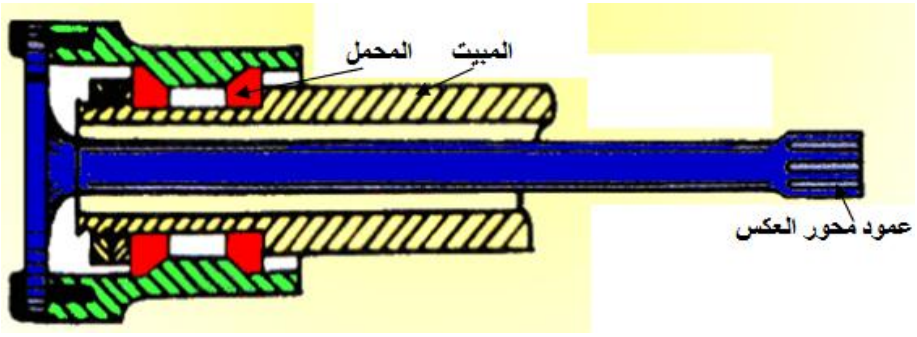
في هذا التصميم يركب كرسي التحميل بين انبوب الغلاف وصرة العجلة وبذلك ينتقل حمل السيارة من الانبوب الى صرة العجلة ويؤثر هذا النوع على القوى الجانبية وعزم الدوران .



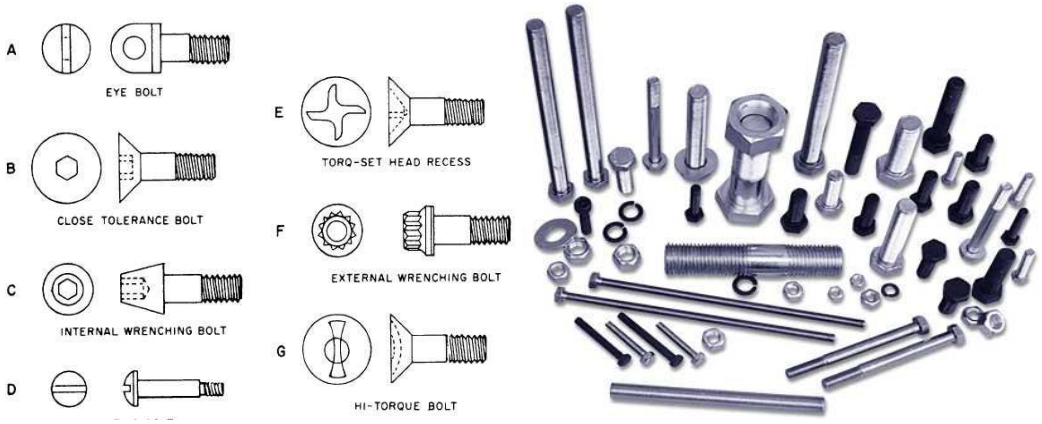
شكل رقم (15) يبين محور ثلاثة ارباع طافي

3. محور طافي

4. في هذا التصميم يركب كرسيان للتحميل في المنتصف بين أنبوب الغلاف وصرة العجلة وهذا النوع يتعرض لعزم الدوران فقط



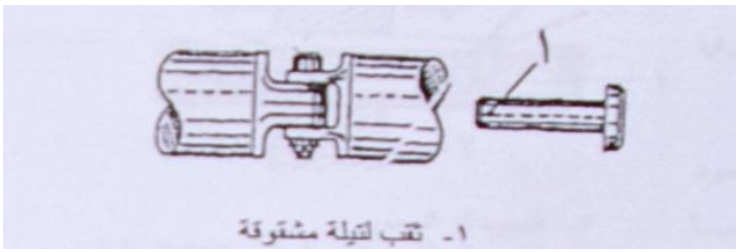
شكل رقم (16) يبين محو طافي



شكل رقم (17) يبين المسامير والبنوز

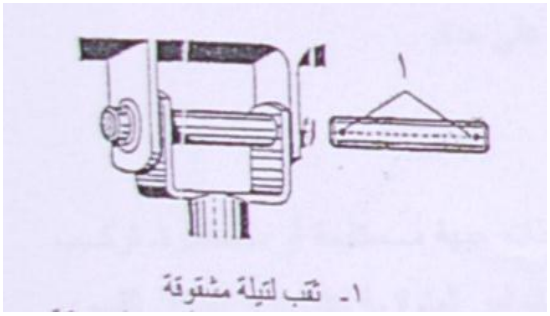
تعتبر المسامير والبنوز كمحاور ارتكاز وهى نوعا خاصا من المحاور وتستخدم فى :

1. توصيل أجزاء الألة بحيث يمكن الارتكاز على بعضها البعض أو تكون حرة الدوران.
2. كمحاور ارتكاز بين الأجزاء المتحركة المختلفة.
3. تستخدم كعنصر توصيل بين الأعمدة المفصلية ويوضح الشكل توصيل الحركة بين الأعمدة عن طريق تركيب مسمار



شكل رقم (18) يبين وصلة مفصلية مرنة

4. كما تستخدم كمحاور ارتكاز بين الأجزاء المتحركة المختلفة



شكل رقم (19) يبين شكل اخر من وصلة مفصلية مرنة

تنتج المسامير والبنوز بشكل اسطوانى أو بشكل اسطونى مدرج وقد تكون مصمتة أو مجوفة ، وتنتج مجوفة لغرض التخفيف من وزنها مثل البنز المركب بذراع التوصيل والمكبس (بألة الاحتراق الداخلى) .

9.5 عناصر احكام المسامير والبنوز:

Elements of Pins and bolts governing

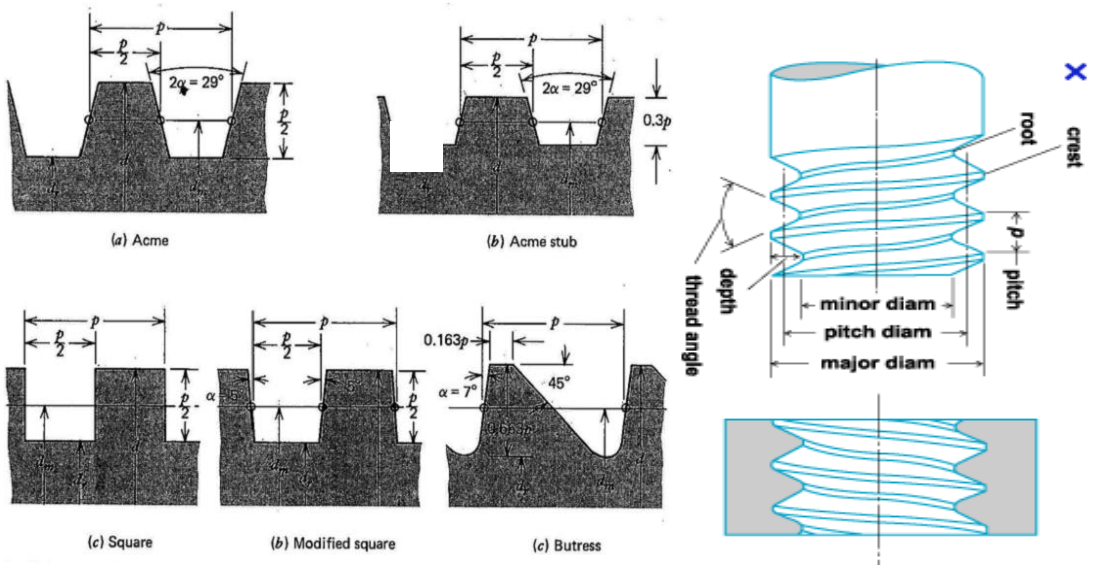
INTERNAL	BASIC N5000 For housings and bores Size Range: 250—10.0 in / 6.4—254.0 mm	EXTERNAL	BOWED 5101* For shafts and pins Size Range: .188—1.750 in. / 4.8—44.4 mm	EXTERNAL	REINFORCED 5115 For shafts and pins Size Range: 094—1.0 in / •	EXTERNAL	HEAVY-DUTY 5160 For shafts and pins Size Range: 394—2.0 in / 10.0—50.8 mm
INTERNAL	BOWED N5001* For housings and bores Size Range: .250—1.750 in. / 6.4—44.4 mm.	EXTERNAL	BEVELED 5102 For shafts and pins Size Range: 1.0—10.0 in / 25.4—254.0 mm	EXTERNAL	BOWED E-RING 5131 For shafts and pins Size Range: 110—1.375 in / 2.8—34.9 mm	EXTERNAL	KLIPRING® 5304 T-5304 For shafts and pins Size Range: .156—1.000 in. / 4.0—25.4 mm.
INTERNAL	BEVELED *N5002/**N5003 For housings and bores Size Range: 1.0—10.0 in. / ° 25.4—254.0 mm; 1.56—2.81 in. / * 39.7—71.4 mm	EXTERNAL	CRESCENT® 5103 For shafts and pins Size Range: 125—2.0 in. / 3.2—50.8 mm.	EXTERNAL	E-RING 5133 For shafts and pins Size Range: 040—1.375 in. / 1.0—34.9 mm	EXTERNAL	GRIPRING® 5555 For shafts and pins Size Range: .079—.750 in. / 2.0—19.0 mm.
INTERNAL	CIRCULAR 5005 For housings and bores Size Range: 312—2.0 in / •	EXTERNAL	CIRCULAR 5105 For shafts and pins Size Range: 094—1.0 in / •	EXTERNAL	RADIAL GRIPRING® 5135 for shafts and pins Size Range: 094—.375 in. / 2.4—9.5 mm.	EXTERNAL	HIGH-STRENGTH 5560* For shafts and pins Size Range: 101—.328 in / •
INTERNAL	INVERTED 5008 For housings and bores Size Range: .750—4.0 in / 19.0—101.6 mm.	EXTERNAL	INTERLOCKING 5107* For shafts and pins Size Range: 469—3.375 in. / 11.9—85.7 mm.	EXTERNAL	PRONG-LOCK® 5139* For shafts and pins Size Range: .092—.438 in / •	EXTERNAL	PERMANENT SHOULDER 5590* For shafts and pins Size Range: .250 .750 / 6.4 19.0 mm
EXTERNAL	BASIC 5100 For shafts and pins Size Range: 125—10.0 in / 3.2—254.0 mm.	EXTERNAL	INVERTED 5108 For shafts and pins Size Range: 500—4.0 in / 12.7—101.6 mm	EXTERNAL	REINFORCED E-RING 5144 For shafts and pins Size Range: 094—.562 in / 2.4—14.3 mm.	* Non-Stocking Ring Type: Available on special order only	

شكل رقم (20) يبين المسامير والبنوز

يلزم عند تجميع الأجزاء الميكانيكية ذات الوصلات المتحركة أو عند تركيب محاور الارتكاز استعمال الخوابير بجانب التيل والحلقات (الورد) المختلفة الموضحة .

10.5 اشكال اسنان نقل القدرة

الشكل (21) يبين الأشكال المختلفة لنوع أسنان نقل القدرة في الأعمدة المختلفة



شكل رقم (21) الأشكال المختلفة لنوع أسنان نقل القدرة في الأعمدة المختلفة

11-5. تصميم الاعمدة **Design of shafts:**

For ductile materials, based on strength, is controlled by the maximum-shear theory. Shafts of brittle materials would be designed on the basis of the maximum-normal-stress theory. Shafts are usually subjected to torsion, bending, and axial loads.

المحاور عادة ما تتعرض إلى أحمال التواء، أحمال الانحناء والأحمال المحورية (سحب او ضغط)

1). For torsional loads: للاحمال اللتوائية

The torsional stress, τ_{xy} is: اجهاد القص ا و الالتواء ; M_t عزم الالتواء

$$\tau_{xy} = (M_t r)/J = (16M_t)/\pi d^3 \quad \text{For solid shafts}$$

$$\text{or } \tau_{xy} = (16M_t d_o)/\pi(d_o^4 - d_i^4) \quad \text{For hollow shafts}$$

2). For bending loads: لاحمال الانحناء

The bending stress σ_b (tension or compression) is: اجهاد الانحناء

$\sigma_b = (M_b r)/I = 32M_b/\pi d^3$ For solid shafts **عمود صلد**

$\sigma_b = (32M_b d_o)/\pi(d_o^4 - d_i^4)$ For hollow hafts **عمود مجوف**

M_b عزم الانحناء

3). For axial load: لحمل محوري

The tensile or compressive stress σ_a is: اجهاد السحب او الضغط ; F_a قوة السحب او الضغط

$\sigma_a = 4F_a/\pi d^2$ For solid shafts

$\sigma_a = 4F_a/\pi(d_o^2 - d_i^2)$ For hollow shafts

معادلة ايجاد قطر عمود مجوف في حالة وجود احمال الالتواء والانحناء والاحمال المحورية

The **ASME** code equation for hollow shaft combines torsion, bending, and axial loads by applying the maximum-shear equation modified by introducing shock, fatigue, and column factor as follows:

$$d_o^{\,3} = \frac{16}{\pi\sigma_s\left(1-K^4\right)}\sqrt{\left[k_b M_b + \frac{\alpha F_a d_o (1+K^2)}{8}\right]^2 + (k_t M_t)^2}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044\lambda}, \quad (\lambda = L / r) \leq 115$$

For solid shaft having little or no axial loading, the equation is: معادلة العمود الصلد

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

Where:

$$K = d_i / d_o$$

σ_s= allowable shear stress, N/m^2= 30% of the elastic limit but not over 18% of the ultimate strength in tension for shafts without keyways. These values are to be reduced by 25% if keyways are present. اجهاد القص المسموح

d_o= shaft outside diameter, m قطر المحور الخارجي بالمتر

d_i = shaft inside diameter, m قطر المحور الداخلي بالمتر

k_b = combined shock and fatigue factor applied to bending moment

معامل الصدم والتعب المطبق لعزم الانحناء

k_t = combined shock and fatigue factor applied to torsional moment

معامل الصدم والتعب المطبق لعزم الالتواء

The following table gives the values of the factors $\mathbf{k_b}$ and $\mathbf{k_t}$ for different loading conditions of the stationary and rotating shafts. جدول يبين قيم معامل

For stationary shafts	k_b	k_t
Load gradually applied	1.0	1.0
Load suddenly applied	1.5 to 2.0	1.5 to 2.0
For rotating shafts		
Load gradually applied	1.5	1.0
Load suddenly applied (minor shock)	1.5 to 2.0	1.0 to 1.5
Load suddenly applied (heavy shock)	2.0 to 3.0	1.5 to 3.0

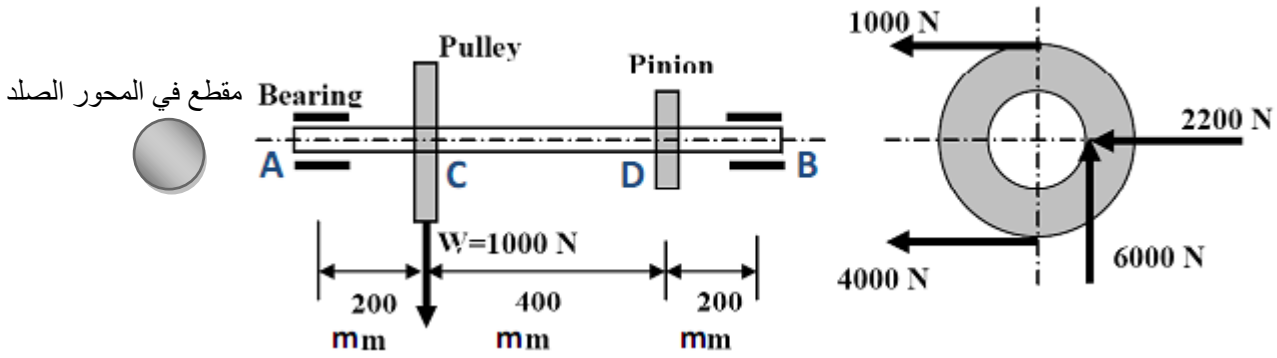
جدول (1) يبين المعايير القياسية لانواع مختلفة من اعمدة الدوران الصلدة المتوفرة في الاسواق العالمية

Standard sizes of shafts

Typical sizes of solid shaft that are available in the market are:

diameter القطر	increments الزيادات
up to 25 mm	0.5 mm
25 to 50 mm	1.0 mm
50 to 100 mm	2.0 mm
100 to 200 mm	5.0 mm

مثال : محور صلد عليه طارة وترس حيث تستلم الطارة القدرة من طارة اخرى وتنقلها الى الاجزاء الموجودة على المحور كما في الشكل ، اذا علمت ان قطر الطارة 400 مليمتر وقطر الترس الصغير 200 مليمتر احسب قطر المحور الواجب استخدامه لتحمل هذه لاحمال ؟



$$Power = \frac{M_t \omega}{1000} = \frac{M_t \times 2\pi \times N}{1000 \times 60} \Rightarrow M_t = \frac{kW \times 1000 \times 60}{2\pi \times rev/\min} = \frac{9550 \times kW}{rev/\min} \quad \text{N.m}$$

1) For belt drive: The torque is found by:

$$M_t = (T_1 - T_2) R_p \quad \text{N.m}$$

Where:

T_1 = tight side of belt on pulley, N

T_2 = lose side of belt on pulley, N

R_p = radius of pulley, m

2) For gear drive: The torque is found by:

$$M_t = F_t R_g \quad \text{N.m}$$

$$F_r = F_t \tan \alpha$$

Where:

F_t = tangential force at the pitch radius, N

F_r = radial force, N

R_g = pitch radius of gear, m

α = gear pitch angle, degrees

$$T = \frac{F}{r} \quad ; \quad r = \frac{d}{2}$$

Example: solution

Torsion: عزم الالتواء للترس

$T_D = 6000 \times (D_{pinion}/2)$

$= 6000 \times (200/2)$

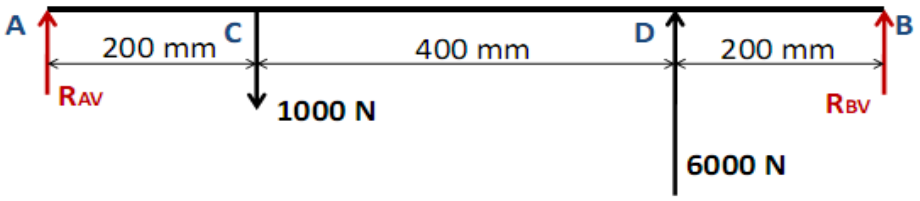
$= 6x10e5$ N.mm

OR عزم الالتواء للطارة

$T_C = (4000 - 1000) \times (D_{pulley}/2)$

$= 3000 \times (400/2) = 6x10e5$ N.mm

Bending (vertical plane): عزم الانحناء العمودي

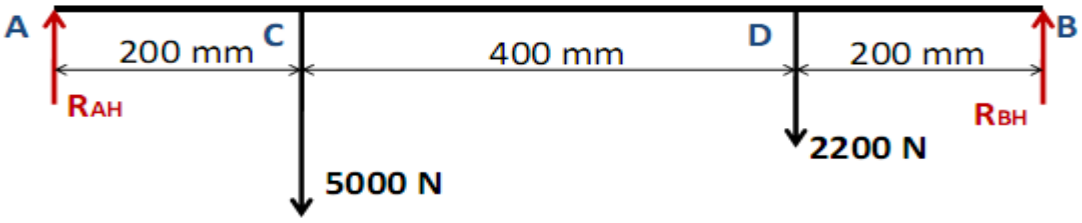


$R_{BV} = (1000x200 - 6000x(400+200))/(200+400+200) = -4250$ N

$M_{DV} = -4250x200 = -8.5e5$ N.mm

$M_{CV} = 6000x400 - 4250x600 = -1.5e5$ N.mm

Bending (horizontal plane): عزم الانحناء الأفقي



$R_{BH} = (5000x200 + 2200x(400+200))/(200+400+200)$

$= 2900$ N

$M_{DH} = 2900x200 = 5.8e5$ N.mm

$M_{CH} = 2900x600 - 2200x400 = 8.6e5$ N.mm

Bending (resultant):

عزم الانحناء الكلي عند النقطة D

$$M_D = \sqrt{(M_{DV})^2 + (M_{DH})^2}$$
$$= 10.29 \times 10^5 \, N.mm$$

Similarly,

عزم الانحناء الكلي عند النقطة C

$$M_C = \sqrt{(1.5 \times 10^5)^2 + (8.6 \times 10^5)^2}$$
$$= 8.73 \times 10^5 \, N.mm$$

وبما انه عزم الانحناء عند النقطة D اكبر من عزم الانحناء عند النقطة C فعليه نختار الاحمال عند النقطة D للتصميم

Since $T_C = T_D$ and $M_D > M_C$, section-D is critical.

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

من جداول معايير ASME نختار قيم الثوابت معامل الصدم ومعامل الكلل وإجهاد القص المسموح به

ASME code:

Under minor to heavy shock, let us consider $k_m = 2$ and $k_t = 1.5$. Also let us assume the shaft will be fabricated from commercial steel, i.e. $\tau_{allowable} = 40$ Mpa.

$$d_o^3 = \frac{16}{40 \times \pi} \sqrt{(2 \times 10.29 \times 10^5)^2 + (1.5 \times 6 \times 10^5)^2}$$
$$d_o = 65.88 \ mm$$

The value of standard shaft diameter is 66 mm.

إذن قيمة المحور الصلد Shaft المطلوب تساوي 66 مليمتر.

12.5. الاسئلة

س1: ماهي انواع اعمدة الدوران Shafts الرئيسية موضحا كل نوع برسم تخطيطي ؟

س2: ماهي المواد المستخدمة في صنع اعمدة الدوران؟

س3: ماهي مميزات الاعمدة والمحاور المجوفة

س4: ماهي القوى المؤثرة على اعمدة الدوران والماور؟

س5: عرف مايلي :

اعمدة اسطوانية ، اعمدة بتدرجات مخروطية ، اعمدة باقطار متدرجة ، اعمدة باقطار متدرجة متعددة ، الاعمدة المتداخلة ، الاعمدة المرنة .

س6: ماهي الاعمدة المرفقية وضحها مع الرسم والتاشير على الاجزاء؟

س7: ماهي اعمدة الحدبات وضحها مع رسم حدبة واحدة والتاشير عليها؟

س8: ماهي الاعمدة المخددة وضحها مع الرسم والتاشير على الاجزاء؟

س9: ماهي المسامير والبنوز عرفها وماهي استخداماتها؟

س10: ماهي عناصر احكام المسامير والبنوز مع رسم انواع مختلفة منها؟

س11: اكتب معادلات لحساب الاجهادات في محاور صلدة واخرى مجوفة تحت تاثير الاحمال الاتية:

1- احمال التواء Torsional loads

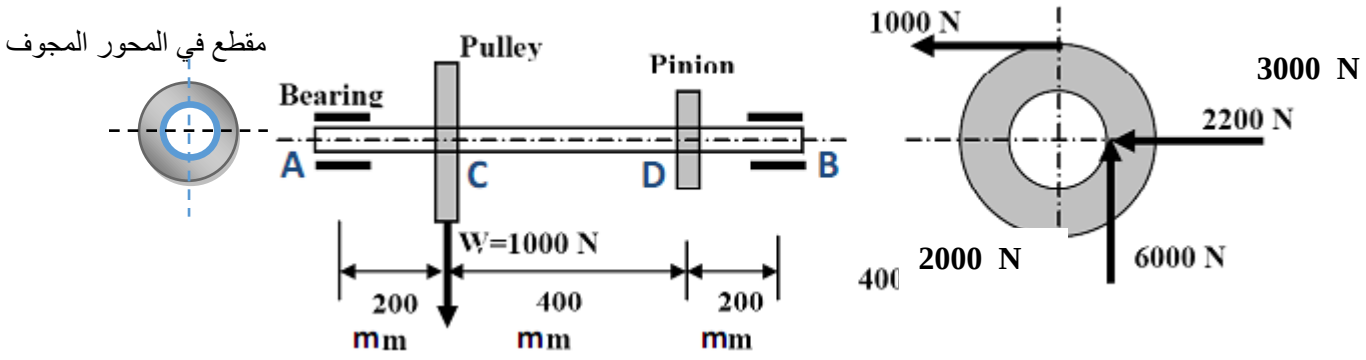
2- احمال انحناء Bending loads

3- احمال محورية Axial loads (Tension or Compression)

س12: ارسم جدول يبين المعايير القياسية لانواع مختلفة من اعمدة الدوران الصلدة المتوفرة في الاسواق العالمية؟

س13: ارسم الاشكال المختلفة لنوع اسنان نقل القدرة في الاعمدة المختلفة؟

س14 : محور عليه عليه طارة وترس حيث تستلم الطارة القدرة من طارة محرك وتنقلها الى الاجزاء الموجودة على المحور كما في الشكل ، اذا علمت ان قطر الطارة 3300 مليمتر وقطر الترس الصغير 200 مليمتر احسب القطر الداخلي والخارجي للمحور الجوف الواجب استخدامه لتحمل هذه لاحمال ؟



الفصل السادس

مقارنات couplings

6. القارنات Coupling

القارانات هي ترتيبات أو آليات ذات أشكال متعددة ، تستخدم كوصلات ثابتة لتوصيل نهاية الأعمدة مع بعضها البعض ، للحصول على أطوال أكبر أو لتوصيل وحدتين أحداهما قائدة والأخرى منقادة.

6. 1. استخدام القارنات

تستخدم القارانات في المنشأت الميكانيكية للأغراض التالية :-

1. ربط وحدتين مع بعضهما البعض (كمحرك ومولد أومحرك وتوربين) ، لإمكان فصل الـ ربط بينهما عند وجود أى أعطال أو عند إجراء الصيانة اللازمة.
2. توفير الحماية (لعدم تحطيم أو تلف الجزء المنقاد) عند زيادة الحمل المفاجئ.
3. إمكان نقل الحركة بين عمودين متوازيين أو منحرفين (عمودين ليسا على إستقامة واحـ دة أو عند وجود إنحراف بين محاورهما).

6. 2. الصفات الواجب توافرها في القارنات

توجد عدة صفات للقوابض أهمها الآتي :-

1. سهلة الفك والتركيب.
2. نقل عزم الدوران بالكامل .. (بدون فقد).
3. لا تحتوى على أجزاء بارزة.

6. 3. انواع القارنات Types of couplings

توجد أشكال مختلفة من القارانات التى يختلف استخدام كل منها بإختلاف الوظيفة المطلوبة من أجلها ، ويمكن تصنيف القارانات إلى نوعين أساسيين هما :-

1. قارانات ثابتة.
2. قارانات متحركة.

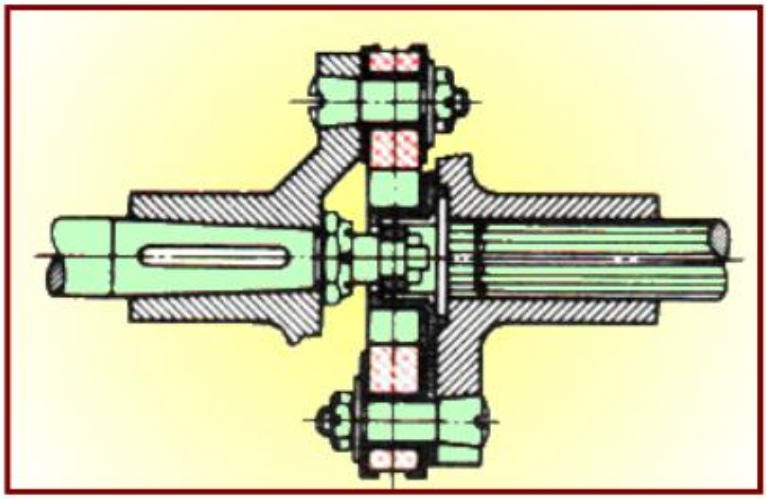
6. 1.3. القارنات الثابتة Rigid couplings

وهي التي تقوم بنقل الحركة والقدرة في نفس الاتجاه وعلى نفس المحور.. وخير مثال لهذا النوع هو ناقل الحركة ما بين محرك الاحتراق الداخلي ومولد القدرة الكهربائية حيث يكونان على محور أو خط وهمي واحد.

1. القارنة المفصلية ذات اقراص النسيج المطاطي

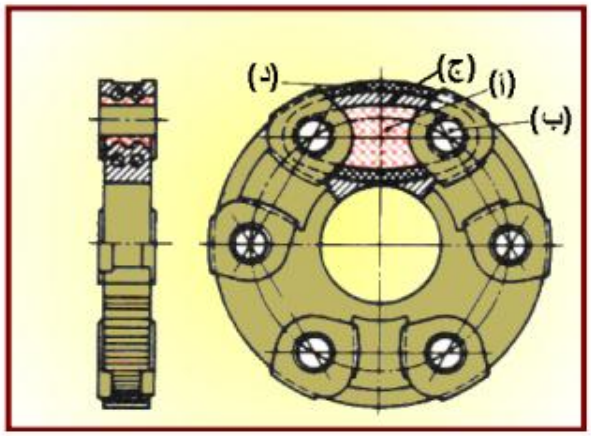
تصنع من أقراص النسيج المطاطي بحيث تكون الخيوط الطولية والمستعرضة مرتبة ترتيبا خلافيا مما يؤدي إلى تجانس متانتها في جميع الاتجاهات.

وهناك وصلات أحادية الأقراص وثنائية الأقراص من هذا النوع.



شكل رقم (1) يبين الوصلة المفصلية ذات اقراص النسيج المطاطي

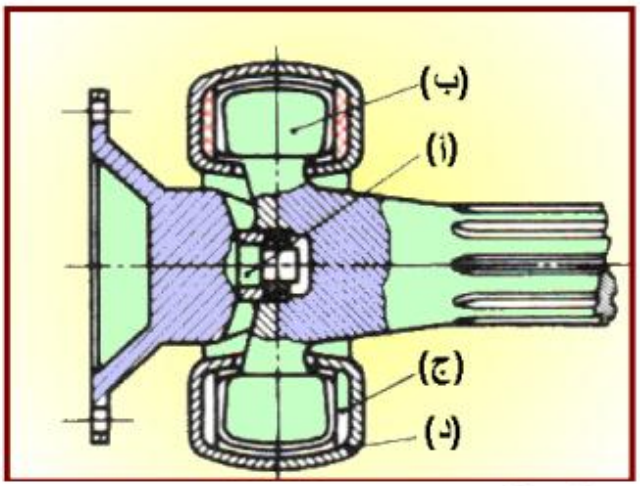
2. القارنة المفصلية ذات اقراص الحبال السلكية



شكل رقم (2) يبين الوصلة المفصلية ذات اقراص الحبال السلكية

أ: وسادة مطاطية بشكل قطع ناقص	ب: جلب فولاذية.
ج: ظفيرة حبال سلكية حلقية لانهائية.	د: شرط نسيجي ملفوف عدة مرات حول القرص

3. القارنة المفصلية ذات الوسائد المطاطية

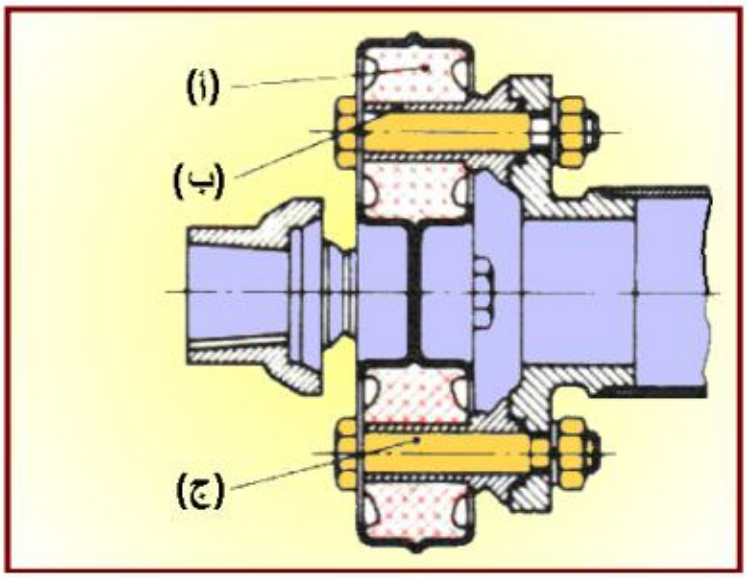


شكل رقم (3) يبين الوصلة المفصلية ذات اقراص الوسائط المطاطية

أ: لسان المركزة ب: ألسنة لاقطة. ج: وسائد مطاطية تحيط بالألسنة. د: المبيت.

4. القارنة المفصلية ذو الكتلة الهادئة

تعمل على خمد الصدمات والضوضاء،وتسمح بحدوث إزاحات محورية.



شكل رقم (4) يبين القابض المفصلي ذات الكتلة الهادئة

أ: جسم مطاطي ب: جلب دليلية. ج: مسامير وصل.

5. القارنة المفصلية المطاطية المضلعة

وصلة مفصلية مرنة في جميع الاتجاهاتويكون الجسم المطاطي فيها مغطى بلوح فولاذي عند جميع النقاط.

شكل رقم (5) يبين القابض المفصلي ذات المطاطية المضلعة

6. 2.3. القارنات المتحركة Movable couplings

تستخدم القارنات المتحركة في وصل عمودين أو وحدتين لنقل عزم الدوران من جزء قائد إلى جزء آخر منقاد ، مع توفير حيز كاف للتغيرات الطفيفة فى أطوال الأعمدة وإنحرافها وأوضاع إرتكازها.

تسمح القارنات المتحركة بوجود إختلافات صغيرة فى محاذات الأعمدة سواء كانت هذه الإختلافات بزاوية أو محورية ، لذلك فإن بعضها مزود من داخلها بمادة مرنة لنقل عزم الدوران بطريقة سلسة.

من مميزات القارنات المتحركة هو نقل الحركة الدورانية مع وجود إختلافات ضئيلة فى محاذات الأعمدة (وجود زوايا صغيرة بين الأعمدة) ، كما تعمل على معادلة الاهتزازات أو الصدمات الناجمة عن الأحمال الفجائية.

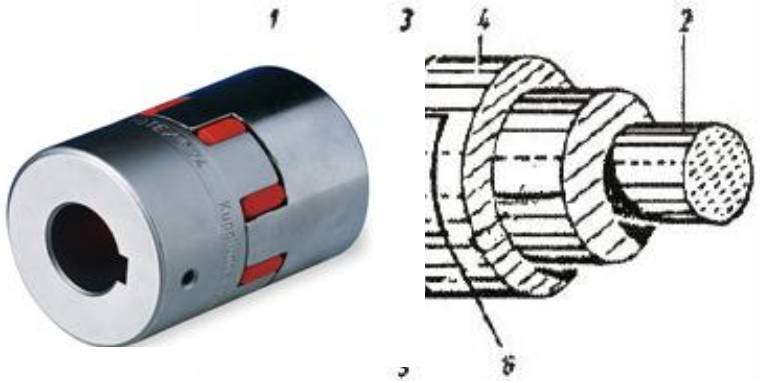
توجد القارنات المتحركة بأشكال عديدة .. فيما يلي عرض لأكثر أنواعها إنتشاراً.

1. القارنة المخلبية : The toothed coupline

القارنة المخلبية أو القارنة ذات الأسنان الموضحة بالشكل التالي عبارة عن جزأين متناظرين أسطوانيين الشكل بكل منهما بروز على شكل أسنان.

تستخدم القارنة المخلبية في توصيل وفصل حركة دوران عمودين بسرعة صغيرة نسبياً .. (عند إستخدامها لتوصيل حركة عمودين بسرعة كبيرة ، قد يؤدى إلى كسر أسنان القارنة) لذلك فإنها كثيرة الإنتشار في صناديق تروس التغذية بآلات القطع المختلفة (كالمخارط . المقاشط . الفرايز . آلات التجليخ) التي تتطلب السرعة المنخفضة بها.

يثبت الجزء الأول من القارنة 3 على العمود القائد 1 بحيث يدور معه ، يعشق الجزء الثاني من القارنة 4 الذي ينزلق على العمود المنقاد الحر 2 مع الجزء الأول من القارنة 3 لينقل عزم الدوران إلى العمود المنقاد الحر 2 . يشترط توقف الآلة عن الدوران أثناء حركة التوصيل.



شكل رقم (6) قارنة مخلبية مكونة من جزاين متناظرين بكل منهما بروز على شكل اسنان

1. العمود الأول .. القائد.
2. العمود الثاني .. المنقاد.
3. الجزء الأول من القارنة .. (يثبت على العمود القائد 1).
4. الجزء الثاني من القارنة .. (ينزلق على العمود المنقاد 2).
5. بنز تثبيت الجزء الأول من القارنة مع العمود القائد 1).
6. ثغرة هوائية .. (حيز بسيط جداً).

تذكر أن :

عند تجميع القارنة المخلبية على عمودين بمحور واحد ، فإنه يجب الاحتفاظ بحيز محدد من جزئي القارنة (ثغرة هوائية) ، تعادل التمدد الحراري المحتمل حدوثه في الأعمدة أثناء التشغيل.

التأكد من وجود قدر كافي من التزليق أثناء التشغيل.

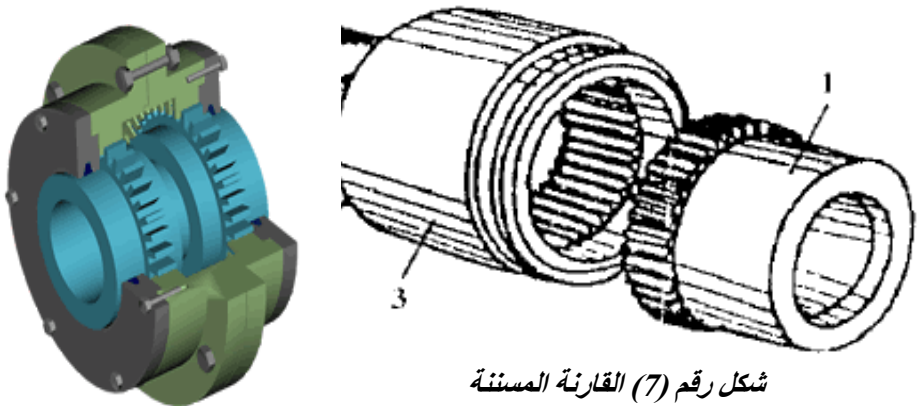
2. القارنة المرنة : The flexible coupling

تتميز القارنة المرنة بنقل عزم دوران هادئ ، وفى حالة زيادة الحمل على القارنة ، فقد تتمزق المادة المرنة دون حدوث أي أضرار على أجزاء نقل الحركة.

3. القارنة المسننة : The toothed coupling

تتكون القارنة المسننة الموضحة بالشكل التالي من ثلاثة أجزاء . يثبت الجزء 1 بالعمود القائد بينما يثبت الجزء 2 بالعمود المنقاد ، وتعمل الجلبة الوسيطة 3 لتوصيل الحركة بين الجزأين 1 ، 2.

توجد قارنات مسننة ذات أسنان مقوسة ، هذه القارنات تسمح بنقل عزم دوران من العمود القائد إلى العمود المنقاد بإنحراف صغير .. (بزاوية صغيرة).



شكل رقم (7) القارنة المسننة

1. الجزء الأول من القارنة.
2. الجزء الثاني من القارنة.
3. الجلبة الوسيطة.

4. القارنة المفصيلة : The joint coupling

تعتبر القارنة المفصيلة من أهم أنواع القارنات المتحركة إستعمالاً في وصل الأعمدة المنحرفة عن بعضها البعض ، بزاويا معينة أو التي تنحرف بعضها عن بعض بزوايا مختلفة.

تستخدم القارنات المفصيلة في أجهزة نقل الحركة بالسيارات ، وماكينات التفريز ، والدلفنة ، وأيضاً في الماكينات ذات الرؤوس المتعددة المحاور.

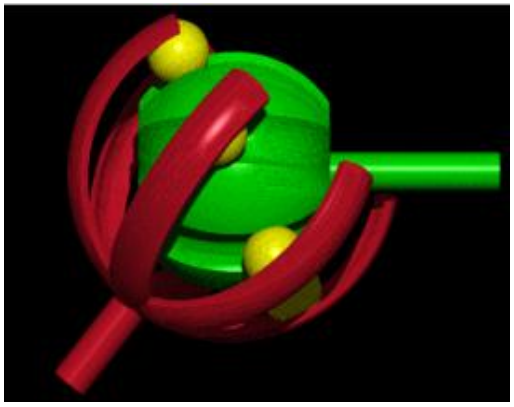
توجد القارنات المفصيلة بنوعين أساسين هما (القارنة ذات الوصلات المفصيلة الكروية والقارنة الجامعة).

5. القارنات ذات الوصلات المفصلية الكروية The spherical joints couplings

تتكون القارنة ذات الوصلات المفصيلة الكروية الموضحة بالشكل التالي من عدة وصلات مفصيلة.

تستخدم في وصل طرفي عمودين بينهما إزاحة ، كما يمكن إنحرافهما بزوايا مختلفة حسب ظروف العمل.

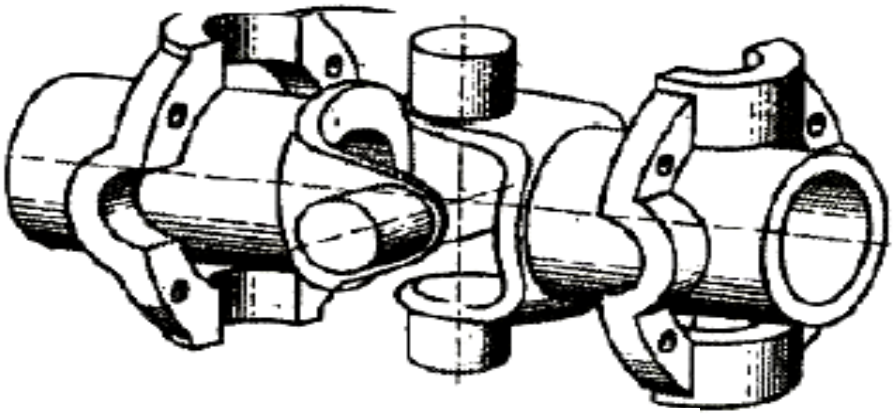
صممت هذه القارنة لنقل عزم الدوران ذات القدرات الصغيرة ، لذلك تستخدم في أجهزة نقل الحركة بماكينات الثقب المتعددة المحاور ، وبمجموعات التغذية بماكينات التفريز.



شكل رقم (8) قارنات ذات الوصلات المفصلية الكروية

6. القارنة الجامعة The universal couplings

تسمى أيضاً بالوصلة الجامعة للحركة أو بالوصلة الصليبة الموضحة باشكل التالي ، وهي عبارة عن وصلات مفصلية بمحامل إبرية (رولمان بلى) ، وهي وسيلة أتصال بين عمودين محوريهما متقاطعين ، وعن طريقها يكون دوران أحد العمودين حول محورة نتيجة دوران المحور الآخر حول محوره أيضاً.



شكل رقم (9) قارنة جامعة مفككة

توجد القارنات الجامعة (الوصلة الجامعة للحركة) بتصميمات مختلفة .

مميزات القارنة الجامعة: Advantages of universal joint

تتميز القارنة الجامعة بعدة مميزات أهمها الآتي :-

1. التوصيل بين الأعمدة المتقاطعة.
2. قدرتها على نقل الحركة بين الأعمدة أثناء تغيير الزاوية بينهما.
3. نقل عزم الدوران في جميع الاتجاهات.

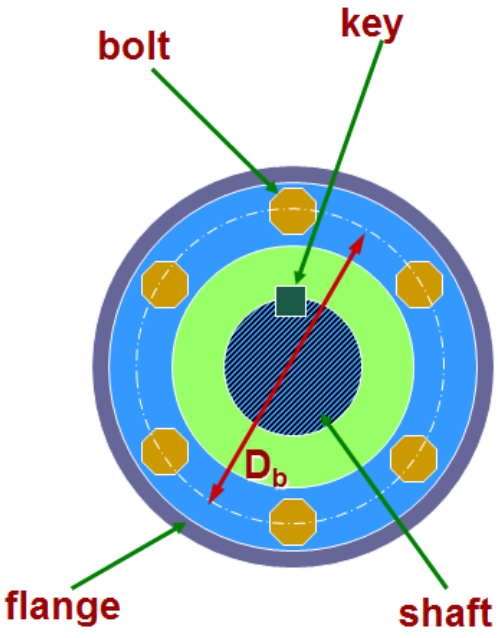
عيوب القارنة الجامعة : Disadvatages of universal joint

من أهم عيوب القارنة الجامعة هي الآتي :-

1. عدم انتظام نقل الحركة عند زيادة الانحراف بين الأعمدة.
2. عدم قدرتها على نقل عزم الدوران للقدرات الكبيرة

4.6. المعادلات الاساسية لتحليل اجهاد القص في لوالب القارنات

Basic formula of shear stress analysis of bolts in coupling



$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{N_b(\pi d^2/4)} = \frac{2T}{D_b N_b(\pi d^2/4)}$$

$$\tau = \frac{8K_s P}{\omega D_b N_b(\pi d^2)} = \frac{S_{sy}}{N}$$

حيث ان :

$$T = \frac{K_s P}{\omega}$$

To find the torque that can be transmitted

$$T = F \times r \times N_b = F \times \frac{D_b}{2} \times N_b$$

$$T = \tau \times A_s \times \frac{D_b}{2} \times N_b = \tau \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{D_b}{2} \times N_b$$

$$T = \tau \times \frac{\pi d^2 D_b}{8} \times N_b$$

Where:

$$\tau_d = S_{sy} = 0.577 S_y / N \text{ or } \tau_d = \tau_{all}$$

$$\tau_{all} = 0.18 S_u \text{ or } 0.3 S_{yp} \text{ (which is lower/small)}$$

N_b = number of bolts

D_b = bolt circle diameter

$\omega = 2\pi n/60$ rad/second

P = Power, kW or hp

n = rpm

K_s = service factor for machinery

To find the required bolts diameter

$$d = \sqrt{\frac{8T}{D_b N_b \pi \tau_d}}$$

جدول رقم *(1)* يبين معاملات خدمة المكائن C_1 , C_2 .

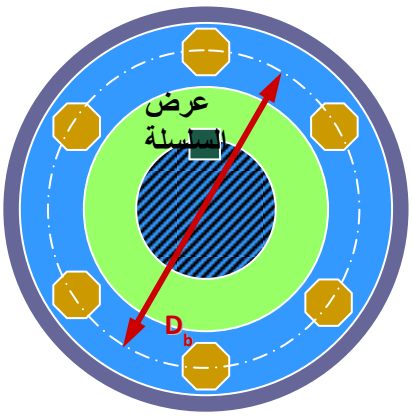
Table of Service Factors for Machinery	$K_s = c_1 + c_2$
Driving machines	c_1
Electric motors	0.5
turbomachinery	0.75
Reciprocating engines:	1.5 – 2.8
4-cylinder	
6-cylinder	1 - 2
Driven machines	c_2
Machine tools	3
Rolling mills	1.6 -2
blowers	1.5
Textile machinery	1.6 – 2.2
Rotary pumps, compressors	1.5
Reciprocating pumps, compressors	2.2 – 3.2
Paper mills	1.8 -3
Mixing machines	1.8 -3
Wood processing machines	2 - 3
Electric generators	1.1 – 1.3
hoists	1.5

EXAMPLE 1:

An electric motor is used to drive a blower at *600rpm*. The shaft of the motor is connected to the shaft of the blower by flange coupling. Calculate the rated power of the flanged keyed coupling assembly as shown. Given that there are *6 bolts* of diameter *15mm* with allowable shear strength S_{all} *210MPa*. The bolts circle diameter is D_b *= 150mm*

Area in shear for one bolt is

$$A_s = \frac{1}{4}\pi(15mm)^2 = 176.7mm^2$$



Allowable force for one bolt is

$$F = A_s\tau = A_s S_{all}$$

$$F = 176.7mm^2 x 291MPa$$

$$F = 51.4kN$$

The torque that can be transmited by six bolts which are at a 75mm distance from the central axis is

$$T = F \times r = (51.4kN) \times (0.075m) \times 6$$
$$T = 23kN.m$$

Therefore the rated power is

$$P = \frac{T \times \omega}{K_s} = \frac{T \times 2\pi n}{60 K_s}$$
$$P = \frac{2\pi\left(23 \times 10^3 N.m\right) \times 600}{60\,\mathrm{sec}\,ond \times \left(0.5 + 1.5\right)} = 723kW$$

EXAMPLE 2:

A rigid flange coupling used *4 bolts*. The bolts circle diameter is *125mm*. If the bolt has an ultimate tensile strength of *550MPa* and a yield point in tension of *345MPa*, determine the bolts size if it is to transmit a torque of *2kN.m* .

Solution

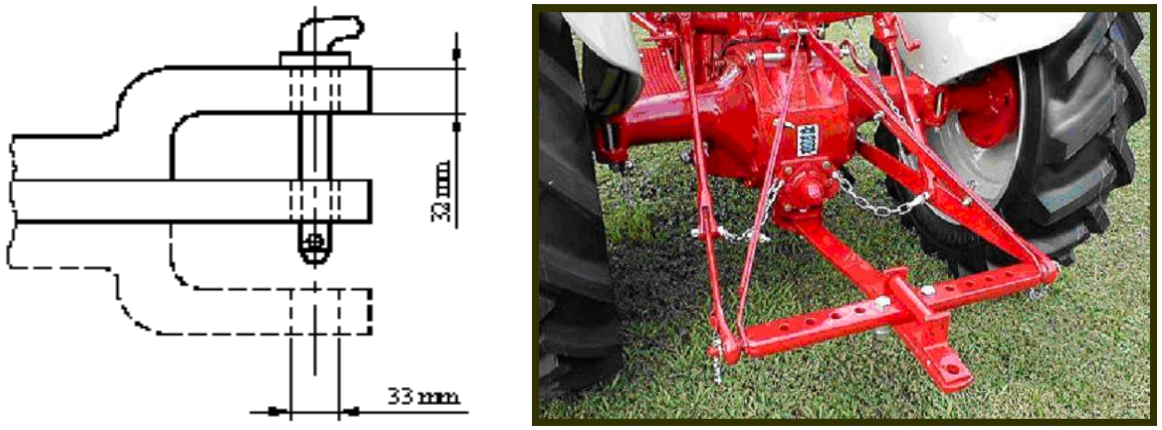
$$t_{all} = 0.18\, S_u = 0.18\,(550\ MPa) = 99\ MPa$$
$$\text{or} \quad t_{all} = 0.3\, S_{yp} = 0.3\,(345\ MPa) = 103.5\ MPa$$
$$T = 2\ kN.m \ ; \quad N_b = 4 \qquad Use \quad t_{all} = 99\ MPa$$

$$d = \sqrt{\frac{8T}{D_b N_b \pi \tau_d}} = \sqrt{\frac{8(2 \times 10^3 N)}{\pi (0.125m)(4)(99 \times 10^6 N/m^2)}}$$
$$d = 0.0101m = 10.1mm$$

Hence from Table 8-1, use M12 bolts.

5.6. قضيب الشد في الساحبة

يتكون قضيب الشد من ذراع من الصلب توجد به عدة ثقوب. تثبت الآلات الزراعية المراد شدها في أحد هذه الثقوب بواسطة مسمار خاص ويمكن ضبط هذا العمود أفقيا ورأسيا حتى يناسب الآلة الزراعية. ويتراوح ارتفاع هذا العمود عن الأرض بين 200 إلى 500 ملم حسب نوع الجرار وحجمه. وتعتبر المحاريث من أهم المعدات الزراعية التي تشبك مع قضيب الشد. ويعتبر قضيب الشد من أكثر الاجهزة استعمالا في نقل قدرة الجرار إلى الآلات الزراعية على الرغم من أنه أقلها كفاءة. وتوصي هيئة المواصفات العالمية (ISO) بأن يكون قطر فتحة قضيب الشد 33 ملم وان لا تزيد سماكته عن 32 ملم.(ISO 6489-3) الشكل رقم (5)



شكل رقم (10) المواصفات العالمية لسماكة وقطر قضيب الشد.

أداء قضيب الشد

يتم توضيح أقصى أداء لقضيب الشد عند السرعات الحقلية القياسية التي تحددها الشركة الصانعة. حيث أن جميع إجراءات الضبط للمحرك هي نفس الإجراءات المستخدمة في اختبارات عمود مأخذ القدرة. وإذا حددت الشركة الصانعة سرعة محرك مقررة مختلفة لتشغيل قضيب الشد، فيتم تغيير وضع التحكم بالحاكِم ليعطي أعلى سرعة محددة بدون حمل.

وتحسب القدرة القصوى على قضيب الشد ضمن الحدود التالية:

1- يجب أن لا يزيد الانزلاق عن 15% للإطارات على مسار الاختبار الخرساني أو 7% للكتينة ذات البروزات الفولاذية على مسار الاختبار الترابي.
2- يجب أن لا تتجاوز السرعات الأرضية 17، 5 كم/س.
3- يجب عدم تجاوز حدود اتزان الجرار الآمنة.
4- يجب عدم تجاوز حدود تشغيل الجرار الأخرى.

ويضاف حمل على قضيب الشد حتى يتم الوصول إلى سرعة المحرك المقررة التي تحددها الشركة الصانعة عند الوضع الأقصى لذراع التحكم بالحاكم. وتسجل السرعة والقوة على قضيب الشد والبيانات الأخرى على مسارين مستويين مستقيمين كل منهما بطول 152 م. ويتم حساب استهلاك كمية الوقود عند السرعة التي تحددها الشركة الصانعة مع تثبيت قضيب الشد في وضع يعطي:

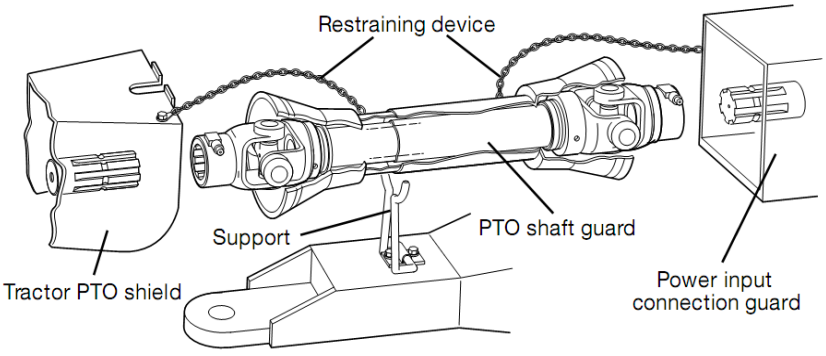
1. عدد لفات المحرك المقررة.
2. 75% من الشد عند عدد لفات المحرك المقررة.
3. 50% من الشد عند عدد لفات المحرك المقررة.
4. الاحتفاظ بنفس الحمل وسرعة السير كما في النقطة (3) وذلك بالتغيير إلى ترس أعلى مع تخفيض عدد لفات المحرك.

وتوضح الخلاصة كًلا من القدرة على قضيب الشد وسرعة التحرك المقابلة لها واستهلاك الوقود عند الأحمال 100% أو 75%أو 50%، وكذلك 50% من الشد عند سرعة المحرك المخفضة. كما توضح الخلاصة أيضا القدرة القصوى على قضيب الشد التي يتم إنجازها على مسارين كلاهما بطول 152 م وكذلك سرعة السير المقابلة لها والقوة القصوى على قضيب الشد والانزلاق. وبالإضافة إلى ذلك فإن مقدرة الشد التي يتم الحصول عليها من خلال زيادة الحملِ لكي تنخفض سرعة المحرك من الوضعِ الأقصى للحاكمِ إلى 80% من السرعة المقررة، فإنه يعبر عنها كزيادة في النسبة المئوية فيما يتعلق بقوة الشد عند عدد لفات المحرك المقررة.

ويتم توضيح القدرة القصوى على قضيب الشد والسرعة المقابلة لها والقوة على قضيب الشد لتروس محددة أو سرعات تحرك أخرى في تقارير اختبار مستقلة.

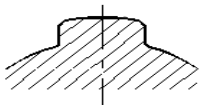
6.6. عمود مأخذ القدرة (PTO)

معظم الجرارات الزراعية مزودة بعمود الادارة الخلفي وذلك لاستخدامه في ادارة الآلات الزراعية أثناء جرها في الحقل مثل المحشة واللبانة (آلة عمل البالات) وخلافه من الآلات الزراعية أو بعض الآلات الثابتة مثل مضخة المياه. ويوجد عمود الادارة الخلفي في مؤخرة الجرار ويأخذ حركته من صندوق التروس ويمكن وصل أو فصل الحركة عن عمود الادارة الخلفي عن طريق القابض، ويتم ذلك والسائق في مقعد القيادة. ويدور عمود الادارة الخلفي بسرعة دوران ثابتة أما 540 لفه/د أو 1000 لفه/د. ويوجد ثلاثة تصميمات لعمود الادارة الخلفي معتمدة من هيئة المواصفات العالمية (ISO) والموضحة في الجدول رقم (2).



الشكل رقم (11) يبين شكل وطريقة التثبيت على عمود نقل القدرة P. T. O الخلفي في الساحبة

جدول رقم (2) المواصفات العالمية لعمود الادارة الخلفي.

نوع عمود الادارة الخلفي	القطر (ملم)	عدد البروزات	السرعة الدورانية (لفة في الدقيقة)	
1	35	**6 مستقية**	**540**	
2	35	**21 محدب**	**1000**	
3	45	**20 محدب**	**1000**	

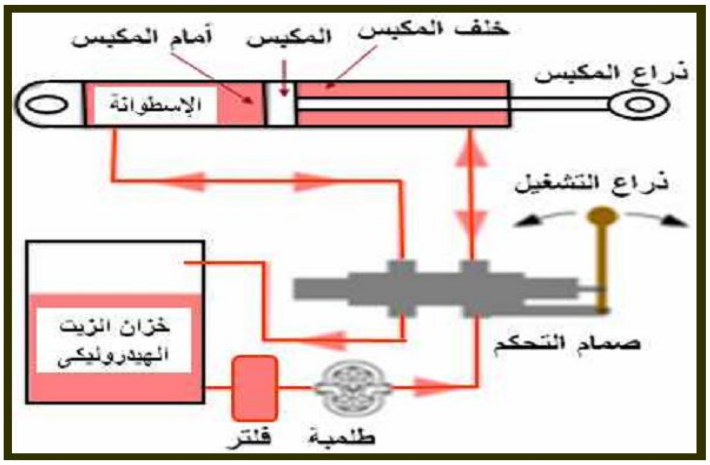
أداء عمود مأخذ القدرة (PTO)

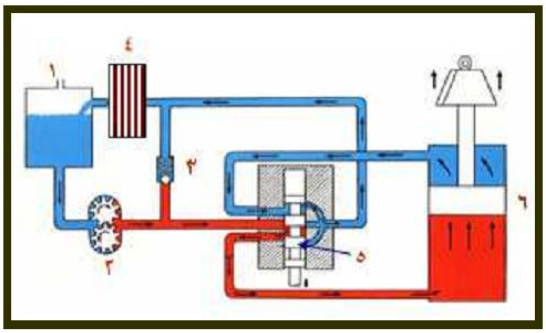
تجري اختبارات عمود مأخذ القدرة عن طريق توصيل عمود مأخذ القدرة إلى دينامومتر. ويستطيع مندوب الشركة الصانعة أثناء التجارب أن يقوم بالضبط اللازم للوقود أو توقيت الحقن أو التحكم بالحاكم وغير ذلك. ويجب أن يحتفظ بهذه الترتيبات في وضع لا يمكن تغييره عند إجراء الاختبارات. وتضبط آلية التحكم بالحاكم يدويًا ليوفر سرعة تعادلية عالية للمحرك كالموصى بها من قبل الصانع. وتتم المحافظة على درجة حرارة الهواء المحيط بحوالي 24°م أثناء الاختبارات. ويتم الحصول على أقصى قدرة عند سرعة المحرك المقررة والمحددة من قبل الصانع مع وضع ذراع التحكم بالحاكم عند وضع القدرة القصوى. وتستخدم نفس الترتيبات هذه لجميع اختبارات عمود مأخذ القدرة اللاحقة. وتكون مدة الاختبار ساعتين. ويجرى اختبار إضافي عند سرعة 540 أو 1000 لفة/دقيقة لعمود مأخذ القدرة

7.6. الجهاز الهيدروليكي

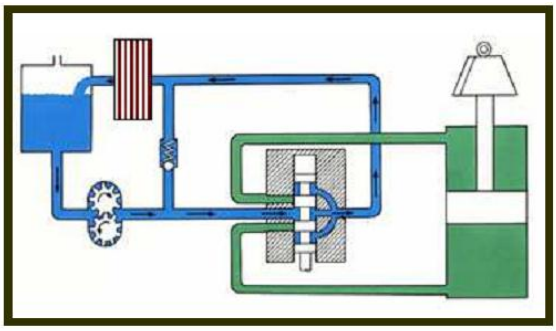
يعتبر الجـهاز الهيدروليـكي من أهم التحسـينات التي أدخلت على الجرار ويولد الجـهاز الهيدروليكي قوة هـيدروليكية تسـتخدم لرفع أو خـفض الآلات الزراعيـة المقطورة أو المعلقـة كما يمكن التحكم في العمق أو المقاومـة الواقعة على الآلات الزراعية أثناء تشغيلها، ويستخدم الزيت كسائل وسيط لنقل القدرة بين المصدر ومكان الاستعمال. ويستخدم الجهاز الهيدروليكي في تشـغيل الآلات الزراعية عن بعد، أي الآلات

التي يركب عليها اســـطوانة هيـدروليكية للتشغيل ويتم توصيل الزيت إلى الاســـطوانة عن طريق خراطيم تأخـــذ الزيت الهيدروليكي من مخارج في مؤخرة الجرار أو في المقدمة على حسب تصميم الجرار.





أ- الجهاز الهيدروليكى فى وضع الرفع



ب - الجهاز الهيدروليكى فى وضع الحياد

١- خزان الزيت ٢- مضخة الزيت ٣- صمام الأمان
٤- الفلتر ٥- صمام التشغيل ٦- الإسطوانة

الشكل رقم (12) يبين الجهاز الهيدروليكي

وتوجد مواصفات عالمية لاحجام وتصميمات الجهاز الهيدروليكي في الجرار الزراعي. ويوضح الجدولان رقما (3) و(4) ملخص لهذه المواصفات .

***جدول رقم (3)* تصنيف نظم الرفع الهيدروليكي وفقا لمواصفات ال ASAE.**

الصنف (الكتوقري)	أقصى قدرة على قضيب الشد (كيلووات)
1	**35-15**
2	**70-30**
3	**168-60**
4	**300-135**

جدول رقم (4) المواصفات الهندسية لنقاط الشبك الهيدروليكية.

	التصنيف 1		التصنيف 2		التصنيف 3		التصنيف 4	
	الاقل	الاكبر	الاقل	الاكبر	الاقل	الاكبر	الاقل	الاكبر
الشبك العلوي								
العرض عند نقطة الشبك (C)	-	44	-	51	-	51	-	64
نصف القطرعند نقطة الشبك (E)		51		51		51		64
القطر الداخلي لنقكة الشبك (B)	19	20	25	26	32	33	45	46
مسمار نقطة السبك العليا								
القطر(A)	18	19	25	26	31	32	44	45
المسافة من الراس الى مركز فتحة (D)	92	-	102	-	102	-	140	-
قطر فتحة الدخول(G)	11	12	11	12	11	12	17	18
الشبك السفلي								
العرض عند نقطة الشبك (J)	34	35	34	45	44	45	57	58
نصف القطرعند نقطة الشبك(F)	-	45	-	67	-	76	-	76
قطر فتحة المسمار(H)	22	23	28	29	36	37	51	52
الخلوص بين العجل ونقطة الشبك(X)	76	-	76	-	76	-	76	-
الخلوص بين الجرار ونقطة الشبك(Z)	457	-	457	-	457	-	457	-
مسافة التحرك الأفقية (RR)	102	-	127	-	127	-	127	-
المسافة الأفقية بين نقطة الشبك وعمود الإدارة الخلفي(Y) $l^{\S}$	508	559	508	559	508	559	508	559

8.6. اختبار نظام الرفع الهيدروليكي

تحدد خطوات الاختبار بأن يكون توزيع الوزن على الجرار والوزن الكلي للجرار طبقا للحدود التي تضعها الشركة الصانعة والشركة الصانعة للإطارات وضمان الحماية من الانقلاب الخلفي. ويجب أن يتضمن الوزن خزانات الوقود المملوءة بالإضافة إلى 80 كجم كوزن للمشغل. ويمكن تزويد الأوزان الإضافية الأمامية عن طريق الأوزان القياسية و/أو عن طريق أوزان إضافية للإطارات الأمامية يتم تزويدها أو التوصية بها من قبل الشركة الصانعة. ويتم اختبار الجرار على نفس الإطارات الخلفية التي تم استخدامها أثناء اختبارات قضيب الشد. ويمكن أن تكون الإطارات الأمامية للجرارات ذات الدفع الثنائي وذات الدفع الأمامي المساعد بأي مقاس أو بأي عدد من التيل كما تقدمها الشركة الصانعة طالما أنها تتناسب مع الإطارات الخلفية.

وتستخدم وصلة للشبك السريع في جميع رتب الشبك 3 و 4 وفي الجرارات المتاحة على أنها معدات قياسية، ولكن لا تعتبر وصلة الشبك السريع كجزء من الحمل المرفوع.

9.6. الأسس الهندسية لاختبار الجرارات الزراعية

تقوم الجرارات بإمداد القدرة بعدة طرق. وتستمد الآلات المسحوبة أو المقطورة القدرة من خلال الجر بالعجلات الدافعة وقوة السحب من قضيب الشد. ويتم الحصول على القدرة الدورانية من عمود مأخذ القدرة أو من سير الطارة. ويمكن إنتاج كلتي القدرتين الخطية والدورانية بواسطة النظام الهيدروليكي للجرار. وتتطلب بعض الآلات قدرة كهربائية من الجرارات.

10.6. قياس القدرة

تعرف القدرة أحيانًا بأنها طاقة حركة وتكون في حد ذاتها غير مرئية. ويتطلب أجهزة خاصة لقياس القدرة الناتجة من محرك أو جرار. وتصف الفقرات التالية بعض الأجهزة والاختبارات الشائعة التي تستخدم في قياس القدرة.

تعاريف قدرة المحرك

تعتبر القدرة الناتجة من محرك دالة لمتوسط الضغط الواقع على رأس المكبس ولسرعة المحرك. ويشار إلى متوسط الضغط المؤثر أثناء مشوار القدرة للمحرك اسم متوسط الضغط الفعال. وتعتبر القدرة البيانية (IP) بأنها القدرة النظرية المتولدة من المحرك نتيجة تأثير متوسط الضغط الفعال الواقع على رأس المكبس. كما تعتبر القدرة الفرملية (BP) بأنها هي قدرة المحرك التي تقاس عند الحذافة. ويكون مقدار الفرق بين القدرة البيانية والقدرة الفرملية عبارة عن القدرة التي يمتصها المحرك للتغلب على الاحتكاك (FP).

القدرة على قضيب الشد

يمكن الحصول على القدرة على قضيب الشد من العلاقة التالية:

$$P_{DB} = FS/c \qquad (1)$$

حيث:

P_{DB}: القدرة على قضيب الشد معبرا عنها بالكيلووات.

F: القوة المقاسة الأفقية على قضيب الشد بالكيلو نيوتن.

S: السرعة الأمامية، كم/س.

c: ثابت، ويساوي 3.6

القدرة الهيدروليكية

يمكن الحصول على القدرة الهيدروليكية من العلاقة التالية:

$$P_{Hy} = p\,Q/c \qquad (2)$$

حيث:

P_{Hy}: القدرة الهيدروليكية، كيلووات.

p: الضغط، كيلوباسكال.

Q: معدل السريان، لتر/ث.

c: ثابت، ويساوي 1000.

قدرة عمود مأخذ القدرة

يمكن الحصول على قدرة عمود مأخذ القدرة من العلاقة التالية:

$$P_{P.T.O} = 2\pi\pi\,F\,R\,N/c = 2\pi\pi\,T\,N/c \qquad (3)$$

حيث:

$P_{P.T.O}$: قدرة عمود مأخذ القدرة معبرًا عنها بالكيلووات.

F: القوة المماسة، كيلونيوتن.

R: نصف قطر دوران القوة، م.

N: عدد اللفات لكل دقيقة، لفة/د.

T: عزم الدوران، كيلونيوتن.م.

c: ثابت، ويساوي 60.

اختبار القدرة على عمود مأخذ القدرة

ويجرى هذا الاختبار في معمل متخصص لذلك به ديناومومتر لقياس الأحمال الواقعة علي عمود مأخذ القدرة والغرض من هذا الاختبار ما يلي:

1- معرفة العلاقة بين عدد لفات المحرك المكافئة والعزم الناتج لتعيين أكبر عزم وعدد لفات المحرك عند هذا العزم.

2- معرفة العلاقة بين عدد لفات المحرك المكافئة وقدرة المحرك الناتجة لتعيين أكبر قدرة وعدد لفات المحرك عند هذه القدرة.

3- معرفة العلاقة بين عدد لفات المحرك المكافئة واستهلاك الوقود الناتج لكل حصان لتعيين أقل استهلاك للوقود لكل حصان وعدد لفات المحرك عند هذا الاستهلاك.

ويتم هذا الاختبار بأن يعلق جهاز فرملي هيدروليكي (ديناومومتر) بعمود مأخذ القدرة وتوصل جميع التوصيلات الخاصة بالجهاز من خراطيم مياه وأجهزة قياس ويدار الجرار بدون حمل حتى تصل درجة حرارة مياه التبريد للجرار إلى الدرجة التي يكون فيها موتور الجرار

المتخصصة. ويتم إخراج نتيجة الاختبار في صورة جداول ومنحنيات تسمي منحنيات الأداء. ومن هذه الاختبارات يمكن الحصول على السرعات المناسبة للتشغيل وكذلك الأحمال المتوقعة نتيجة التشغيل على هذه السرعات وكم تكون القدرة على عمود مأخذ القدرة في هذه الحالة. أيضا يمكن معرفة كم يكون مقدار الحمل الذي يمكن لأذرع الشبك الهيدروليكية رفعه والسير به على الطرقات. والطريق الخرساني المستخدم في الاختبارات لابد أن تكون به بعض الاشتراطات منها :-

1- أن يكون له سطح ذو معامل احتكاك عالي (أرضيته مثل مهبط الطائرات).

2- أن يكون طوله بالقدر الكافي لتشغيل دورة الاختبار.

3- ميله يكون مناسب لإجراء الاختبار ولا يتسبب في قلب الجرار.

4- لا يكون به بروزات تعيق العمل.

5- أن يكون مصمم بحيث يستخدم في اختبارات الجرارات فقط.

اختبار القدرة علي قضيب الشد

ويجرى على الطريق الخرساني ويتم التحميل علي الجرار المختبر بعدة وسائل منها وضع عدة جرارات خلف الجرار المختبر أو عن طريق جرار واحد يتم زيادة الحمل عليه عن طريق كتم غازات العادم. وهذا الاختبار يتم على عدة مراحل هي :-

أ- اختبار القدرة القصوى بدون أثقال موازنة (مدته ساعتان).

ب_ اختبار القدرة القصوى مع أثقال موازنة (مدته ساعتان).

جـ- 85% من الشد عند القدرة القصوى بدون ومع أثقال موازنة.

وينتهي التشغيل بأحد الحالات التالية:

- الحصول على القيمة القصوى للشد.

- الوصول إلى حدود القيمة القصوى للانزلاق.

- الوصول إلى بعض حدود التشغيل.

وأهمية هذا الاختبار تكمن في أن اختيار الجرار المناسب للعمل مع الآلة الزراعية المناسبة يمكن من خلال ذلك الحصول على كفاءة عالية واقتصادية عالية نتيجة هذا التوافق ويمكن الحصول علي ذلك من خلال هذا الاختبار. وفي كل مرحلة من مراحل هذا الاختبار يجري أخذ القياسات التالية:_

1- قوة الشد الأفقية.

2- السرعة الأمامية للجرار.

3- سرعة العجل الدافع.

4- استهلاك الوقود.

5- درجة حرارة مياه التبريد.

6- درجة حرارة الزيوت.

7- استهلاك الهواء.

8- مستوى الصوت في كابينة القيادة.

9- درجة حرارة الهواء.

10- درجة حرارة العادم.

11- سرعة الرياح.

12- عدد لفات المحرك.

اختبار القدرة على عمود مأخذ القدرة

ويجرى هذا الاختبار في معمل متخصص لذلك به ديناموميتر لقياس الأحمال الواقعة علي عمود مأخذ القدرة والغرض من هذا الاختبار ما يلي:

1- معرفة العلاقة بين عدد لفات المحرك المكافئة والعزم الناتج لتعيين أكبر عزم وعدد لفات المحرك عند هذا العزم.

2- معرفة العلاقة بين عدد لفات المحرك المكافئة وقدرة المحرك الناتجة لتعيين أكبر قدرة وعدد لفات المحرك عند هذه القدرة.

3- معرفة العلاقة بين عدد لفات المحرك المكافئة واستهلاك الوقود الناتج لكل حصان لتعيين أقل استهلاك للوقود لكل حصان وعدد لفات المحرك عند هذا الاستهلاك.

ويتم هذا الاختبار بأن يعلق جهاز فرملي هيدروليكي (دينامومتر) بعمود مأخذ القدرة وتوصل جميع التوصيلات الخاصة بالجهاز من خراطيم مياه وأجهزة قياس ويدار الجرار بدون حمل حتى تصل درجة حرارة مياه التبريد للجرار إلى الدرجة التي يكون فيها موتور الجرار

بكامل قدرة ويحمل بعد ذلك بالجهاز الفرملي الهيدروليكي وتأخذ البيانات وتكرر العملية عدة مرات. وفي كل مرحلة من مراحل هذا الاختبار يجري أخذ القياسات التالية:_

1- قوة التحميل.

2- السرعة الدورانية للمحرك.

3- استهلاك الوقود.

5- درجة حرارة مياه التبريد.

6- درجة حرارة الزيوت.

7- استهلاك الهواء.

8- درجة حرارة الهواء.

9- درجة حرارة العادم.

10- الضغط الجوي.

وبعد الحصول على النتائج يتم وضعها في جداول ورسم المنحنيات اللازمة وهي تعبر عن أداء المحرك للسحب أو بدقة أكثر يبين الاستهلاك النوعي للوقود ويلاحظ أن أخفض قيمة هي أكثرها كفاءة.

11.6. اختبار التحميل على أذرع الشبك الهيدروليكية

ويجرى هذا الاختبار في معمل به ترتيبات مناسبة لإجراء مثل هذا الاختبار. ويتم بان تعلق أذرع الشبك الهيدورليكبة بأحمال على عدة مراحل ويتم أثناء ذلك قياس عدة متغيرات للتعبير عن أداء أجهزة الشبك الهيدروليكية منها:

1- ضغط الزيت اللازم لتشغيل الأذرع.
2- تصرف المضخة اللازمة لضخ الزيت للأذرع.
3- قيمة الحمل الواقع على الأذرع.
4- مدى ثبات الأذرع أثناء التشغيل.
5- ضغط العجلات الخلفية للجرار.
6- الزمن اللازم لرفع الأذرع الهيدروليكية.

Power-takeoff (PTO) *power* is power required by the implement from the PTO shaft of the tractor or engine.

Typical PTO power requirements can be determined using rotary power requirement parameters available from a number of sources. Implement power take-off power can be calculated as قانون قدرة عمود ماخذ القدرة

$$P_{p.t.o} = a + b\,.w + c\,.F$$

Where:

1) $P_{p.t.o}$ is power-takeoff power required by the implement *kW (hp)*; القدرة اللازمة
2) ***w*** is implement working width, *m (ft)*; العرض الشغال
3) ***F*** is material feed rate, *t/h (ton/h)* wet basis; معدل التغذية للمواد
4) ***a, b****, and* ***c*** are machine specific parameters (Table) معاملات محدد للآلة أو الماكنة

جدول رقم (4) يبين متغيرات متطلبات القدرة الدورانية لملحقات الالات الزراعية .

Machine Type	Parameter a kW	b kW/m	c kWh/t	Parameter a hp	b hp/ft	c hph/ton	Range[1] ±%
Baler, small rectangular	2.0	0	1.0[2]	2.7	0	1.2[2]	35
Baler, large rectangular bales	4.0	0	1.3	5.4	0	1.6	35
Baler, large round (var. chamber)	4.0	0	1.1	5.4	0	1.3	50
Baler, large round (fix. chamber)	2.5	0	1.8	3.4	0	2.2	50
Beet harvester[3]	0	4.2	0	0	1.7	0	50
Beet topper	0	7.3	0	0	3.0	0	30
Combine, small grains	20.0	0	3.6[4]	26.8	0	4.4[4]	50
Combine, corn	35.0	0	1.6[4]	46.9	0	2.0[4]	30
Cotton picker	0	9.3	0	0	3.8	0	20
Cotton stripper	0	1.9	0	0	0.8	0	20
Feed mixer	0	0	2.3	0	0	2.8	50
Forage blower	0	0	0.9	0	0	1.1	20
Flail harvester, direct-cut	10.0	0	1.1	13.4	0	1.3	40
Forage harvester, corn silage	6.0	0	3.3[5]	8.0	0	4.0[5]	40
Forage harvester, wilted alfalfa	6.0	0	4.0[5]	8.0	0	4.9[5]	40
Forage harvester, direct-cut	6.0	0	5.7[5]	8.0	0	6.9[5]	40
Forage wagon	0	0	0.3	0	0	0.3	40
Grinder mixer	0	0	4.0	0	0	4.9	50
Manure spreader	0	0	0.2	0	0	0.3	50
Mower, cutterbar	0	1.2	0	0	0.5	0	25
Mower, disk	0	5.0	0	0	2.0	0	30
Mower, flail	0	10.0	0	0	4.1	0	40
Mower-conditioner, cutterbar	0	4.5	0	0	1.8	0	30
Mower-conditioner, disk	0	8.0	0	0	3.3	0	30
Potato harvester[3]	0	10.7	0	0	4.4	0	30
Potato windrower	0	5.1	0	0	2.1	0	30
Rake, side delivery	0	0.4	0	0	0.2	0	50
Rake, rotary	0	2.0	0	0	0.8	0	50
Tedder	0	1.5	0	0	0.6	0	50
Tub grinder, straw	5.0	0	8.4	6.7	0	10.2	50
Tub grinder, alfalfa hay	5.0	0	3.8	6.7	0	4.6	50
Windrower/swather, small grain	0	1.3	0	0	0.5	0	40

[1] Range in average power requirement due to differences in machine design, machine adjustment, and crop conditions.
[2] Increase by 20% for straw.
[3] Total power requirement must include a draft of 11.6 kN/m (±40%) for potato harvesters and 5.6 kN/m (±40%) for beet harvesters. A row spacing of 0.86 m for potatoes and 0.71 m for beets is assumed.
[4] Based upon material-other-than-grain, MOG, throughput for small grains and grain throughput for corn. For a PTO driven machine, reduced parameter a by 10 kW.
[5] Throughput is units of dry matter per hour with a 9 mm (0.35 in.) length of cut. At a specific throughput, a 50% reduction in the length of cut setting or the use of a recutter screen increases power 25%.

مثال 1: عمود مأخذ قدرة ينقل قدرة الى حاصدة الذرة Combine corn احسب مقدار القدرة ، اذا علمت ان معدل التغذية للمواد 3 طن لكل ساعة والعرض الشغال 3 متر ؟

الحل من الجول نستخرج قيم الثوابت a , b , c

(a = 35 Kw ; b = 0 Kw/m ; c = 1.6 Kw.h/t)

F = 3 Ton/hour ; W = 3 m ; $P_{p.t.o}$ = ?

$$P_{p.t.o} = a + b \,.\, w + c \,.\, F$$

$$P_{p.t.o} = 35 + 0 * 3 + 1.6 * 3 = 35 + 4.8 = 39.8 \; Kw$$

مثال 2: عمود مأخذ قدرة ينقل قدرة الى كابسة مستطيلة صغيرة Baler, small rectangular احسب مقدار القدرة بالحصان ، اذا علمت ان معدل التغذية للمواد 1 طن لكل ساعة والعرض الشغال 2 متر ؟

الحل من الجول نستخرج قيم الثوابت a , b , c

(a = 2 Kw ; b = 0 Kw/m ; c = 1 Kw.h/t)

F = 1 Ton/hour ; W = 2 m ; $P_{p.t.o}$ = ?

$$P_{p.t.o} = a + b \,.\, w + c \,.\, F$$

$$P_{p.t.o} = 2 + 0 * 2 + 1 * 1 = 2 + 1 = 3 \; Kw$$

1 h.p = 0.746 Kw

$$P_{p.t.o)_{h.p}} = 3 * 0.746 = 2.238 \; h.p$$

مثال 3: عمود مأخذ قدرة ينقل قدرة إلى جانية بطاطا Potato harvester احسب مقدار القدرة بالحصان ، أذا علمت أن معدل التغذية للمواد 2 طن لكل ساعة والعرض الشغال 2 متر ؟

الحل من الجول نستخرج قيم الثوابت a , b , c

(a = 0 Kw ; b = 10.7 Kw/m ; c = 0 Kw.h/t)

F = 3 Ton/hour ; W = 2 m ; $P_{p.t.o}$ = ?

$$P_{p.t.o} = a + b \,.\, w + c \,.\, F$$

$$P_{p.t.o} = 0 + 10.7 * 2 + 0 * 3 = 21.4 \; Kw$$

1 h.p = 0.746 Kw

$$P_{p.t.o)_{h.p}} = 21.4 * 0.746 = 15.96 \; h.p$$

الفصل السابع

القوابض cultches

7. القوابض Clutches

القوابض هى ترتيبات أو آليات ذات أشكال متعددة وظيفتها التحكم في حركة الوصل والفصل المؤقت .. أى نقل الحركة الدورانية (عزم الدوران) من عمود قائد إلى عمود منقاد ، بحيث يدور الأخير .. ويتوقف ذلك حسب الرغبة بدون أن يتوقف العمود القائد عن الدوران.

ويشترط التطابق التام لمحاور الأعمدة أو للأجزاء الموصلة وأي إنحراف يسيئ إلى عمل القوابض سرعان ما تصبح غير صالحة.

صممت القوابض بصفة عامة من جزأين أساسيين أحدهما قائد والآخر منقاد ، يعشق

الجزء القائد مع الجزء المنقاد عن طريق ذراع خاص أثناء التشغيل ، كما يمكن توقف حركة الدوران بفصل الجزء المنقاد .. بينما يظل الجزء القائد في حالة دوران.

1.7. انواع القوابض Types of Clutches

توجد القوابض بالأنواع الأساسية التالية :-

1. القابض الإحتكاكى.
2. القابض الكهرومغناطيسى.
3. القابض الهيدرليكى.
4. قابض الأمان.

1.1.7. القوابض الاحتكاكية Friction Clutches

تستخدم القوابض الإحتكاكية فى توصيل وفصل حركة دوران عمودين بسرعات عالية وأنواعها كالآتي:-

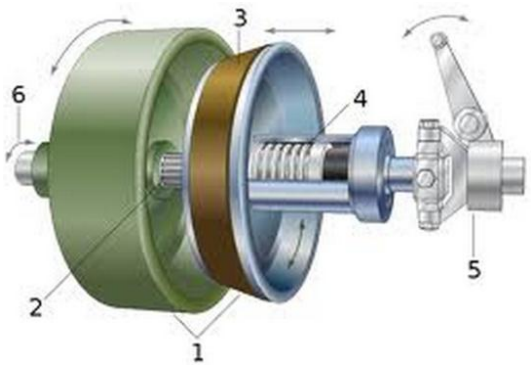
1. القابض الإحتكاكي المخروطى.
2. القابض الإحتكاكي مفرد القرص.
3. القابض الإحتكاكي المتعدد الرقائق.
4. القابض الإحتكاكي ذو الطرد المركزي.

1.1.1.7. القابض الاحتكاكي المخروطي The conical friction Clutch

يتكون القابض الإحتكاكى المخروطى من جزأين أحدهما مخروط داخلى والآخر مخروط خارجى ، أسطحهما المتقابلة مخشنة.

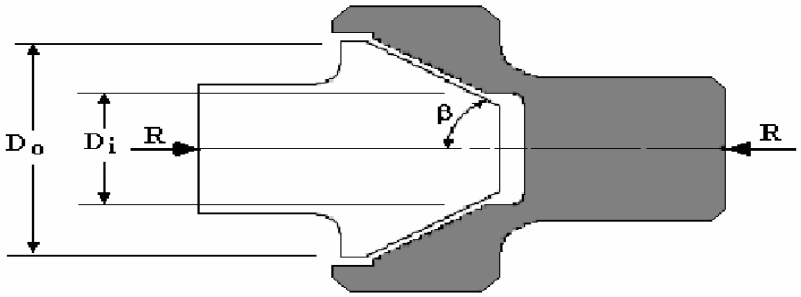
Schematic drawing of a cone clutch:

1. **Cones:** female cone (green), male cone(blue)
2. **Shaft:** male cone is sliding on splines
3. **Friction material:** usually on female cone, here on male cone
4. **Spring:** brings the male cone back after using the clutch control
5. **Clutch control:** separating both cones by pressing
6. **Rotating direction:** both direction of the axis are possible



شكل رقم (1) يبين اجزاء القابض المخروطي

نظريات القابض الاحتكاكي المخروطي



1-Uniform pressure theory نظرية الضغط المنتظم

$$T = \frac{\mu \, . \, R}{3 \, \sin \beta} \cdot \left[\frac{D_\circ^3 - D_i^3}{D_\circ^2 - D_i^2} \right]$$

2-Uniform wear theory نظرية السوفان المنتظم

$$P = \frac{4 \, R}{\pi \left[D_\circ^2 - D_i^2 \right]}$$

حيث ان :

القوة المحورية = R ; القطر الخارجي للمخروط $=D_\circ$; القطر الداخلي للمخروط $=D_i$;

السرعة = N ; نصف زاوية المخروط $=\beta$; العزم $=T$; القدرة $=P$.

مثال: هذه البيانات لقابض احنكاكي مخروطي بزاوية 120 درجة : القطر الخارجي يساوي 80 مليمتر ، القطر الداخلي 20 مليمتر معامل الاحتكاك 0.2 ، السرعة 600 دورة لكل دقيقة ، القدرة المنقولة 200 واط . احسب القوة المحورية اللازمة لضغط النابضين معا باستخدام اولا نظرية الضغط المنتظم وثانيا نظرية السوفان المنتظم

N = 600 rev/min $\beta = 120/2 = 60^o$. Do = 0.08 m $D_i = 0.02$ m $\mu = 0.3$
Power P = 200 W

UNIFORM PRESSURE **الضغط المنتظم**

$$P = \frac{2\pi N.T}{60}$$

$$T = \frac{60P}{2\pi\ N} = \frac{60 \text{ x } 200}{2\pi\ 600} = 3.1831 \text{ Nm}$$

$$T = \frac{\mu R}{3\sin\beta}\left[\frac{D_o^3 - D_i^3}{D_o^2 - D_i^2}\right] = \frac{0.3R}{3\sin 60^o}\left[\frac{0.08^3 - 0.02^3}{0.08^2 - 0.02^2}\right] = 3.1831$$

$$R = \frac{3.1831 \text{ x } 3 \text{ x } \sin(60^o) \text{ x } \left[0.08^2 - 0.02^2\right]}{0.3 \text{ x } \left[0.08^3 - 0.02^3\right]} = 328.172 \text{ N}$$

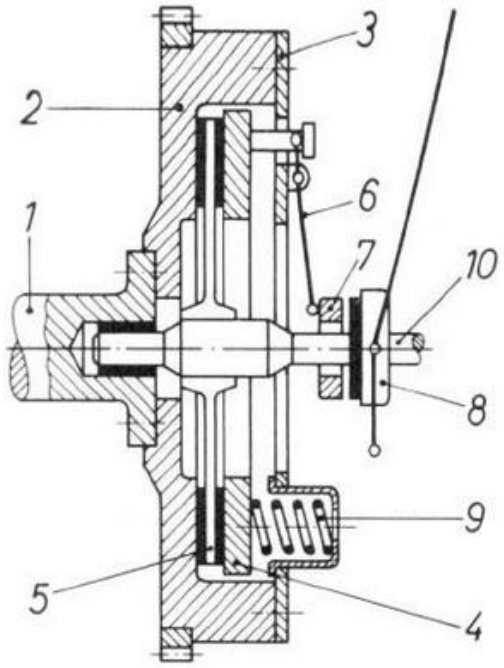
UNIFORM WEAR **السوفان المنتظم**

$$T = \frac{\mu R}{4\sin\beta}(D_o + D_i)$$

$$R = \frac{T \text{ x } 4\sin(\beta i}{\mu(D_o + D_i)} = \frac{3.1832 \text{ x } 4 \text{ x } \sin(60)}{0.3 \text{ x } (0.08 + 0.02)} = 367.553 \text{ N}$$

2.1.1.7. القابض الاحتكاكي مفرد القرص Single – disc friction clutch

يستخدم القابض الاحتكاكي مفرد القرص الموضح بالشكل التالي بالسيارات والساحبات ووسائل النقل المختلفة ، ويتكون هذا القابض من الاجزاء الموضحة في الشكل (2) .



1 = العمود المرفقي
2 = الحدّافة
3 = غطاء القابض
4 = قرص الضغط بالقابض
5 = قرص القابض
6 = ذراع الإعتاق
7 = حلقة الإعتاق
8 = محمل الإعتاق
9 = ياي حلزوني
10 = عمود إدارة صندوق التروس

بنية القابض أحادي القرص المُزود بيايات حلزونية

شكل رقم (2) يبين اجزاء قابض احتكاكي مفرد القرص

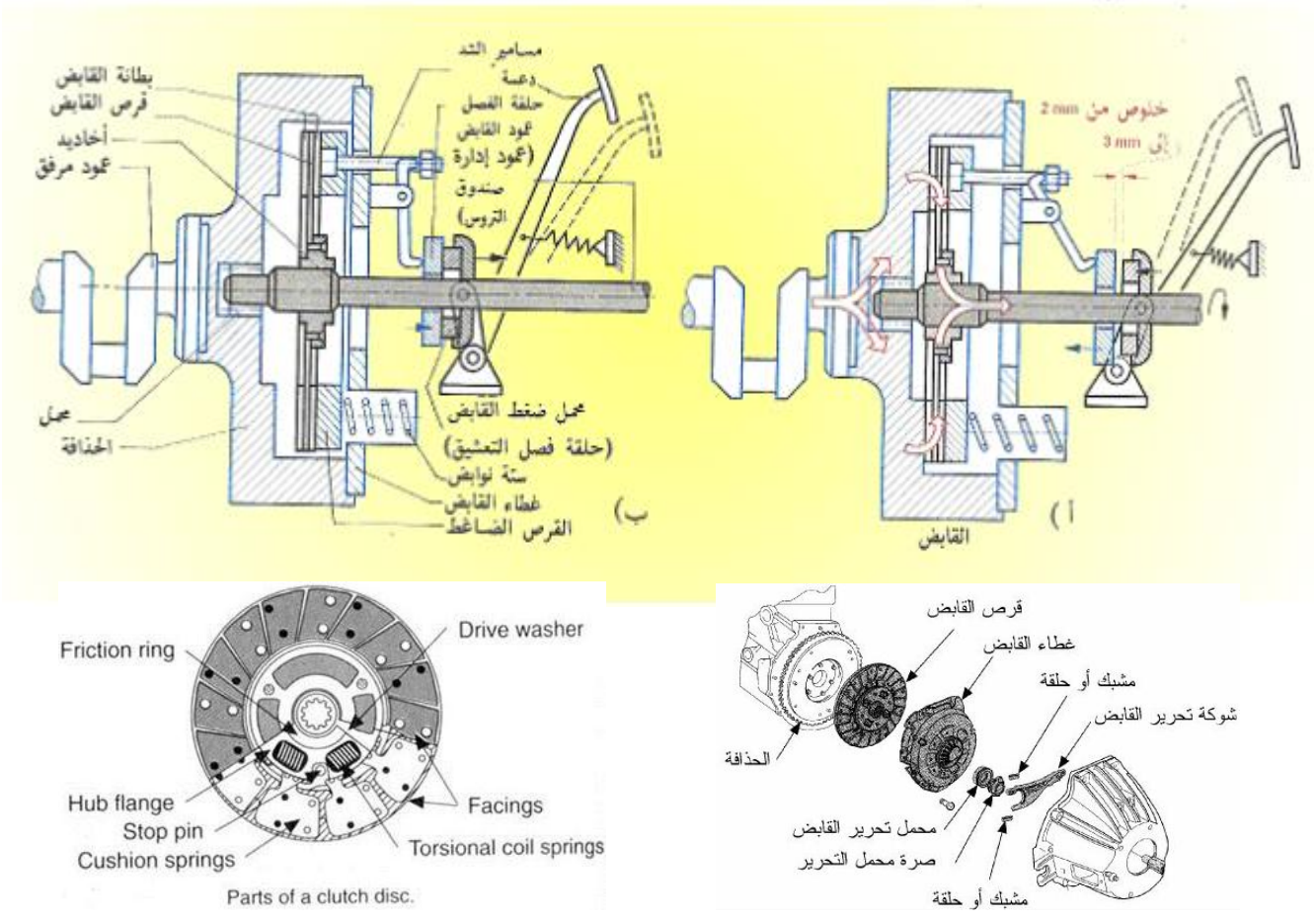
طريقة عمل القابض :

(أ) عملية الفصل:

عند الضغط على دواسة القابض يؤدي إلى تحريك جهاز فصل التعشيق، والأطراف الداخلية لروافع الفصل، مبتعدين عن القرص الضاغط (المقود). وبالتغلب على القوة الضاغطة للنوابض يتحرك القرص الضاغط بعيدا عن قرص القابض الدوار (المقود)، ويفصل مسار انتقال القوة.

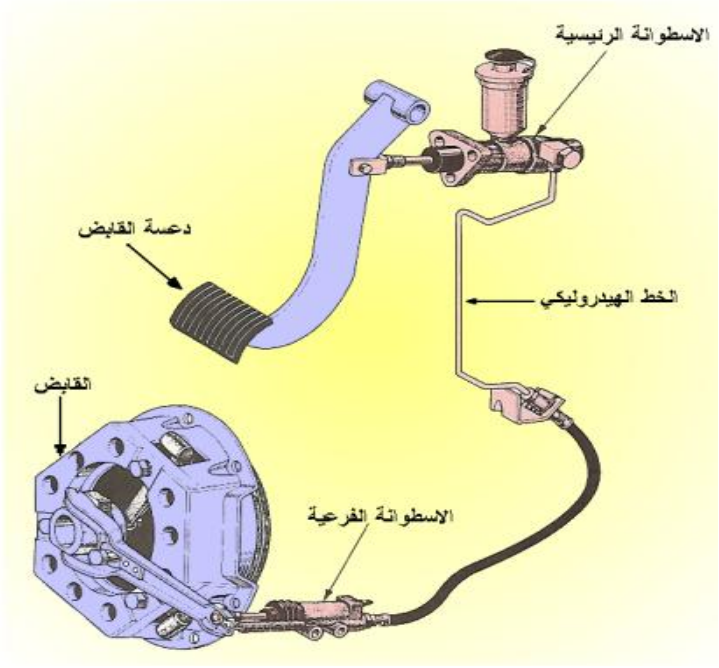
(ب) عملية الوصل:

عندما يرفع الضغط من دواسة القابض يقوم المبيت المثبت بالحذافة بوساطة مسامير ملولبة بإدارة القرص الضاغط، الذي يضغط بدوره قرص القابض على الحذافة، تحت تأثير قوة ضغط النوابض. وتبين الأسهم الحمراء مسار انتقال القوة.



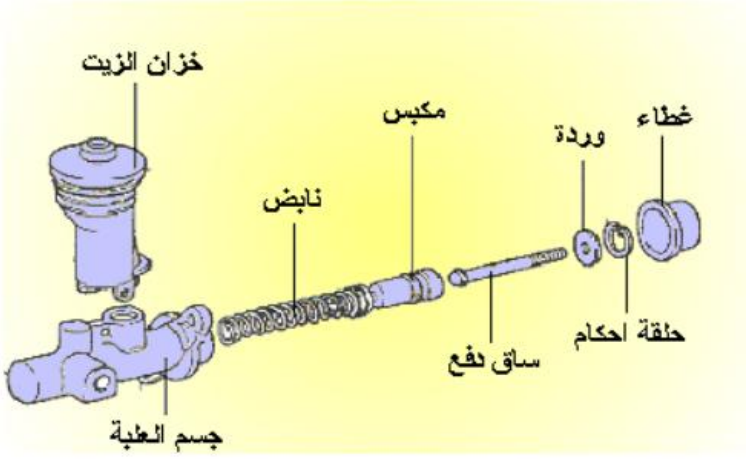
شكل رقم (3) يبين اجزاء قابض احتكاكي مفرد القرص في حالة الفصل والوصل

للقابض علبة رئيسية متصلة بالدواسة " الدعسة " وتسمى الاسطوانة الرئيسية للقابض ، واخرى فرعية متصلة مع ساق الدفع وتسمى الاسطوانة المستقبلة للقابض ، والشكل (4) يوضح مكان الاسطوانة الرئيسية والفرعية للقابض .



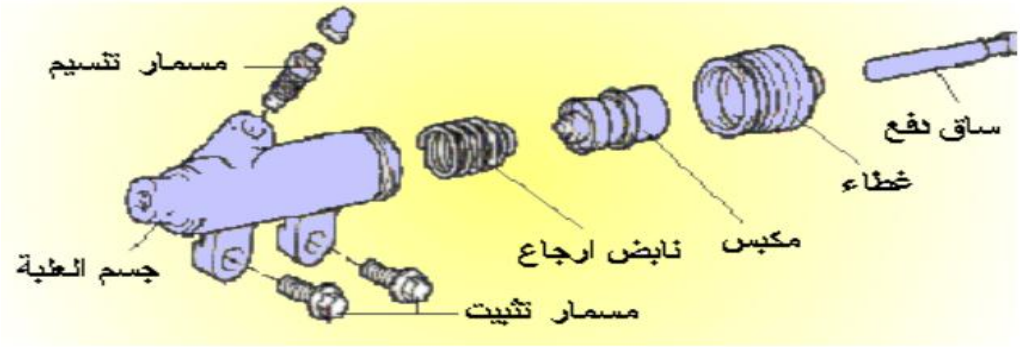
شكل رقم (4) يبين مكان الاسطوانة الرئيسية والفرعية للقابض

حيث تتركب العلبة الرئيسية من أسطوانة رئيسية قصيرة تخرج من نهايتها الأمامية ماسورة تتصل من طرفها الآخر مع العلبة الفرعية وبداخل الأسطوانة يوجد كباس (بستم) مركب عليه من الأمام مانعة تسرب (جلدة رئيسية) وهي تعمل على إحكام الضغط الواقع بين المكبس وجدران الأسطوانة ومن الجهة الخلفية للبستم تتركب مانعة تسرب أخرى (جلدة ثانوية) وذلك لمنع تسرب الزيت للخارج ويركب ذراع الضغط المتصل مع دواسة القابض بتجويف خارجي، داخل البستم وأعلى الأسطوانة الرئيسية يوجد خزان يحتفظ بداخله بزيت فرامل إلى حد معين وأعلاه يوجد غطاء علوي يقي الزيت من الأوساخ والمياه. والشكل رقم (5) أدناه يوضح أجزاء العلبة الرئيسية.



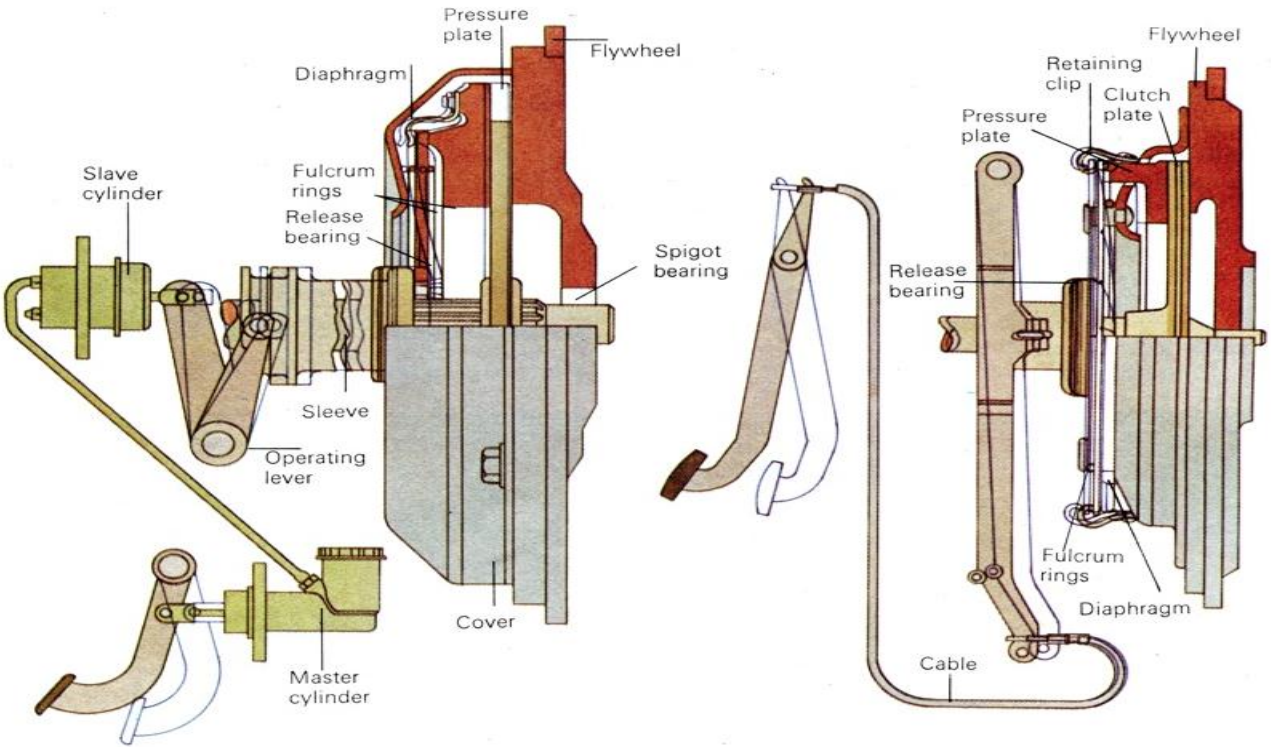
شكل رقم (5) يبين اجزاء العلبة الرئيسية للقابض

أما الأسطوانة المستقبلة للقابض (العلبة الفرعية للكلاتش) فإنها تحتوي أيضا على مكبس صغير تركب عليه مانعة تسرب (جلدة) لتعمل على إحكام الغلق وعدم تسرب الضغط والزيت وتتصل العلبة مع ذراع تشغيل القابض.والشكل رقم (6) أدناه يوضح أجزاء العلبة الفرعية.



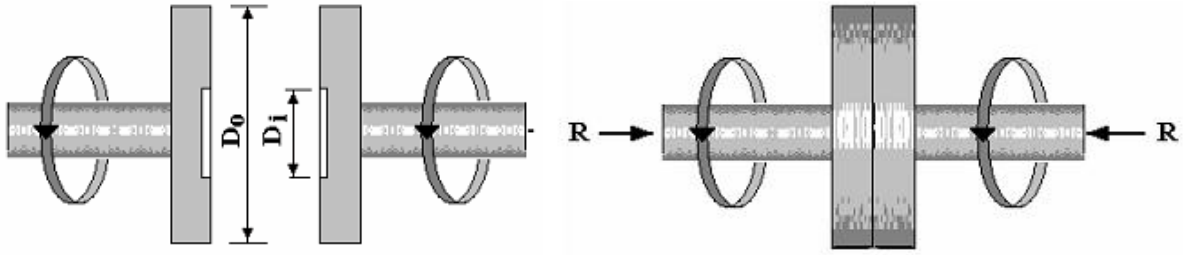
شكل رقم (6) يبين اجزاء العلبة الفرعية للقابض

الشكل (7) يبين مقارنة بين منظومة قابض سلكي ومنظومة قابض هيدروليكي



شكل رقم (7) منظومة قابض سلكي (يمين) ومنظومة قابض هيدروليكي (يسار).

أبعاد القابض الاحتكاكي



شكل رقم (8) يبين ابعاد القابض الاحتكاكي

1. Uniform pressure theory نظرية الضغط المنتظم

$$T = \frac{\mu \,.\, R}{3} \,.\, \left[\frac{D_\circ^3 - D_i^3}{D_\circ^2 - D_i^2}\right]$$

2. Uniform wear theory نظرية السوفان المنتظم

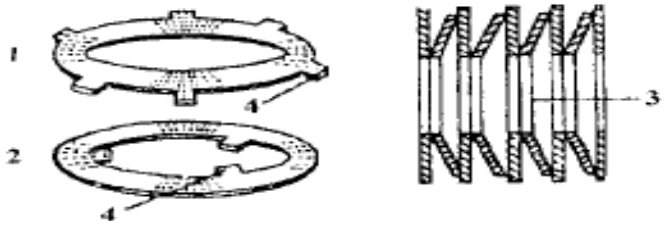
$$T = \frac{\mu\, R}{4} \,.\, \left[D_\circ^2 - D_i^2\right]$$

3.1.1.7. القابض الاحتكاكي المتعدد الرقائق Multi - leaf friction Clutch

يتكون القابض الإحتكاكي المتعدد الرقائق من عدة رقائق معدنية من الصلب على هيئة أقراص كما هو موضح بالشكل التالي . ترتب الرقائق بانتظام ، بحيث يكون قرص خارجي ثم قرص داخلي ثم قرص خارجي أخر ..... وهكذا ، بحيث يدور بعضها كجزء واحد مع الحدافة ، بينما يدور الجزء الآخر مع المحور الرئيسي لصندوق تروس السرعات . ؛ عزم الدوران من القابض المتعدد الرقائق عن طريق الإحتكاك.

يفضل استخدام القابض المتعدد الرقائق نظراً لبساطة تصميمه وقدرته على نقل عزم دوران أكبر.

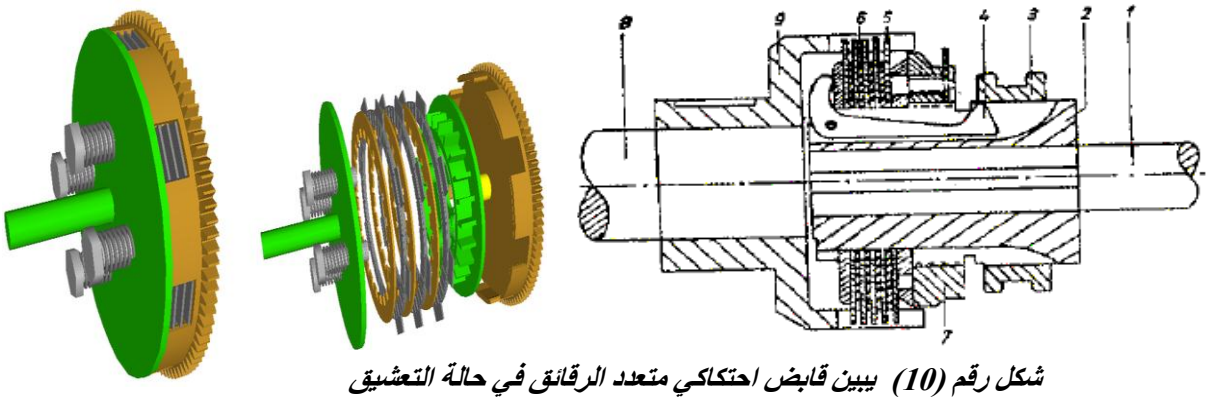
تتوقف قياسات الرقائق على قطر وسمك كل منهم ، والمجموع الكلى لهذه الرقائق ، وعلى مقدار عزم الدوران المنقول.



شكل رقم (9) يبين رقائق القابض (الاقراص)

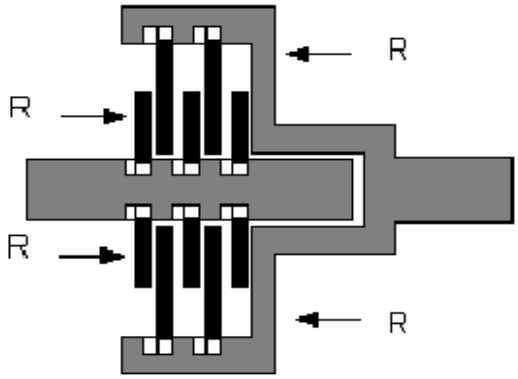
1- القرص الخارجي.
2- القرص الداخلي.
3- مجموعة من الأقراص (الرقائق).
4- حدبة.

الشكل التالي يوضح قابض متعدد الرقائق أثناء التعشيق لنقل الحركة وعزم الدوران من العمود القائد 1 ، وذلك عند تحرك مقبض الرافعة المثبتة بالصندوق الخارجي لمجموعة تروس السرعات ، لتتزلق الحلقة الأسطوانية 3 لتضغط على المجموعة المتعددة من الرقائق الخارجية والداخلية 5 ، 6 لتقابل بعضها البعض مولدة ضغطاً عالياً بينهم داخل الوعاء الأسطواني للقابض 9 ليتم نقل الحركة وعزم الدوران إلى العمود المنقاد 8.



شكل رقم (10) يبين قابض احتكاكي متعدد الرقائق في حالة التعشيق

1. العمود القائد.
2. الغلاف الداخلي للقابض.
3. حلقة متحركة.
4. ذراع تحكم.
5. الرقائق الخارجية التي على شكل أقراص ببروز خارجي.
6. الرقائق الداخلية التي على شكل أقراص ببروز داخلي.
7. حلقة لضبط إنضغاط الرقائق.
8. العمود المنقاد.
9. الغلاف الأسطواني الخارجي للقابض.



1. Uniform pressure theory نظرية الضغط المنتظم

$$T = \frac{\mu \,.\, R}{3} \cdot \left[\frac{D_{\circ}^3 - D_i^3}{D_{\circ}^2 - D_i^2}\right] .n$$

2. Uniform wear theory نظرية السوفان المنتظم

$$T = \frac{\mu\, R}{4} \,.\left[D_{\circ}^2 - D_i^2\right].n \;;$$

$n =$ عدد اسطح التماس

مثال: هذه البيانات لقابض احتكاكي متعدد الاقراص : القطر الخارجي يساوي 150 مليمتر ، القطر الداخلي 80 مليمتر معامل الاحتكاك 0.25 ، السرعة 2000 دورة لكل دقيقة ، القوة المحورية 600 نيوتن . احسب اعلى قدرة ممكنة لعمل القابض بدون حدوث انزلاق باستخدام اولا نظرية الضغط المنتظم وثانيا نظرية السوفان المنتظم .

$n = 5$
$N = 2000$ rev/min
$D_o = 0.15$ m
$D_i = 0.08$ m
$\mu = 0.25$
$R = 600$ N

Uniform Pressure

$$T = \frac{\mu R}{3}\frac{\left(D_o^3 - D_i^3\right)}{\left(D_o - D_i\right)}n = \frac{0.25 \text{ x } 600}{3}\frac{\left(0.15^3 - 0.08^3\right)}{\left(0.15 - 0.08\right)} \text{x } 5 = 44.457 \text{ Nm}$$

$$\text{Power} = \frac{2\pi NT}{60} = \frac{2\pi \text{ x } 2000 \text{ x } 44.457}{60} = 9311 \text{ Watts}$$

Uniform Wear

$$T = \frac{\mu R}{4}\left(D_o + D_i\right)n = \frac{0.25 \text{ x } 600}{4}\left(0.15 + 0.08\right) \text{x } 5 = 43.125 \text{ Nm}$$

$$\text{Power} = \frac{2\pi NT}{60} = \frac{2\pi \text{ x } 2000 \text{ x } 43.125}{60} = 9032 \text{ Watts}$$

4.1.1.7. القابض الاحتكاكي ذو الطرد المركزي The centrifugal friction Clutch

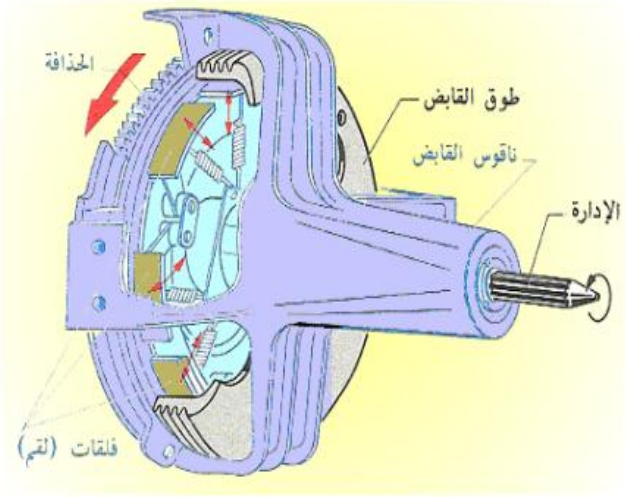
يستخدم القابض الإحتكاكي ذو الطرد المركزي فدى وصل وفصل عمودين أحدهما قائد والآخر منقاد.

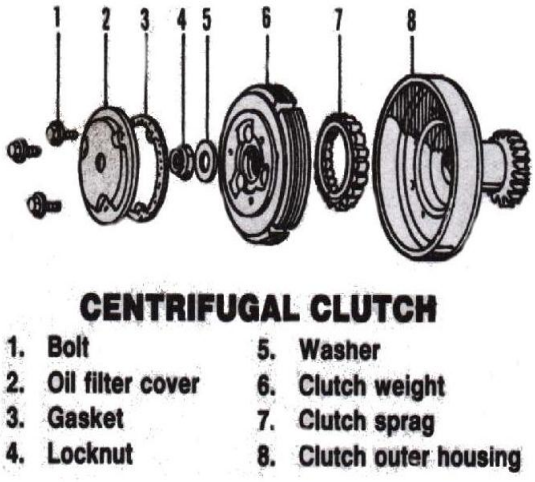
تتلخص فكرة قابض الطرد المركزي في تثبيت أثقال صغيرة (لقم مغطاة بمادة إحتكاكية) بوضع يسمح لها بالحركة في إتجاه نصف قطري داخل طوق القابض (وعاء أسطواني صغير)، حيث تتم عملية نقل عزم الدوران من العمود القائد إلى العمود المنقاد عند وصول العمود القائد إلى سرعة معينة ، وبذلك يساعد قابض الطرد المركزي في نقل عزم الدوران بسهولة وبدون تحميل في البداية.

ويستغل القوة الطاردة المركزية لأثقال صغيرة نسبية، يمكنها التحرك في اتجاه نصف قطري، وتزداد هذه القوة بازدياد سرعة الدوران، وتستغل هذه القوة عن طريق توصيلها عبر روافع، لتضغط أقراص القابض العادية على القرص المدار، بواسطة القرص الضاغط ويحدث نفس التأثير عندما تتحرك أثقال على هيئة قطع معدنية أسطوانية الشكل على مدا رج مائلة لتنتج قوة في الاتجاه الطولي. وكان التصميمان معروفين تماماً منذ بدأ انتشار القابض ذاتي التشغيل.

ويوجد في الوقت الحاضر تصميم يختلف عما سبق الإشارة إليه من قوابض القوة الطاردة المركزية، يجري تركيبه بواسطة إحدى الشركات في سيارات ركوب الأشخاص. وتمثل مجموعة الإدارة الميكانيكية السلسة(غير المتدرجة)، نوعا إضافيا من أنواع مجموعات الإدارة.

وتسمى الأجزاء المتشابهة لأحذية الفرملة باللقم، وترتكز هذه على طوق القابض بقوة أكبر كلما حركت دعسة الوقود، وبذلك يدار طوق القابض والعمود المدار المتصل به شيئا فشيئا، وعند سرعة دوران 1200 لفة في الدقيقة يبدأ اشتداد إحكام القوة وعند سرعة دوران تتراوح بين 1800 لفة في الدقيقة و2000 لفة في الدقيقة ، يصبح هذا الاتصال مستقرا للمجال الكلي لسرعة دوران المحرك. وينتج عن هذا الأداء بدءا سلساً للحركة.





شكل رقم (11) يبين القابض الاحتكاكي ذو الطرد المركزي

2.1.7. القوابض الكهرومغناطيسية electromagnetic clutch Clutches

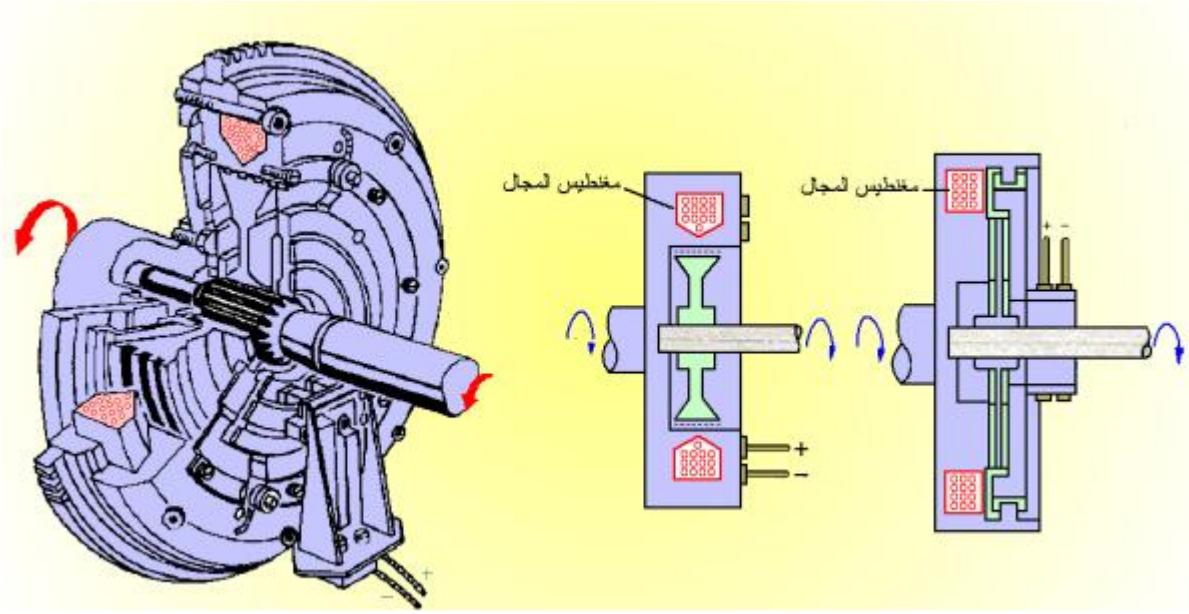
توجد القوابض الكهرومغناطيسية ذات أسطح محتكة بأشكال مختلفة ، مثل القابض الكهرومغناطيسي مفرد القرص ، والمتعدد الأقراص ، إلا أن أكثرها إنتشاراً هي القوابض الكهرومغناطيسية ذات الأقراص.

فكرة القابض المغناطيسي

تتخلص فكرة القابض الكهرومغناطيسي بإستخدام حافظة مغناطيسية بجوار الأقراص (الرقائق الإحتكاكية) ، كما يزود بملف كهربائي لزيادة قوى الجذب ، يتم توصيله بأسلاك كهربائية وذلك لإمكان تشغيله عن بعد ، لذلك فإنه يعتبر من القوابض الإحتكاكية ، حيث تتضغط الأسطح المحتكة بواسطة قوى الجذب المغناطيسي الكهربائي (الكهرومغناطيسي).

تستخدم القوابض الكهرومغناطيسية في التحكم في حركة الوصل والفصل المؤقت بصناديق تروس ماكينات التشغيل وأيضاً بالسيارات.

وقد كان معروفا في الماكينات الكهربائية، حيث أثبت صلاحيته قبل استخدامه في المركبات. وباستخدام هذا القابض مع صندوق تروس تغيير سرعات متدرجة وأجهزة أخرى (مثل لوحة إنذار تحكم ووحدة حساب توقيت تغيير السرعات وصندوق مرحلات وصمام خنق إضافي وجهاز اختيار) يمكن التوصل إلى تشغيل ذاتي (أوتوماتيكي) تام للمركبة يستغنى فيه عن دعسة القابض، وقد أثبت هذا النوع صلاحيته لطراز معروف من سيارات ركوب الأشخاص.



شكل رقم (12) يبين القابض الكهرومغناطيسي

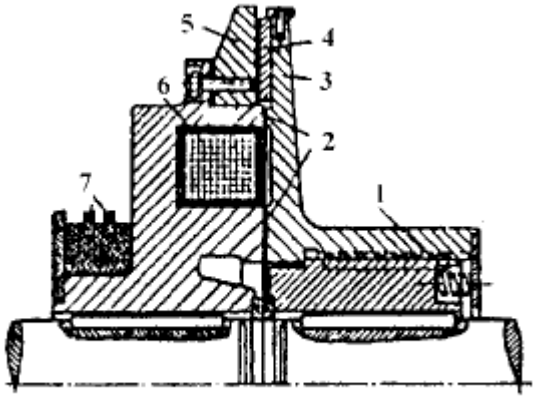
1.2.1.7 القابض الكهرومغناطيسي مفرد القرص

The single – disc electromagnetic clutch

عند توصيل التيار الكهربائى للقابض الكهرومغناطيسى مفرد القرص الموضح بالشكل

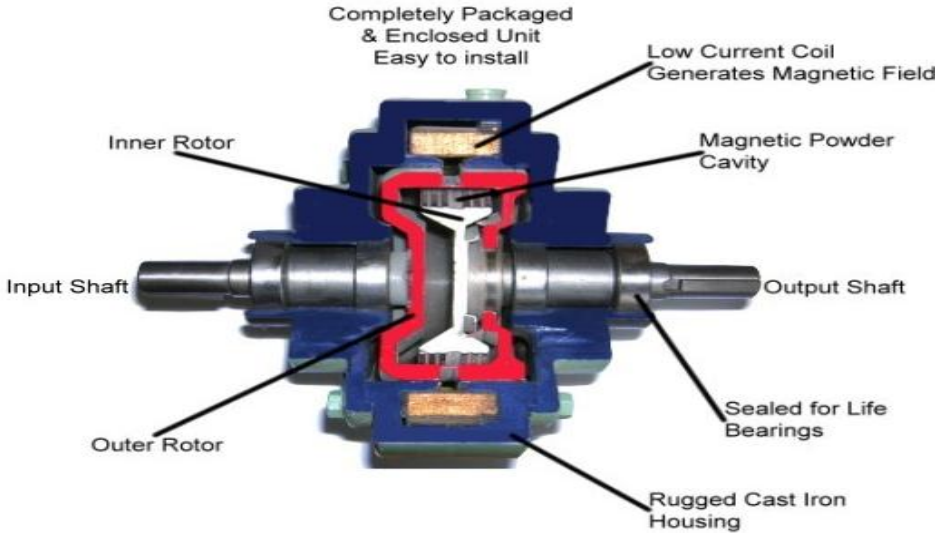
التالي ، ينشأ مجال مغناطيسي حول الملف ليجذب قرص الوصل المزود ببطانة إحتكاكية والقابلة للحركة محورياً نحو القرص الإحتكاكي ، المثبت على النصف الآخر من القابض ليتم نقل عزم الدوران من العمود القائد إلى العمود المنقاد.

بعد قطع التيار الكهربائي عن القابض الكهرومغناطيسي يعود قرص الوصل إلى وضعه الإبتدائي بعيداً عن القرص الإحتكاكي ، عن طريق قوى شد النوابض اللولبية (الياءات) المثبتة به.



1- نوابض لولبية .. (ياءات).
2- أقطاب.
3- قرص الوصل.
4- بطانة إحتكاكية.
5- قرص إحتكاكي.
6- ملف كهربائي.
7- حلقات إنزلاق.

شكل (13) يبين القابض الكهرومغناطيسي مفرد القرص



يستخدم القابض الكهرومغناطيسي مفرد القرص في حركة الوصل والفصل ، للتعشيق المؤقت بأجهزة نقل الحركة بسيارات النقل والآليات والشاحنات الكبيرة ، كما يستخدم في صناديق تروس ماكينات الإنتاج ذات القدرات الصغيرة.

3.1.7. القابض الهيدروليكي The hydraulic clutch

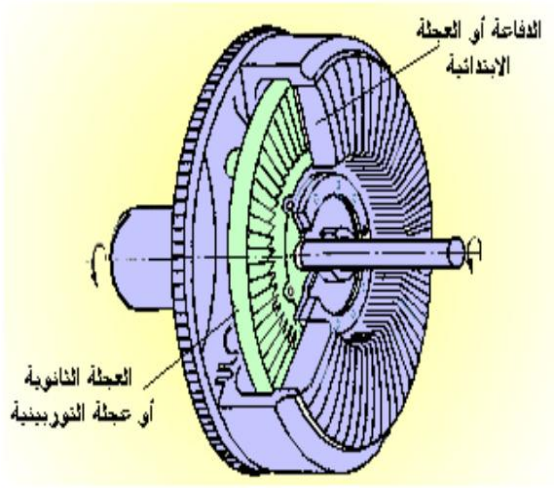
قبل مناقشة القابض الهيدروليكي أو الهيدرودينمك بوصل نقل الحركة من الجزء القائد الى الجزء المنقاد ، فانه يجب تسليط الضوء على كلمة الهيدروليكا.

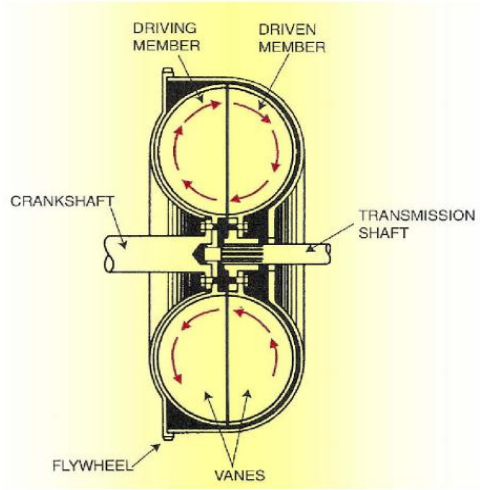
الهيدروليكا (Hydraulic) هي علم السوائل الذي يحتوي على الماء والزيت والذي يعرف بعدم قابليته للانضغاط ، اي أن الوائل لا يقل حجمها بالضغط ، فعلى ذلك فهي تستخدم في أجهزة نقل الحركة .

ويتكون من دفاعة (مضخة أو عجلة ابتدائية) متصلة بعمود المرفق بالإضافة إلى عجلة توربينية أو عجلة ثانوية مثبتة بعمود إدارة صندوق التروس، وليس بين العضوين الدوارين أي اتصال محكم وهما مركبان في مبيت مغلق واحد، وتدفع مضخة كمية محددة من الزيت إلى الحيز الواقع بين العجلتين المحتويتين على أرياش، فتؤدي الحركة الدورانية للعجلة الابتدائية إلى دفع العجلة الثانوية معها، وبذلك تتم عملية الإقران. يتمتع بالمزايا التالية:

- تشغيل مرن (إمكان التفويت والانزلاق المستمر – بدء إدارة سلس).
- دوران قليل الضوضاء.
- نقل عزم الدوران مع تخميد الاهتزازات.
- تكاد تكون الإدارة خالية من التآكل.

ولا يستخدم هذا النوع إلا مع طراز واحد من صناديق التروس وبالتالي فإنه اقل انتشاراً من محول العزم ويتمثل الاختلاف بينهما في العجلة الدليلية والمركبة في محول العزم.





شكل رقم (14) يبين قابض هيدروليكي

كفاءة القابض الهيدروليكي Hydraulic efficiency clutch

القابض الهيدروليكي يجعل نقل العزم من المحرك إلى باقي أجهزة نقل الحركة يتم بنعومة. فعند السرعات العالية تكون كفاءة الاتصال عالية جداً وتعطي نسبة جيدة للعضو الدائر والعضو المدار، بينما عند السرعات المتوسطة تقل فعالية الاتصال وبالتالي تقل القدرة المنقولة.

أما في السرعات البطيئة فتصبح القدرة المنقولة صغيرة جداً ويحدث انزلاق بين الأسطح الدائرة والزيت. وهذا عمل القابض الهيدروليكي، فعندما تكون سرعة المحرك مختلفة لا يحدث أي نقل للقدرة، وعندما تزداد سرعة المحرك تزداد القدرة المنقولة وكفاءة نقل القدرة بهذا تستبعد الخشونة في عملية فصل ووصل القدرة حيث تتم بنعومة، مما يقلل التآكل والجهود التي قد تنشأ من خشونة النقل في حالة القابض أالاحتكاكي.

7-1-3-1. وظيفة ومكونات وعمل انواع محولات العزوم

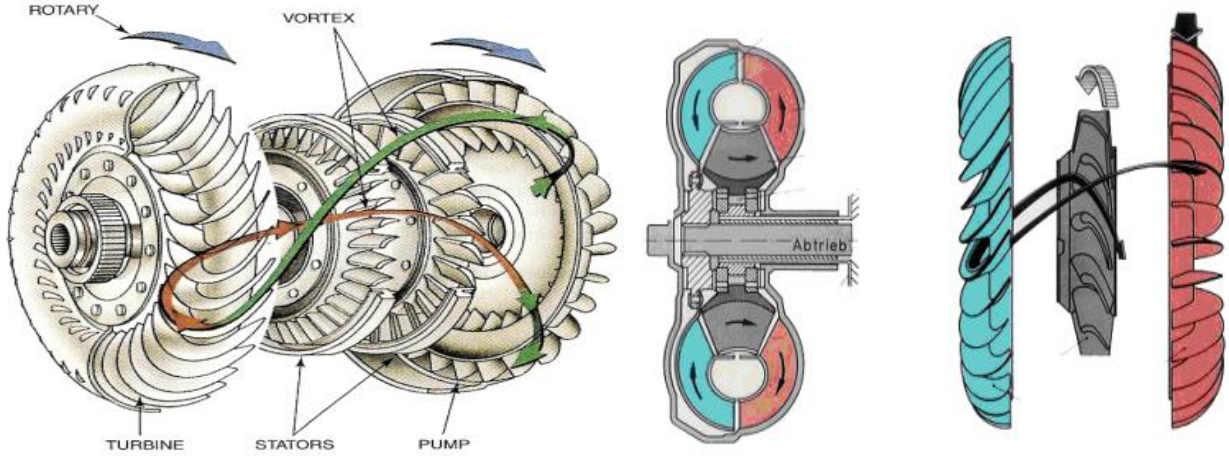
يركب محول العزم بعد المحرك مباشرة مثل القابض الهيدروليكي ويأخذ حركته من عمود المرفق للمحرك. ويملأ محول العزم بسائل ناقل القدرة الذاتي ويقوم محول العزم إما بنقل عزم المحرك كما هو إلى ناقل القدرة الذاتي أو يقوم بمضاعفة العزم الناتج من المحرك ونقل هذا العزم المضاعف إلى ناقل القدرة الذاتي. في السيارات المزودة بناقل حركة أوتوماتيكي، يعمل محول العزم كحذافة للمحرك وبذلك يكون وجود حذافة ثقيلة مثل تلك الموجودة في ناقل الحركة اليدوي غير ضروري.

ويتكون محول العزم من مضخة والتي تدار بواسطة عمود المرفق بالمحرك وتوربين الدفع والموصل إلى عمود الدخل لناقل القدرة الذاتي ومحول العزم شكل (15) وهو ما يعرف (بالبطيخة) يشابه في نظرية عمله القابض الهيدروليكي السابق ذكرها. في محول العزم العضو الدائر يسمى بالمضخة بينما العضو المدار يسمى التوربين

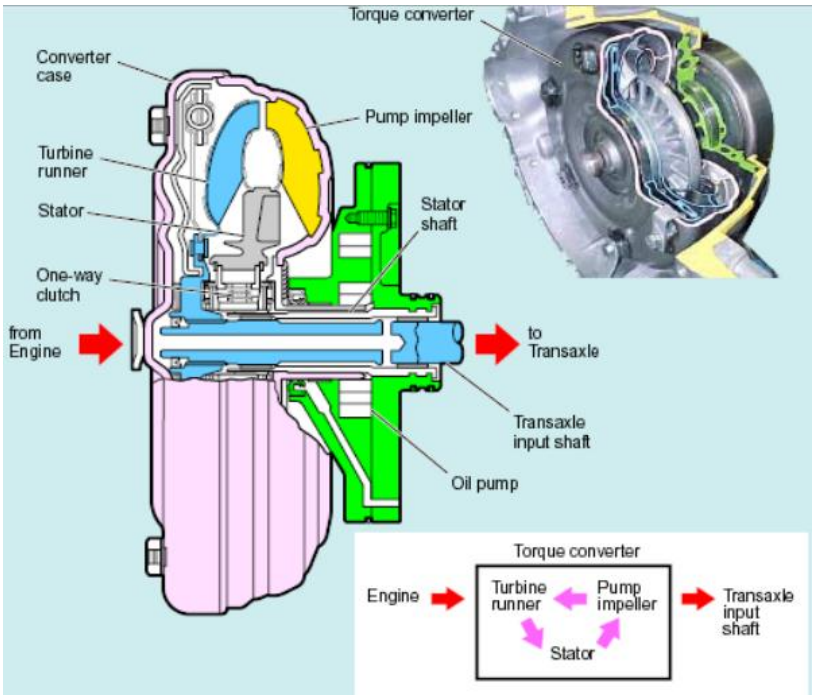
7-1-3-2. الأجزاء الرئيسية لمحول العزم

كما موضح في الشكل (15) فان الاجزاء الرئيسية لمحول العزم كما يلي :

1. العجلة المضخية وهي العجلة القائدة
2. العجلة التوربينية وهي العجلة المنقاد
3. عجلة دليلية وهي عجلة وسيطة تعمل على تحويل مسار الزيت



شكل رقم (15) يبين محول العزوم



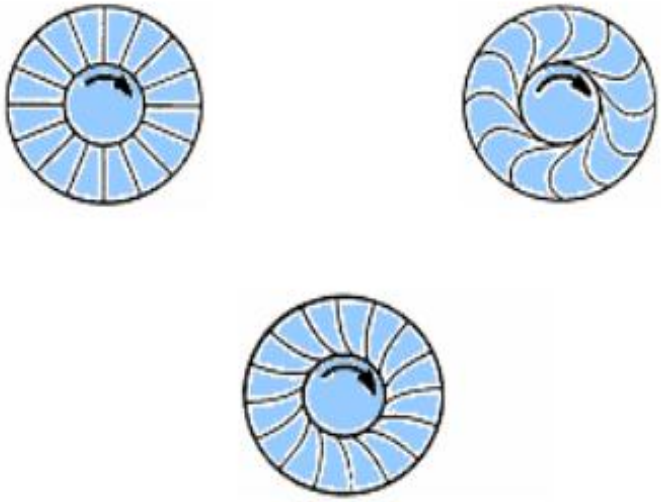
شكل رقم (16) يبين محول العزوم

7-1-3-3. وظائف محول العزوم

- مضاعفة العزم الناتج من المحرك
- يعمل كقابض أوتوماتيكي لنقل (أو عدم نقل) عزم المحرك إلى ناقل الحركة
- امتصاص الذبذبات الالتوائية للمحرك ومجموعة نقل الحركة
- يعمل كحذافة لسهولة دوران المحرك
- إدارة مضخة الزيت الخاصة بنظام التحكم الهيدروليكي

محول العزم يشابه في نظرية عمله القابض الهيدروليكي كما ذكرنا ، ولكن يوجد اختلاف واحد هام جداً وهو أن الوصلة الهيدروليكية يمكنها نقل عزم المحرك بالكامل ولكنها لا تستطيع مضاعفة هذا العزم، وهو ما يستطيعه محول العزم ومقدار مضاعفة العزم يتوقف على نوع وتصميم المحرك، وكذلك سرعة المحرك، وقابلية مضاعفة العزم تجعل من الممكن خفض عدد التروس المستخدمة في النقل الأوتوماتيكي.

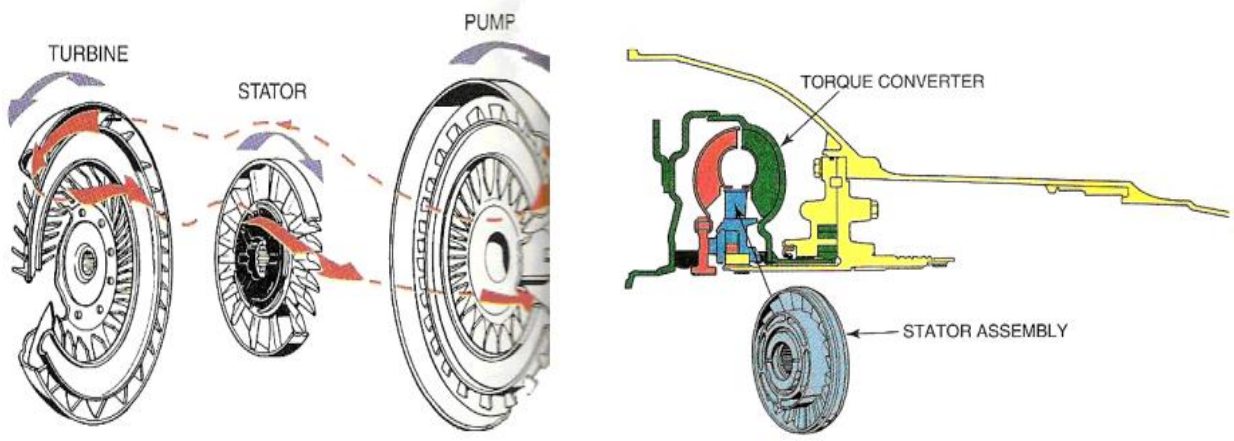
في محول العزم تصمم الريش في كل من العجلة المضخية والعجلة التوربينية على شكل مقوس لتسهيل التدفق الدوامي المناسب، ويلاحظ اتجاه تقويس ريش العجلة المضخية عكس اتجاه ريش العجلة التوربينية لغرض تحسين التدفق انظر شكل (17)



شكل رقم (17) يبين تقويس ريش المضخة

العجلة الدليلية Stator

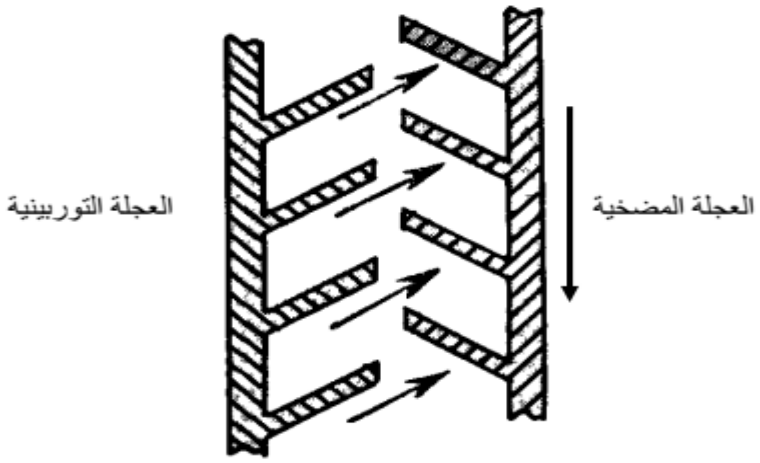
إن سر مضاعفة العزم يقع على العجلة الدليلية Stator، وهي عضو ساكن وهي عبارة عن عجلة صغيرة تقع بين العجلة المضخية والعجلة التوربينية انظر شكل (18) .



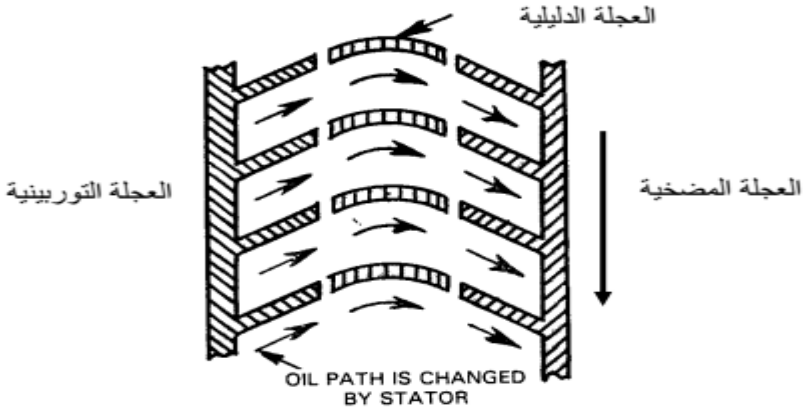
شكل رقم (18) يبين محول العزم مع وجود العجلة الدليلة

وظيفة العجلة الدليلية أن تعترض الزيت المندفع من العجلة التوربينية، ثم توجه مسار هذا الزيت ليدخل بسهولة إلى العجلة المضخية، فعندما تبدأ العجلة المضخية بالدوران يطرد الزيت إلى ريش العجلة التوربينية المقوسة وتلف حول الريش ٠ وبدلاً من العودة إلى العجلة المضخية مباشرةً فإنه يمر أولاً خلال العجلة الدليلية Stator٠ وفي الوصلة الهيدروليكية التي سبق شرحها حيث لا تستخدم Stator العجلة الدليلية، وبالتالي فإن كفاءة نقل العزم تهبط لأن زيت العجلة التوربينية يدخل إلى العجلة المضخية، عند زوايا متغيره تتوقف على السرعة وحالة الحمل، زوايا الدخول هذه يمكن أن تعمل ضد حركة العجلة المضخية

وبالتالي تمتص جزءاً من العزم والـ Stator مركب على قابض ذي اتجاه واحد يسمح له بالحركة الدورانية في اتجاه العجلة المضخية وأي محاولة لإدارته عكس العجلة المضخية فإنه يمسك في عمود القابض. والشكل رقم (19) يوضح كيفية نقل الزيت بدون وجود العجلة الدليلية، وكما هو واضح عند خروج الزيت من العجلة التوربينية يحاول أن يعود للعجلة المضخية ولأن اتجاه تدفق الزيت يكون عكس اتجاه العجلة المضخية فهو إذن يعمل ضدها ويعوق الحركة الدورانية، وبالتالي يهبط العزم المنقول.



شكل رقم (19) يبين حركة الزيت من التوربين الى المضخة ليست بسيره



شكل رقم (20) يبين خلال العجلة الدليلية تم حركة الزيت من التوربين الى المضخة بسهولة

وكما موضح بالشكل (20) مع وجود العجلة الدليلية نجد ان ريش العجلة الدليلية مقوسة بطريق الزيت الخارج من ريش التوربين . ثم توجه مساره في اتجاه يسمح لتيار الزيت بدخول ريش المضخة بنعومة وقوة دفع تضاف الى قوة المضخة ، وبالتالي زيادة العزم المنقول .

4.1.7. قابض أمان Safety Clutch

تصمم قوابض الأمان بحيث تكون ذات عنصر قابل للتحطيم عند زيادة الحمل ، لقطع الاتصال بين الجزء القائد والجزء المنقاد ، ولعدم حدوث إتلاف أو تحطيم أجزاء هامة غالية الثمن بالماكينات ، الشكل التالي يوضح إحدى أمثلة لقوابض الأمان ، لذلك يعتبر قابض الأمان من أبسط وأهم التركيبات الخاصة بحماية الماكينة عند وجود أحمال زائد.

يشترط أن يكون العنصر القابل للتحطيم (التيلة أو المسمار) مصنوع بمادة وأبعاد خاصة يناسب عزم الدوران المنقول ، كما يجب تركيبه في أماكن سهلة (بالقرب من متناول اليد) حتى يمكن إستبداله بسهولة.

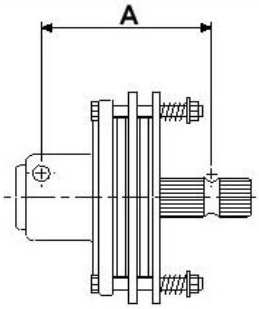
شكل رقم (21) يبين قابض امان

Heavy Duty Units allow PTO driven implements to freewheel with adjustable safety protection under load.

Prevents expensive damage to internal tractor PTO packs.
Prevents single clutch tractors from being driven forward by PTO over-run.
Integral heavy duty adjustable disc type safety clutch protects PTO drive line.

40 HP Capacity - 150mm (6") Diameter

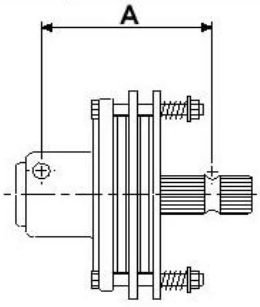
Part No.	DESCRIPTION
B9164	1 3/8" x 6 spline male / female



A = 170mm
(6.7")

60 HP Capacity - 200mm (8") Diameter

Part No.	DESCRIPTION
B9605	1 3/8" x 6 spline male / female



A = 185mm
(7.3")

REMEMBER THIS!

To adjust Standard Duty (Silver or Gold Spring) BARE-Co PTO clutches:

Compress springs fully then back off 2 turns.
Fine tune so that the clutch slips occasionaly
Once per year release springs completely and allow clutch to slip to polish pressure plate.

When Fitting Clutch:	
Pair of 1/2" dia Clamp Bolts	*75 ft lbs*
Pair of 5/8 " dia Clamp Bolts	*150 ft lbs*
Single Cotter Clamp Bolt	*100 ft lbs*

Note: LOOSE BOLTS = STRIPPED SPLINES.

2.7. الأسئلة

س1/ هذه البيانات لقابض احنكاكي مخروطي بزاوية 80 درجة : القطر الخارجي يساوي 110 مليمتر ، القطر الداخلي 30 مليمتر معامل الاحتكاك 0.23 ، السرعة 1000 دورة لكل دقيقة ، القوة المحورية 800 نيوتن . احسب العزم والقدرة المنقولة في القابض باستخدام اولا نظرية الضغط المنتظم وثانيا نظرية السوفان المنتظم ؟

س2/ هذه البيانات لقابض احنكاكي مخروطي بزاوية 100 درجة : القطر الخارجي يساوي 120 مليمتر ، القطر الداخلي 20 مليمتر معامل الاحتكاك 0.3 ، السرعة 3000 دورة لكل دقيقة ، القدرة المنقولة 800 واط. احسب القوة المحورية المسموحة بدون حساب الانزلاق باستخدام اولا نظرية الضغط المنتظم وثانيا نظرية السوفان المنتظم ؟

س3/ هذه البيانات لقابض احتكاكي متعدد الاقراص : القطر الخارجي يساوي 160 مليمتر ، القطر الداخلي 80 مليمتر معامل الاحتكاك 0.28 ، السرعة 4000 دورة لكل دقيقة ، القوة المحورية 460 نيوتن ، القدرة بدون انزلاق 20 كيلوواط . احسب عدد الاقراص المطلوبة باستخدام اولا نظرية الضغط المنتظم وثانيا نظرية السوفان المنتظم ؟

س4/ هذه البيانات لقابض احتكاكي متعدد الاقراص : القطر الخارجي يساوي 150 مليمتر ، القطر الداخلي 30 مليمتر معامل الاحتكاك 0.4 ، السرعة 1500 دورة لكل دقيقة ، القوة المحورية 400 نيوتن ، عدد الاقراص ثلاثة . احسب العزم والقدرة المستخدمة بدون انزلاق باستخدام اولا نظرية الضغط المنتظم وثانيا نظرية السوفان المنتظم ؟

الفصل الثامن

النقل بالسيور والسلاسل

Transport Belts and Chains

8-1. السيور Belts

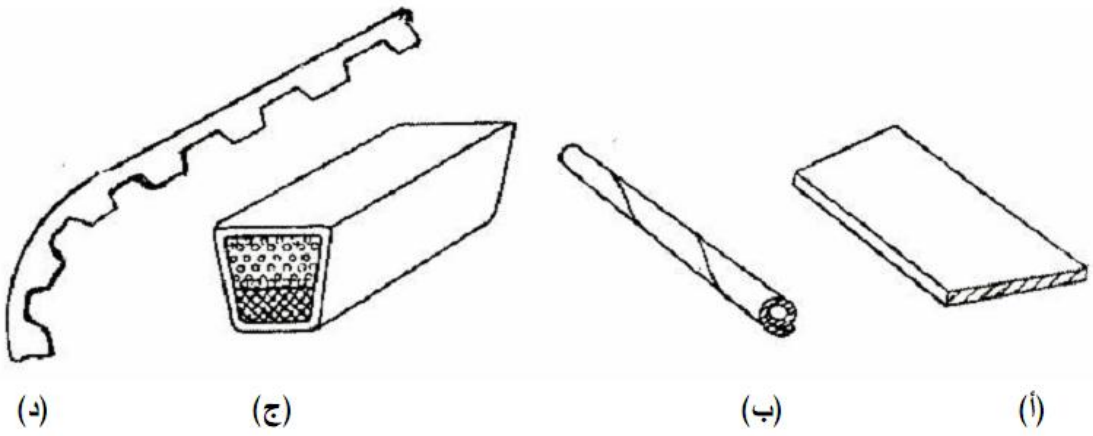
السيور هي وسائل تستخدم لنقل وعكس الحركة الدورانية من عمود لأخر يبعد عنه بمسافة كبيرة نسبياً ، عندما لا يحتم الأمر المحافظة على نسبة نقل الحركة دقيقة بينهما.

ويمكن بواسطة السيور نقل الحركة بنفس السرعة أو بسرعات مختلفة بإستخدام بكرات (طارات) بسيطة ، أو بكرات (طارات) مدرجة ، التي تثبت بين الأعمدة المتوازية والمتقاطعة والمتعامدة.

8-1- 1. انواع السيور Belts types

تستخدم البكرات (الأطارات) المتعددة الأشكال والسيور المختلفة التي تناسبها وفقاً للمسافات بين محاور البكرات ، وقوى الشد وعزوم اللى المنقولة . تميز السيور من خلال مقطعها.

أنواع السيور الشائعة الإستعمال والموضحة بشكل **(1)** هي السيور المسطحة والسيور شبه المنحرفة (حرف **V**) ، والسيور المستديرة والسيور المسننة.



شكل (1) يبين انواع السيور

أنواع السيور

1- سير مسطح.

2- سير مستدير.

3- سير إسفينى (على شكل شبه منحرف) يسمى أيضاً بسير حرف V.

4- سير مسن .. (كاتينة مسننة).

8-1-1-1. السير المسطح The rectangular

قطاع السير المسطح على شكل مستطيل ، ينتج من مواد مختلفة ليتناسب مع القدرات المختلفة لنقل الحركة الدائرية . أنواع السيور المسطحة هى كالآتى:-

(أ) **سيور جلدية** :

تعتبر من أجود أنواع السيور مقدره على الجر ، وأكثرها إنتشاراً.

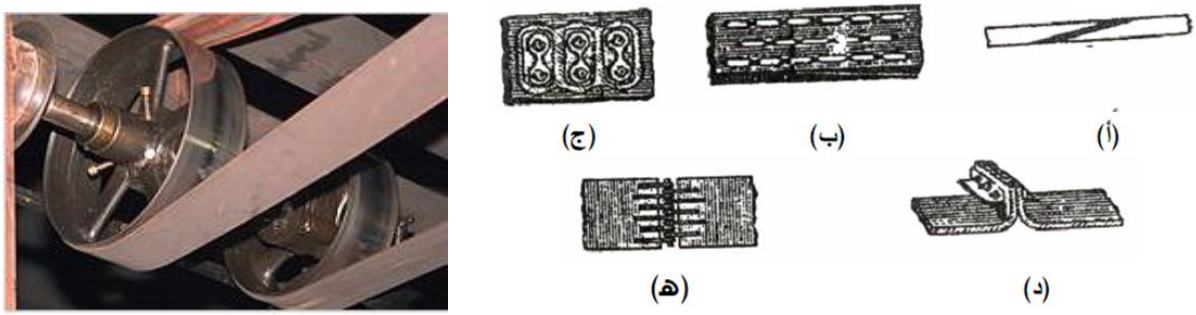
(ب) **سيور شبه مطاطية** :

تصنع من عدة طبقات الطبقة الإحتكاكية تصنع من جلد مدبوغ بالكروم ، أو من أنسجة من الأقمشة المكسورة بكلوريد الفينيل مما يتيح التصاق السير جيداً على البكرات ، بالإضافة إلى تخفيض الإنزلاق إلى حد كبير، أما الطبقة الوسطى فإنها تصنع من النايلون على شكل عدة أشرطة متلاصقة فوق بعضها البعض أو متجاورة ، أو تصنع من خيوط مجدولة من البوليستر مما يزيد من متانة السير ويميزه بتحمله قوة شد عالية ، وقابلية جيدة للثني.

(ج) **سيور مصنوعة من الأقمشة القطنية والصوفية**:

تتميز هذه السيور بنقل الحركة الهادئة بدون إرتجاجات ، ومن ثم فإنها تفضل لإدارة المخارط الدقيقة ، وأعمدة دوران ماكينات التجليخ الداخلى.

تستخدم السيور المسطحة بصفة عامة لنقل الحركة الدورانية لمسافات طويلة ، يمكن أن يكون السير مغلق أو يوصل طرفيه بإحدى الطرق الموضحة بشكل (2) .



شكل (2) يبين انواع الوصلات

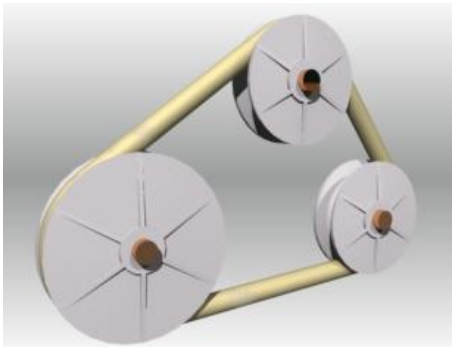
(أ) توصيل طرفي السير باللصق.
(ب) توصيل طرفي السير بالخياطة.
(ج) توصيل طرفي السير بالتدبيس.
(د) توصيل طرفي السير بالمسامير.
(هـ) توصيل طرفي السير بوصلات سلكية.

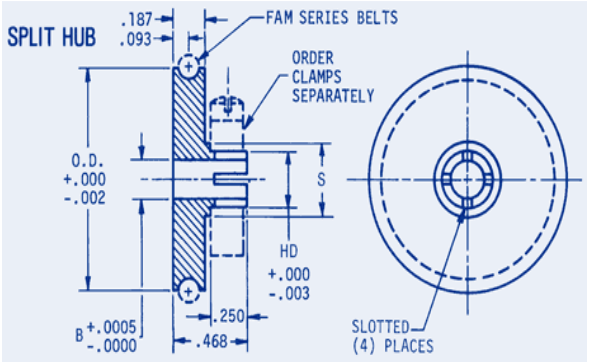
ملاحظة :

يراعى عند تركيب السير على البكرة (الطارة) أن يدور فى إتجاه الوصلة وعدم دورانه فى عكس إتجاهها.

8-1-1-2. السير المستدير The round belt

قطاعه على شكل دائرة . ينتج السير بشكل مغلق بدون وصلات ، يوجد بصورة نادرة . يستخدم في نقل حركة القدرات الصغيرة كما هو الحال بمكنات الخياطة.





شكل (3) يبين السير المدور

8-1-1-3. السير الاسفيني The V - belt

قطاعه على شكل شبه محرف ، يسمى ايضا بالسير حرف V ، زاويته مقدارها ما بين 32° - 36 ° . ينتج بشكل مغلق بدون وصلات او لحام . يستمد السير متانته من مواد صنعه التي تتكون من عدة طبقات من النسيج الحلبي المتين ، المحاط بالمطاط بالاضافة الى غلاف شبه مطاطي كما هو موضح بالشكل (4) .

شكل (4) يبين سير اسفيني عل شكل حرف V

إنتقال الحركة بالسيور الأسفينية حرف V :

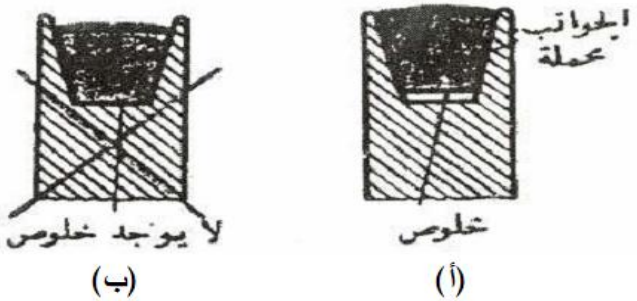
تنتقل الحركة بالسيور الأسفينية (السيور التي مقطعها على شكل شبه منحرف) عن طريق قوى الإحتكاك بينها وبين السطحين الجانبين للبكرة (الطارة) ، حيث يكون تلامس السير بجانبيه فقط ولا يلامس قاع المجرى (أى يجب وجود

(أ) الوضع الصحيح للسيير الإسفيني .. (وجود خلوص بقاع المجرى).

(ب) الوضع الخاطئ للسير الإسفيني .. (لا يوجد خلوص بقاع المجرى).

خلوص بين السير وقاع المجرى) ، وكلما زاد ضغط الشد ، كلما أندفع السير إلى داخل المجرى الأسفينية بالبكرة (الطارة) ضاغطاً على جانبي المجرى لتزداد قوى الإحتكاك بين جانبي السير والبكرة ، وبذلك يمكن نقل قوى أكبر.

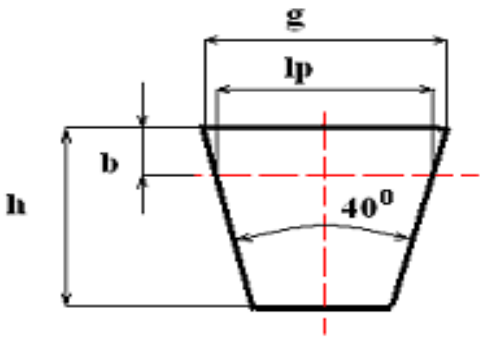
شكل 5 (أ ، ب) يوضح الوضع الصحيح والوضع الخاطئ للسير الإسفيني.



شكل (5) يبين الوضع الصحيح والوضع الخاطىء للسير الاسفنجي

جدول (1) يبين العلاقة بين في مقطع ابعاد سير على شكل حرف (V)

V-belt dimensions (in accordance with PN-ISO 4184: 2000)

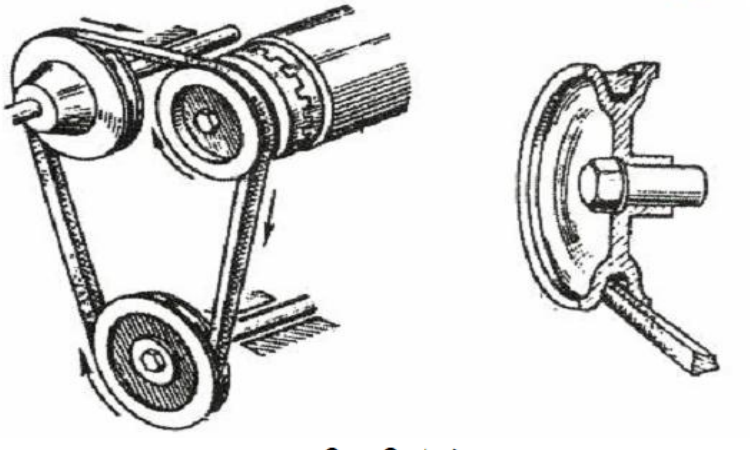


$40^0 \pm 1^0$

Belt section	g [mm]	lp [mm]	h [mm]	b [mm]
SPZ	10	8,5	6	2
SPA	13	11	8	3
SPB	17	14	11	3,5
SPC	22	19	14	4,5
SPD	32	27	19	7
SPE	38	32	23	8

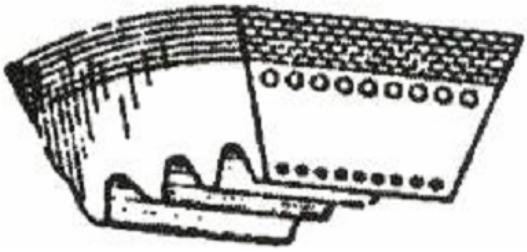
جدول *(1)* يبين العلاقة بين في مقطع ابعاد سير على شكل حرف (V)

يوضح شكل 3 (6) ء من ماكينة أثناء نقل الحركة الدائرية بسير إسفيني مقطعه على شكل شبه منحرف عن طريق مجموعة بكرات (طارات) إسفينية ، كما يوضح قطاع لطارة إسفينية وسير مثبت بالوضع الصحيح ، (حيث يوحد خلوص أسفل السير.. بقاع المجرى).



شكل (6) يبين جزء من ماكينة أثناء نقل الحركة بسير اسفنجي

كما توجد سيور إسفينية مسننة والموضح قطاع لها بشكل 3 (7) منع هذه السيور بنفس مواصفات السيور الإسفينية السابقة بالإضافة إلى وجود أسنان بها، وذلك لإكتسابها مرونة كبيرة ، وخاصة في حالة نقل حركة بين بكرتين (طارتين) بمسافة صغيرة والتشغيل بسرعة عالية.



شكل (7) يبين سير اسفيني مسنن لاستخدامه للبكرات ذات الاقطار الصغيرة

مميزات السيور الإسفينية : Advantages of V belts

تتميز السيور إسفينية بعدة مميزات .. أهمها الآتي :-

1- إمكانية نقل الحركة بين بكرتين (طارتين) بمسافات صغيرة وسرعات عالية.

2- قوة شد أعلى بالمقارنة بالسيور المسطحة بفضل معامل الإحتكاك.

3- لا تتأثر بالعوامل الخارجية كالرطوبة والسخونة والأبخرة والأحماض والزيوت وغيرها.

4- إمكان نقل جميع القدرات بالتحكم فى إختيار مقاسات السيور وعددها فى أقل حجم ممكن.

5- إمكانية نقل الحركة فى أى إتجاه وعدم تأثرها بالجانب المشدود سواء كان من أعلى أو من أسفل.

6- التصاق كبير وجودة عالية.

7- لا يتبعث عنها أى ضوضاء.

عيوب السيور الإسفينية : Disadvantages of V belts

من عيوب السيور إسفينية الآتي :-

1- عدم إمكانية نقل الحركة بين محورين عبر مسافات كبيرة نسبياً.

2- أقل متانة بالمقارنة بالسيور المسطحة.

3- بكراتها (طاراتها) أعقد وأصعب فى الصنع ، بالمقارنة ببكرات (طارات) السيور المسطحة.

4- تكاليفها مرتفعة نسبياً.

رابعا : السيور المسننة Rubber toothed Chain

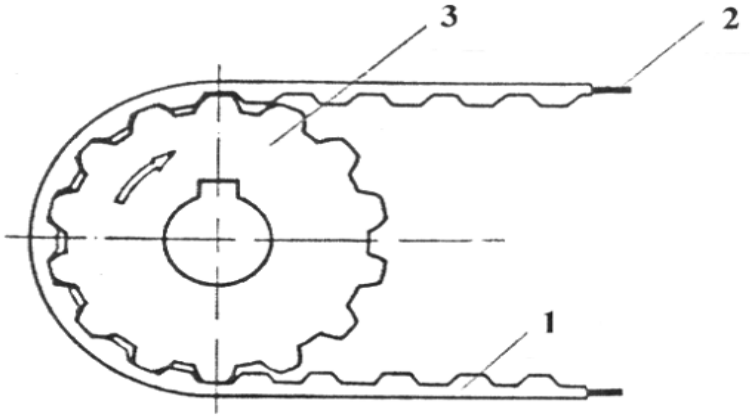
تسمى أيضاً بالكاتينة المسننة أو سير التوقيت ، مواصفاتها هي نفس مواصفات الكاتينة المعدنية (الجنزير) فى نقل الحركة.

تصنع الكاتينة المسننة الموضحة بشكل 3 - (8) ا.وتشوك العالي الجودة أو المطاط واللدائن ، مدعم من الداخل بأسلاك من الصلب المرن بأقطار صغيرة جداً بقوة شد ، بحيث تجمع الكاتينة بين مرونة الحركة وعدم قابلية التمدد.

مقطع أسنان الكاتينة على شكل شبه منحرف أو نصف دائرى بإرتفاع يصل

إلى **4.5** ملليمتر ، وفى حالات خاصة يصل إرتفاعها إلى **6** ملليمتر . تتحمل أسنان الكاتينة نقل القدرات الكبيرة.

تستخدم الكاتينة المسننة فى نقل القدرات والسرعات الكبيرة للآليات التى تتطلب التشغيل الهادئ مثل السيارات وغيرها.



شكل (8) يبين الكاتينة المسننة

1- الكاتينة المسننة.

2- أسلاك رفيعة من الصلب.

3- العجلة المسننة.

مميزات الكاتينة المسننة : Advantages of rubber toothed chain

تجمع الكاتينة المسننة بين مميزات نقل الحركة بالسيور ومميزات نقل الحركة بالتروس ، لتؤدى وظيفتهما المميزات التالية :-

1- قدرتها على نقل القدرات والسرعات الكبيرة بين الأعمدة المتوازية لمسافات كبيرة بكفاءة عالية بدون إنزلاق.

2- نسبة نقل حركة أدق بمقارنتها بالسيور.

3- إمكانية إدارة مجموعة أعمدة متوازية بكاتينة واحدة فى آن واحد.

4- التشغيل الهادئ بدون حدوث أدنى ضجيج أثناء التشغيل.

5- لا تتعرض للتأكل السريع الناتج عن الإحتكاك.

6- رخيصة الثمن.

7- سهلة التركيب.

البكرات المدرجة : Stepped pulleys

تستخدم البكرات (الطارات) المتدرجة فى أزواج **In Pairs** لتوفر إمكانية إختيار نسب سرعات **Speed rations** مختلفة.

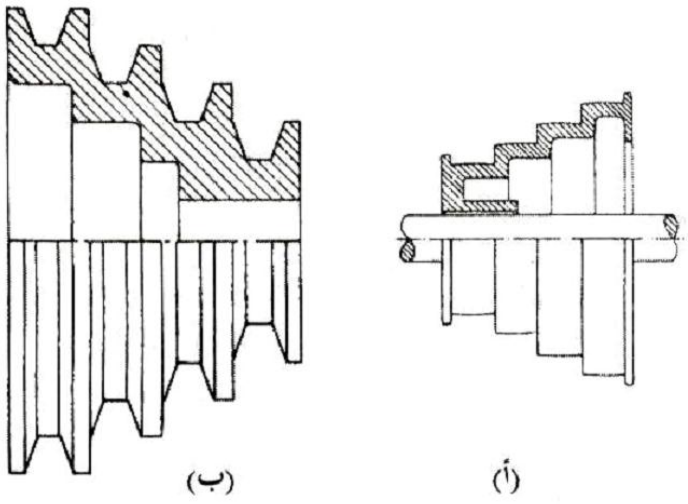
تحوى كل بكرة (طارة) على عدة أقطار مختلفة متصلة مع بعضها البعض تركب البكرتين (الطارتين) على الأعمدة القائدة والمنقادة ، بحيث يكون وضعهما عكس بعضهما البعض (أى يقابل القطر الأصغر على أحدى البكرات القطر الأكبر على البكرة الأخرى) ، ويمكن تغيير نسبة السرعة بإنخفاضها أو بإرتفاعها بإنتقال السير فى وضعه إلى أحد درجات البكرتين حسب السرعة المطلوبة.

يمكن أن تكون أسطح البكرات (الطارات) المدرجة بشكل مستوى كما هو موضح بشكل **(9)** (أ) لإستخدامها في نقل الحركة بتغير السرعة بين الأعمدة المتوازية عن طريق السيور المسطحة ، كما يمكن أن تكون أسطح البكرات (الطارات) مفرغة على شكل شبه منحرف كما هو موضح بشكل **(9)** (ب) لإستخدامها في نقل الحركة بتغيير السرعة بين الأعمدة المتوازية عن طريق السيور الإسفينية حرف V.

البكرات المدرجة

(أ) بكرة السيور المسطحة.

(ب) بكرة للسيور الإسفينة (حرف V).

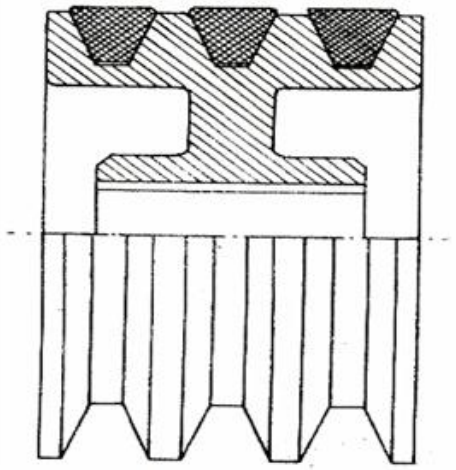


شكل (9) يبين الكاتينة المسننة

نقل الحركة بالسيور حرف V المتعددة : Multi V belts transmission

تستخدم البكرات ذات الأسطح المستوية المفرغ بها مجموعة مجارى على شكل شبه منحرف كما هو موضح بشكل (10) ، بحيث تسمح للسيور الإسفنينة (حرف V) لنقل القدارت العالية High Power.

تعتبر هذه الطريقة هى الأكثر إنتشاراً فى آلات الإنتاج ، حيث تتميز بأنها أكثر أمناً في حالة إنـهيار (قطع) لأحد السيور.



شكل (10) نقل الحركة بالسيور حرف V المتعددة

مجموعات نقل الحركة بالسيور : Groups of transmission by belts

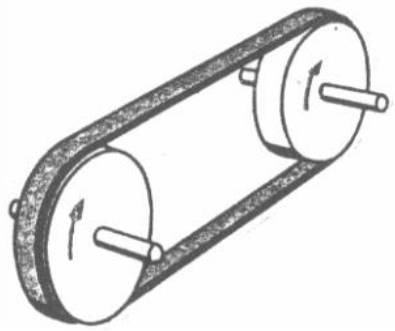
تنتقل الحركة الدائرية من عمود إلى آخ ر المثبت كل منهما على بكرة (طارة) ، وذلك بإستخدام سير عن طريق قوى الإحتكاك التى تنشأ بين السير والبكرتين (الطارتين) ، وللحصـ ول علي هذه القوى ، فإنه يجـ ب أن يتعرض السير لشد معتدل.

تنتقل الحركة بإستخدام السيور إلى مجموعات مختلفة بعدة طرق . فيما يلي عرض لمجموعات نقل الحركة بالسيور كل منها على حدة.

نقل حركة متساوية فى إتجاه واحد :

Equal transmission in one direction

تكون الأعمدة متوازية كما هو موضح شكل (11) . قطر البكرة القائدة تساوى قطر الطارة المنقادة ، تسمى هذه الطريقة بالسير المفتوح.

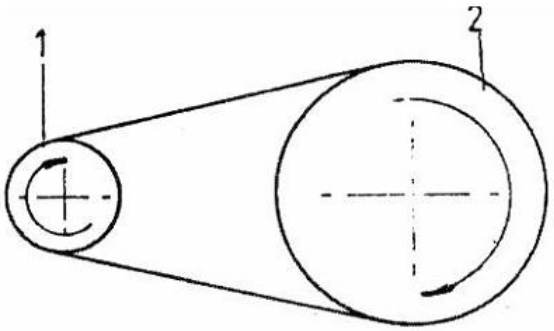


شكل (11) نقل حركة متساوية في اتجاه واحد

نقل حركة فى إتجاه واحد لتخفيض السرعة :

Transmission in one direction to decrease speed

تكون الأعمدة متوازية كما هو موضح بشكل (12) . قطر البكرة القائدة **1** أصغر من قطر الطارة المنقادة **2.**



شكل (12) نقل حركة في اتجاه واحد لتخفيض السرعة

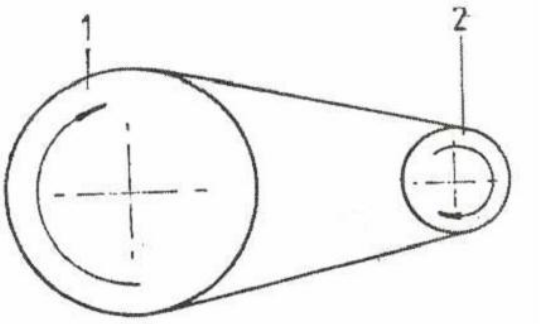
1- بكرة قائدة.

2- بكرة منقادة.

نقل حركة فى إتجاه واحد لزيادة السرعة :

Transmission in one direction to increase speed

تكون الأعمدة متوازية كما هو موضح بشكل (13) . قطر البكرة القائدة **1** أكبر من قطر الطارة المنقادة **2.**



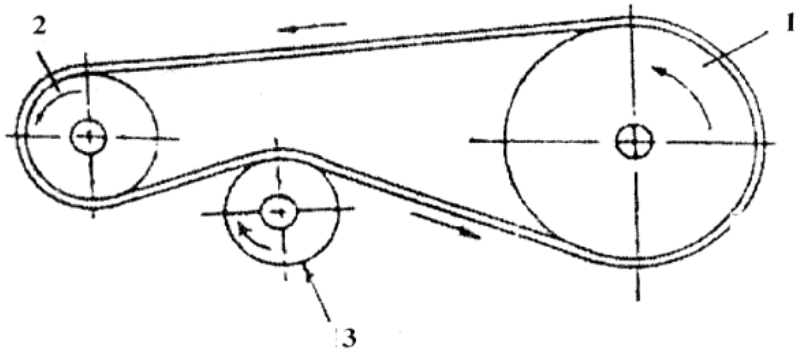
شكل (13) نقل حركة لزيادة السرعة في اتجاه واحد

1- بكرة قائدة.

2- بكرة منقادة.

استخدام الشدادات عند نقل حركة:

كما يمكن إستعمال السير لنقل الحركة الدورانية للأعمدة المتوازية في إتجاه واحد لتخفيض أو زيادة السرعة ، بإستخدام بكرة وسيطة بمثابة شداد للسير كما هو موضح بشكل (14) .



شكل (14) نقل حركة لاعمدة متوازية في اتجاه واحد
لتخفيض أو زيادة السرعة بالاستعانة بشداد

1- بكرة قائدة.

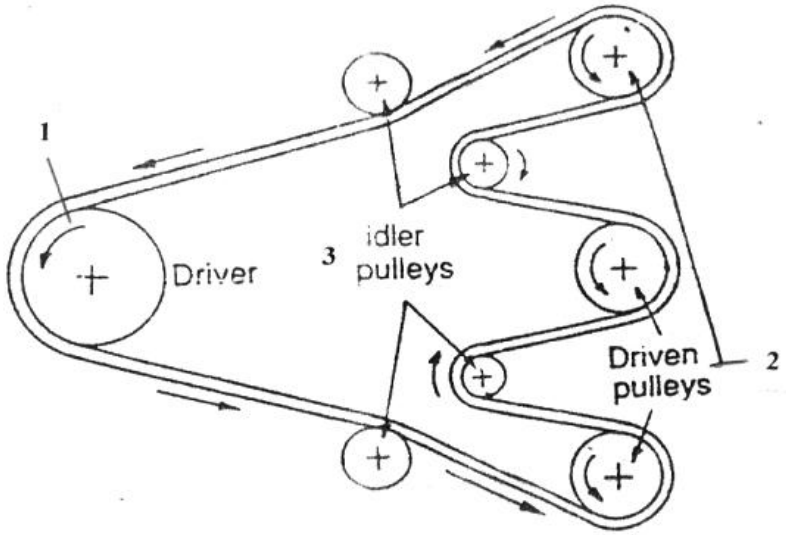
2- بكرة منقادة.

3- بكرة وسيطة (شداد).

نقل حركة لعدة أعمدة متوازية فى إتجاه واحد :

Transmission for multi parallel shafts in one direction

يمكن نقل الحركة من عمود قائد إلى عدة أعمدة متوازية فى إتجاه واحد كما هو موضح بشكل (15) ، حيث تستخدم بكرات (طارات) وسيطة الغرض منها هو شد السير.



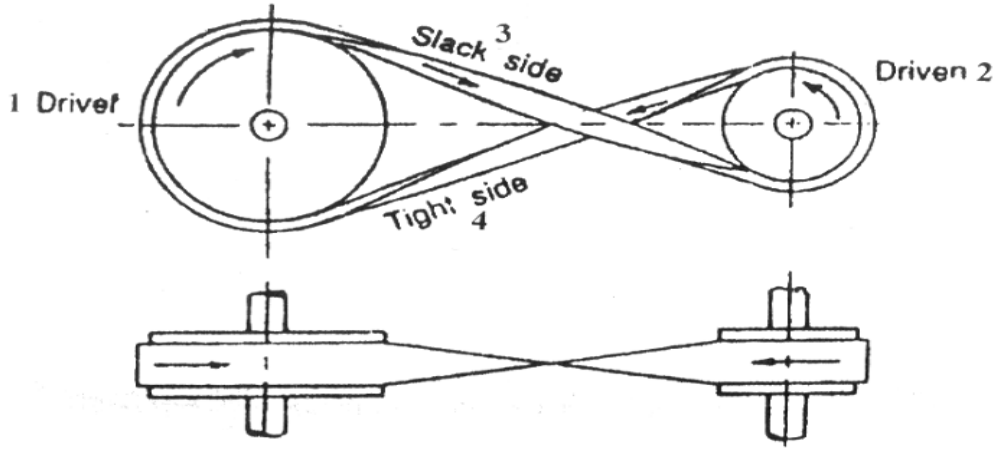
شكل (15) نقل حركة لعدة اعمدة متوازية في اتجاه واحد

1- طارة قائدة.
2- طارات منقادة.
3- طارات وسيطة (شدادات).

نقل حركة لأعمدة متوازية فى إتجاهين متضادين :

Equal transmission in two opposite directions

تكون الأعمدة متوازية كما هو موضح بشكل (16) ، يمكن إنتقال الحركة بين الأعمدة بسرعة متساوية أو بزيادة أو تخفيض السرعة ، وذلك حسب أقطار البكرات القائدة والمنقادة . تسمى هذه الطريقة بالسير المتقاطع.



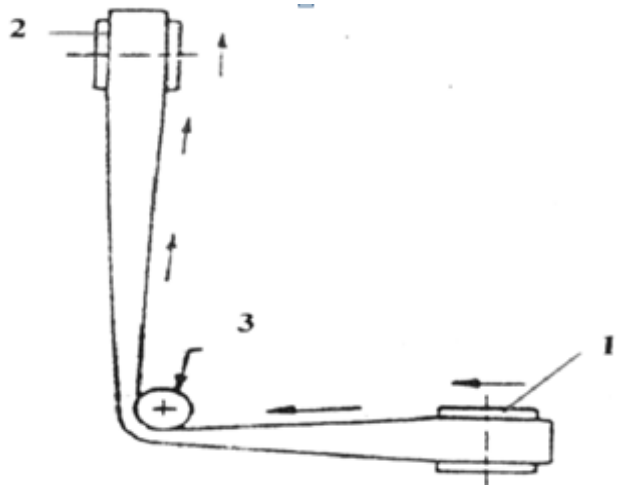
شكل (16) نقل حركة لاعمدة متوازية في اتجاهين متضادين

1- بكرة قائدة.
2- بكرة منقادة.
3- جانب السير المرتخى.
4- جانب السير المشدود.

نقل حركة متساوية فى إتجاهين متعامدين :

Equal transmission two perpendicular crossed directions

تكون الأعمدة متعامدة كما هو موضح بشكل (17) . قطر البكرة القائدة تساوى قطر البكرة المنقادة.



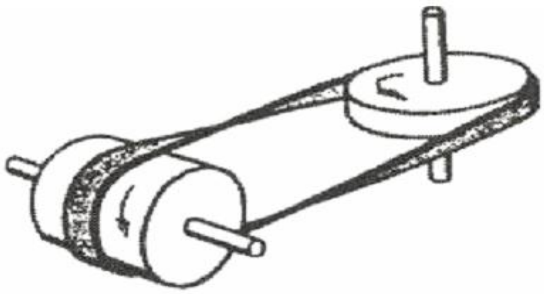
شكل (17) نقل حركة متساوية في اتجاهين متعامدين

1- بكرة قائدة.
2- بكرة منقادة.
3- بكرة وسيطة.

نقل حركة متساوية فى إتجاهين متقاطعين :

Equal transmission two crossed directions

تكون الأعمدة متقاطعة كما هو موضح بشكل (18) . قطر البكرة القائدة تساوى قطر البكرة المنقادة ، تسمى هذه الطريق بالسير الملتوى.

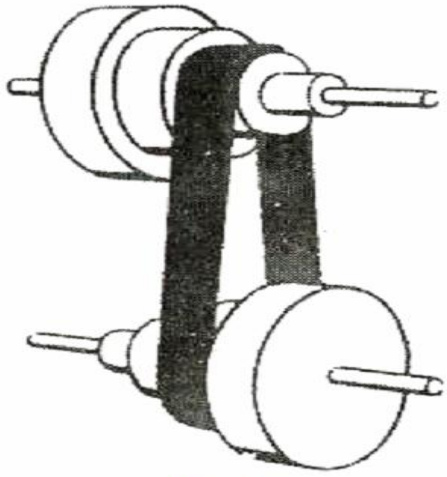


شكل (18) نقل حركة متساوية في اتجاهين متقاطعين

نقل حركة فى إتجاه واحد ببكرات مدرجة :

Transmission in one direction by graded pulleys

تكون الأعمدة متوازية كما هو موضح بشكل (19) . وبواسطة تغيير موضع السير من بكرة إلى أخرى يمكن الحصول على سرعات مختلفة.

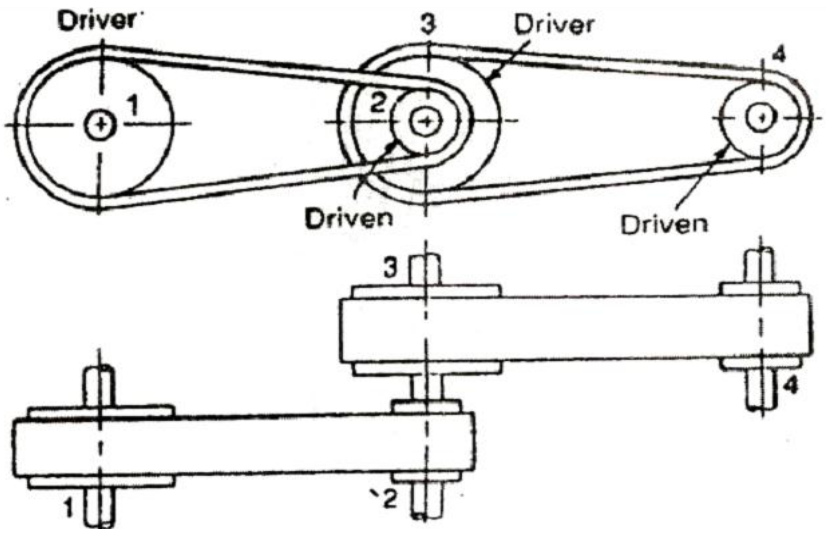


شكل (19) نقل حركة ببكرات مدرجة بسيطة في اتجاه واحد

نقل الحركة المزدوجة فى إتجاه واحد :

Double transmission in one direction

تتكون هذه المجموعة من ثلاثة أعمدة متوازية كما هو موضح بشكل (20) ، يعبر عن البكرات (الطارات) القائدة بأرقام فردية ، كما يعبر عن البكرات (الطارات) القائدة بأرقام زوجية.



شكل (20) نقل حركة مزدوجة في اتجاه واحد

1- البكرة (الطارة) القائدة الأولى.

2- البكرة (الطارة) المنقادة الأولى.

3- البكرة (الطارة) القائدة الثانية.

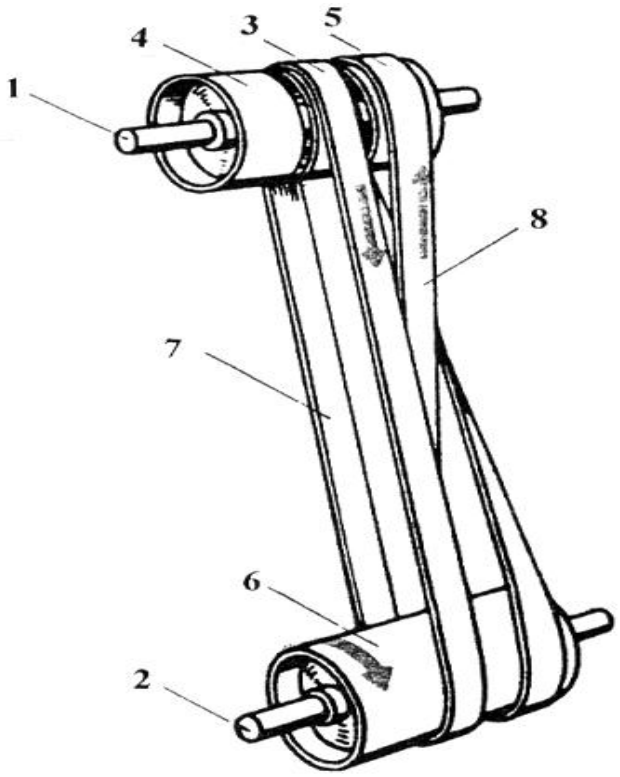
4- البكرة (الطارة) المنقادة الثانية.

من مميزات نقل الحركة المزدوجة بالسيور هى إمكانية زيادة أو إنخفاض السرعة المنقولة بدرجة كبيرة.

نقل وعكس الحركة : Transmission and reverse

تستخدم هذه المجموعة بالورش القديمة التى مازالت تستعمل الإدارة الجماعية لتشغيل آلاتها . وتتكون مجموعة نقل وعكس الحركة بالسيور الموضحة بشكل (21) ، من عمود إدارة يثبت عليه بكرة ثابتة تدور بين بكرتين حرتين ، يثبت بينهما على عمود الدوران بكرة عريضة.

يستخدم لنقل الحركة من عمود الإدارة إلى عمود الدوران ، زوج من السيور المبطنة أحدهما بشكل مفتوح والآخر بشكل متقاطع.



شكل (21) مجموعة نقل وعكس الحركة بالسبور

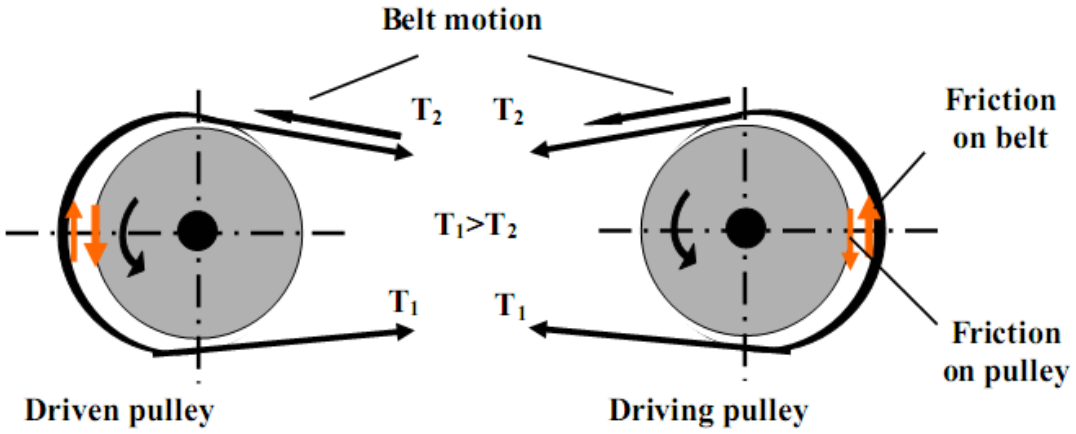
1- عمود الادارة .
2- عمود الدوران .
3- بكرة ثابتة بعمود الادارة
4- بكرة حرة
5- بكرة حرة.
6- بكرة مثبتة على عمود الدوران.
7- سير بشكل مفتوح.
8- سير بشكل متقاطع.

يوضع السير المفتوح على البكرة الثابتة (الطارة الوسطى المثبتة على عمود الإدارة) ، لتنتقل الحركة الدائرية إلى البكرة المثبتة على عمود الدوران في إتجاه عقارب الساعة.

وعند نقل السير المتقاطع على البكرة الثابتة فإن إتجاه الدوران ينعكس إلى الإتجاه المضاد ، حيث تنعكس حركة عمود الدوران . وعند نقل كلا السيرين على البكرتين الحرتين ، فإن عمود الدوران يظل ثابتاً ، أى يتوقف نقل الحركة إلى عمود الدوران.

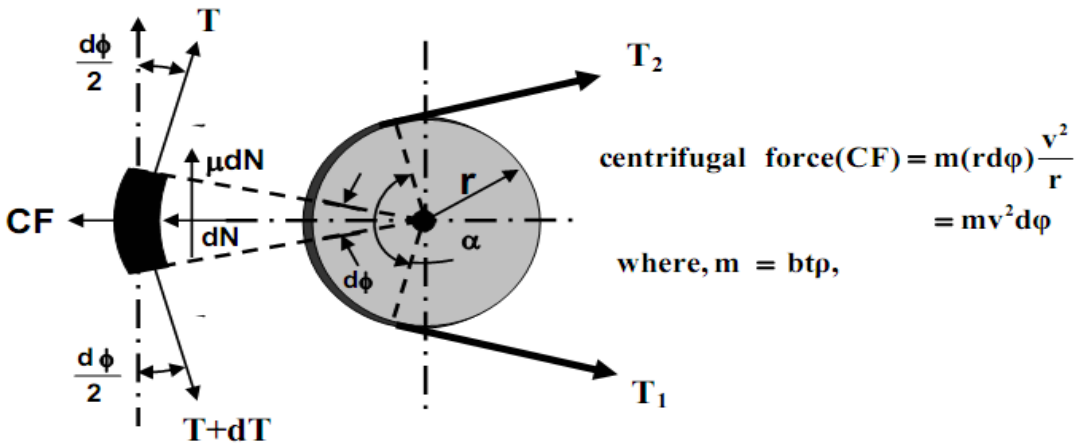
8-1-2. النقل بالسيور Belt drives

8-1-2-1. التوترات في السير Belt tensions



شكل (22) يوضح التوترات في السبور على بكرتين

8-1-2-2. العلاقة بين قوى الشد في السيور



شكل (23) يوضح التوترات في السبور على بكرة واحدة

$$\frac{T_1 - mv^2}{T_2 - mv^2} = e^{\mu\alpha}$$

Where:

$\mathbf{T_1}$ = belt tension in tight side, N

$\mathbf{T_2}$ = belt tension in loose side, N

V = belt speed, m/s

m = b.t.p = mass of 1.0 meter of belt, **kg/m**

b = belt width, m, **t** = belt thickness, m , ***p*** = belt density, kg/m^3

θ = groove angle for the V-belt (θ is 180° for a flat belt).

معادلة نسبة السرعة في السيور

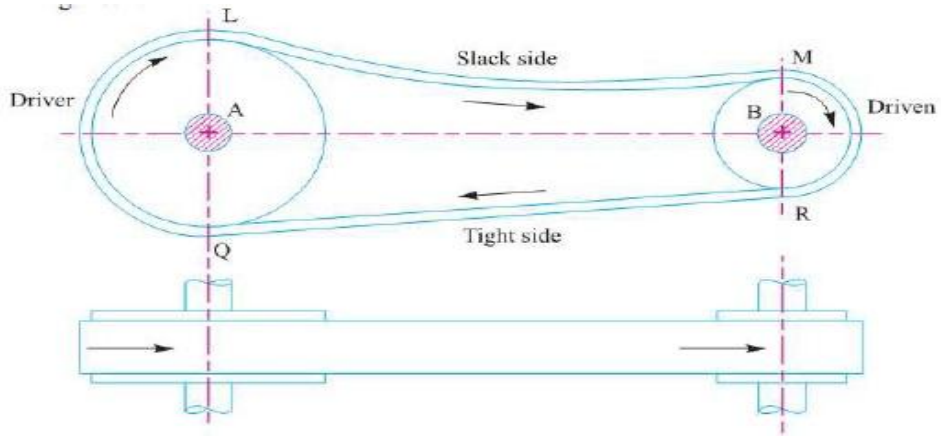
$$\frac{N_L}{N_S} = \frac{d_S + t}{d_L + t}(1 - s)$$

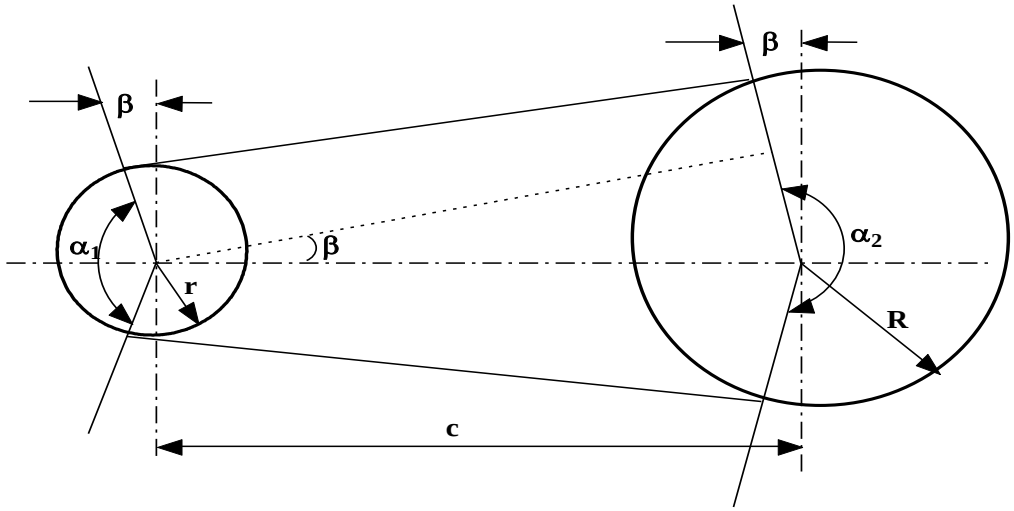
معادلة القدرة المنقولة في السيور

$$P = (T_1 - T_2)v$$

8-1-2-3. زاوية الالتفاف وطول سير مفتوح Angle of wrap and length open belt

The angles of wrap for an open belt may be determined by:





شكل (24) يوضح الجانب المشدود والمرتخي لسير مفتوح

The angles of wrap for a crossed belt drive may be determined by:

$$\sin\beta = \frac{R+r}{c}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 180° + 2\beta = 180° + 2\sin^{-1}\frac{R+r}{c}$$

L_0 = Length of open belt

$$L_o = \frac{\pi}{2}(d_L + d_S) + 2C + \frac{1}{4C}(d_L - d_S)^2$$

مثال1 : مضخة تدار بواسطة ماطور كهربائي عن طريق سير عدل مفتوح اوجد مواصفات السير المطلوب استخدامه اذا كان لديك البيانات التالية :

1. قطر البكرة الصغيرة المركبة على الماطور تساوي 300 ملم
2. قطر البكرة الكبيرة المركبة على المضخة تساوي 600 ملم
3. معامل الاحتكاك في البكرة الصغيرة تساوي 0.2
4. معامل الاحتكتك في البكرة الكبيرة تساوي 0.25
5. المسافة بين البكرتين تساوي 1000ملم
6. القدرة المنقولة تساوي 20 كيلوواط
7. كثافة مادة السير المستخدمة تساوي 1000 كيلوغرام على متر مكعب
8. الاجهاد المسموح به يساوي 2 ميكاواط
9. سمك السير يساوي 5 ملم

الحل

تعيين زاوية الالتفاف

$$Determination\ of\ angle\ of\ wrap$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{d_L - d_s}{2C}\right) = 8.63^0$$

$$\alpha_L = 180 + 2\beta = 197.25^0 = 3.44\ rad$$

$$\alpha_S = 180 - 2\beta = 162.75^0 = 2.84\ rad$$

طول السير المفتوح

$$Length\ of\ open\ belt$$

$$L_o = \frac{\pi}{2}(d_L + d_S) + 2C + \frac{1}{4C}(d_L - d_S)^2$$

$$= \frac{\pi}{2}(600 + 300) + 2000 + \frac{1}{4000}(600 - 300)^2 = 3436\ mm$$

السرعة

$$v = \frac{\pi \times 300 \times 1440}{60 \times 1000} = 22.62\ m/s$$

$$m = bt\rho = \frac{b}{10^3} \times \frac{5}{10^3} \times 10^3 = 0.005kg/m$$

$$mv^2 = 2.56 \times b\ N$$

$$Now,$$

$$\mu_s\alpha_s = 0.25 \times 2.84 = 0.71$$

$$\mu_L\alpha_L = 0.20 \times 3.44 = 0.688$$

$$\therefore larger\ pulley\ governs\ the\ design$$

$$\frac{T_1 - 2.56b}{T_2 - 2.56b} = e^{0.688} = 1.99 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

معادلة القدرة

$$power\ equation$$

$$P = (T_1 - T_2) \times v$$

$$\therefore putting\ data,$$

$$(T_1 - T_2) = 884.17N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$again, T_1 = 2 \times b \times 5N$$
$$= 10bN \ (\ from\ permissible\ stress\ ).....(3)$$

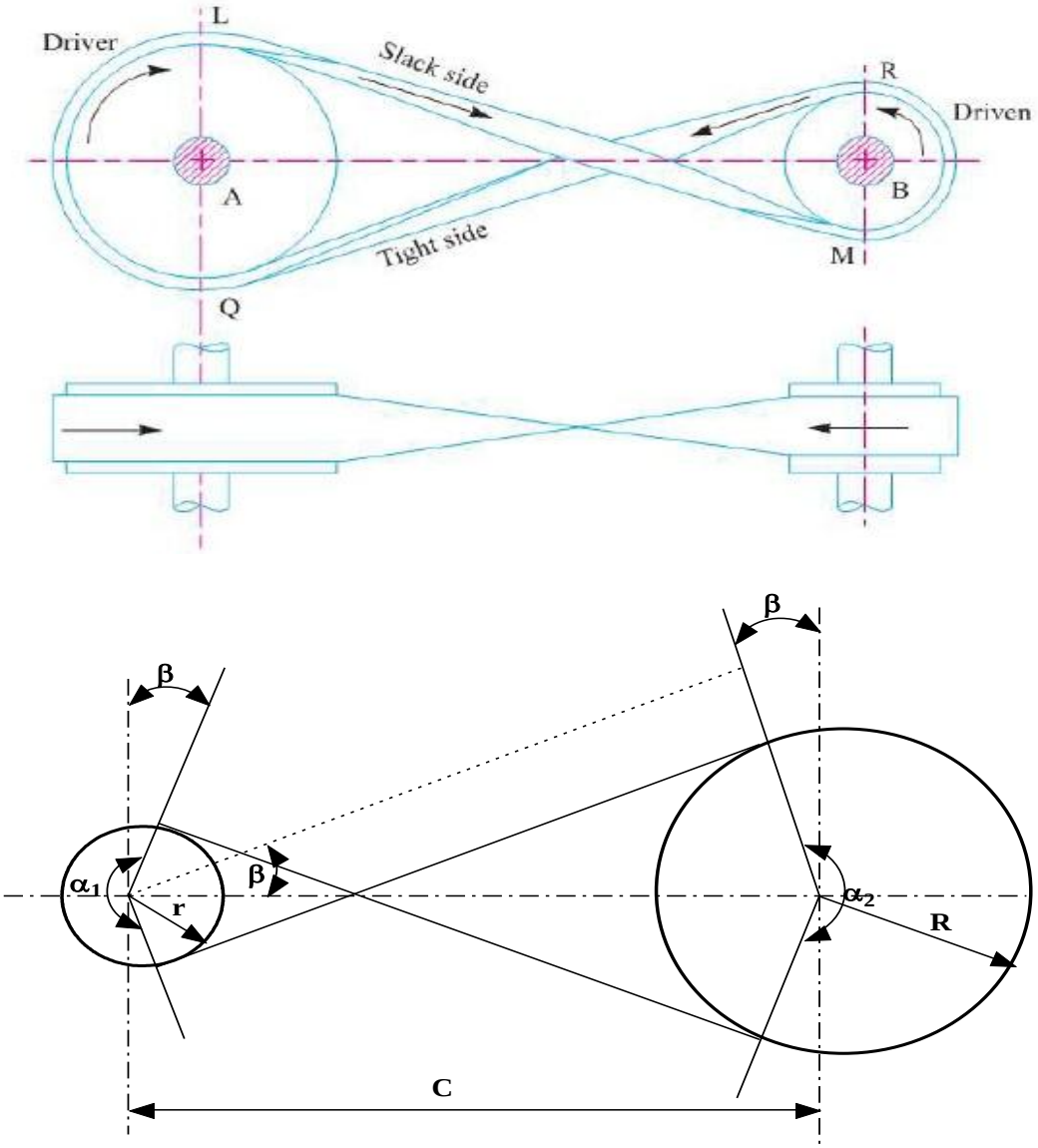
From (1), (2) and (3), solving for b,

$$b \approx 240\ mm$$

Hence, the required belt dimensions are,

Length = 3436 mm; breadth = 240mm and thickness = 5mm

Length open belt **طول سير متقاطع .4-2-1-8**



شكل (25) يوضح الجانب المشدود والمرتخي لسير متقاطع

$\alpha_L = \alpha_S = 180^\circ + 2\beta$

Where angle β is,

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{d_L - d_S}{2C}\right)$$

Length of cross belt

$$L_c = \frac{\pi}{2}(d_L + d_S) + 2C + \frac{1}{4C}(d_L + d_S)^2$$

مثال2 : طارة مركبة على محور حامل الكرنكات الخلفي في حاصدة كلاس تاخذ حركتها من طارة اخرى مركبة على المحور الرئيسي لكي تدور باتجاه معاكس باستخدام سير متقاطع اوجد زاوية الالتفاف وطول السير المطلوب استخدامه اذا كان لديك البيانات التالية :

1. قطر البكرة الصغيرة المركبة على المحور الرئيسر تساوي 400 ملم
2. قطر البكرة الكبيرة المركبة على المضخة تساوي 800 ملم
3. المسافة بين البكرتين تساوي 1500ملم

الحل

$\alpha_L = \alpha_S = 180^\circ + 2\beta$

Where angle β is,

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{d_L - d_S}{2C}\right)$$

Length of cross belt

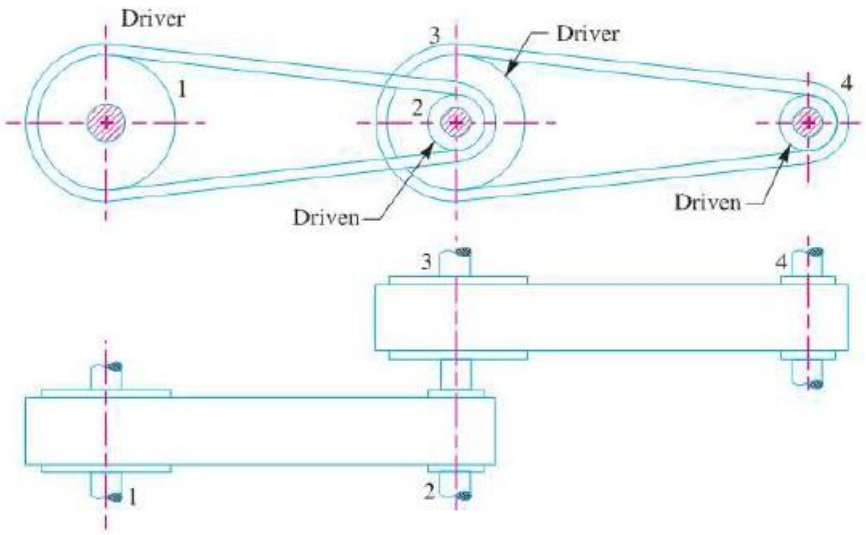
$$L_c = \frac{\pi}{2}(d_L + d_S) + 2C + \frac{1}{4C}(d_L + d_S)^2$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{800-400}{2.1500}\right) = \sin^{-1}\frac{400}{3000} = 7.66^\circ$$

$$L = \frac{\pi}{2}(0.8 + 0.6) + 2.1.5 + \frac{1}{4\times1.5}(0.8 + 0.6)^2 = 5.53\ m$$

8-1-2-5. نقل الحركة المزدوجة في اتجاه واحد بواسطة السيور

نسبة السرعة لمجموعة نقل القدرة بواسطة السيور



شكل (26) نقل الحركة المزدوجة في اتجاه واحد بواسطة السيور

$$N_2 . d_2 = N_1 . d_1 \quad \rightarrow \quad \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

$$N_4 . d_2 = N_3 . d_3 \quad \rightarrow \quad \frac{N_4}{N_3} = \frac{d_3}{d_4}$$

$$\frac{N_2}{N_1} \times \frac{N_4}{N_3} = \frac{d_1}{d_2} \times \frac{d_3}{d_4} \rightarrow \frac{N_4}{N_1} = \frac{d_1 \times d_3}{d_2 \times d_4} \quad \vdots \; N_2 = N_3 \text{ نفس العمود}$$

$$\text{في حالة وجود ستة طارات} \rightarrow \frac{N_6}{N_1} = \frac{d_1 \times d_3 \times d_5}{d_2 \times d_4 \times d_6}$$

مثال: محرك يدور بسرعة 150 دورة لكل دقيقة وينقل الحركة الى عمود الداينمو عن طريق عمود ثانوي مركب عليه طارتين احسب السرعة المنقولة إلى عمود الداينمو أولا عندما لايوجد فقدان في المنظومة وثانيا في حالة وجود فقدان بنسبة اثنان في المئة أذا علمت أن قطر الطارة المركبة على عمود المحرك تساوي 75 سنتمتر وقطر الطارة الصغير المركبة على العمود الثانوي 45 سنتمتر اما قطر الطارة الكبيرة المركبة على نفس العمود 90 سنتمتر وقطر الطارة المركبة على عمود الداينمو تساوي 15 سنتمتر؟

الحل

1. اولا : في حالة عدم وجود فقدان

$$\frac{N_2}{N_1} \times \frac{N_4}{N_3} = \frac{d_1}{d_2} \times \frac{d_3}{d_4} \rightarrow \frac{N_4}{N_1} = \frac{d_1 \times d_3}{d_2 \times d_4} \quad \vdots \; N_2 = N_3 \text{ نفس العمود}$$

$$\frac{N_4}{N_1} = \frac{d_1 \times d_3}{d_2 \times d_4} = \frac{75 \times 90}{45 \times 15} = 10 \rightarrow N_4 = 150 \times 10$$
$$= 1500\ rpm$$

1. ثانيا : في حالة وجود فقدان

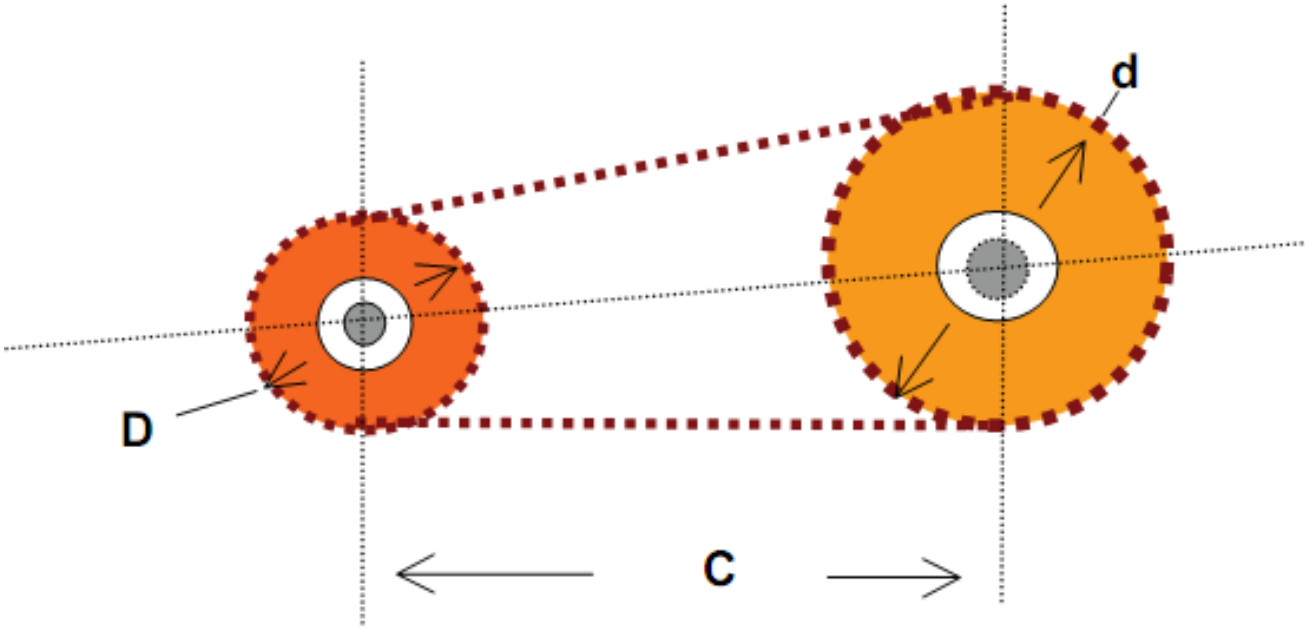
$$\frac{N_2}{N_1} \times \frac{N_4}{N_3} = \frac{d_1}{d_2} \times \frac{d_3}{d_4} \rightarrow \frac{N_4}{N_1}$$
$$= \frac{d_1 \times d_3}{d_2 \times d_4}\left(1 - \frac{S_1}{100}\right) \times \left(1 - \frac{S_2}{100}\right)$$

$$\frac{N_4}{N_1} = \frac{d_1 \times d_3}{d_2 \times d_4}\left(1 - \frac{S_1}{100}\right) \times \left(1 - \frac{S_2}{100}\right)$$

$$\frac{N_4}{N_1} = \frac{75 \times 90}{45 \times 15}\left(1 - \frac{2}{100}\right) \times \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 9.6$$

$$N_4 = N_1 \times 96 = 1440\ rpm$$

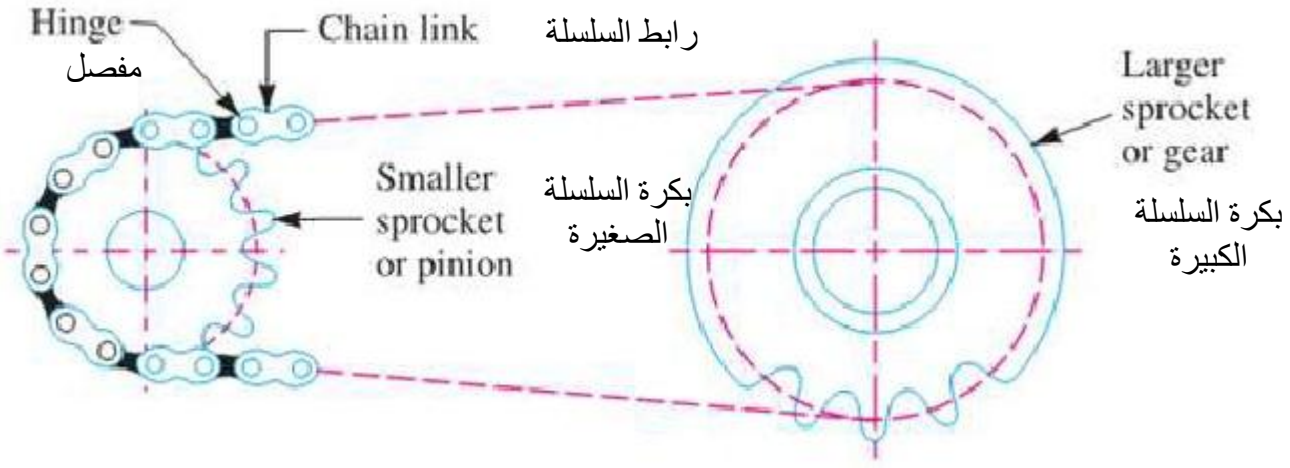
8 – 2. السلاسل Chains



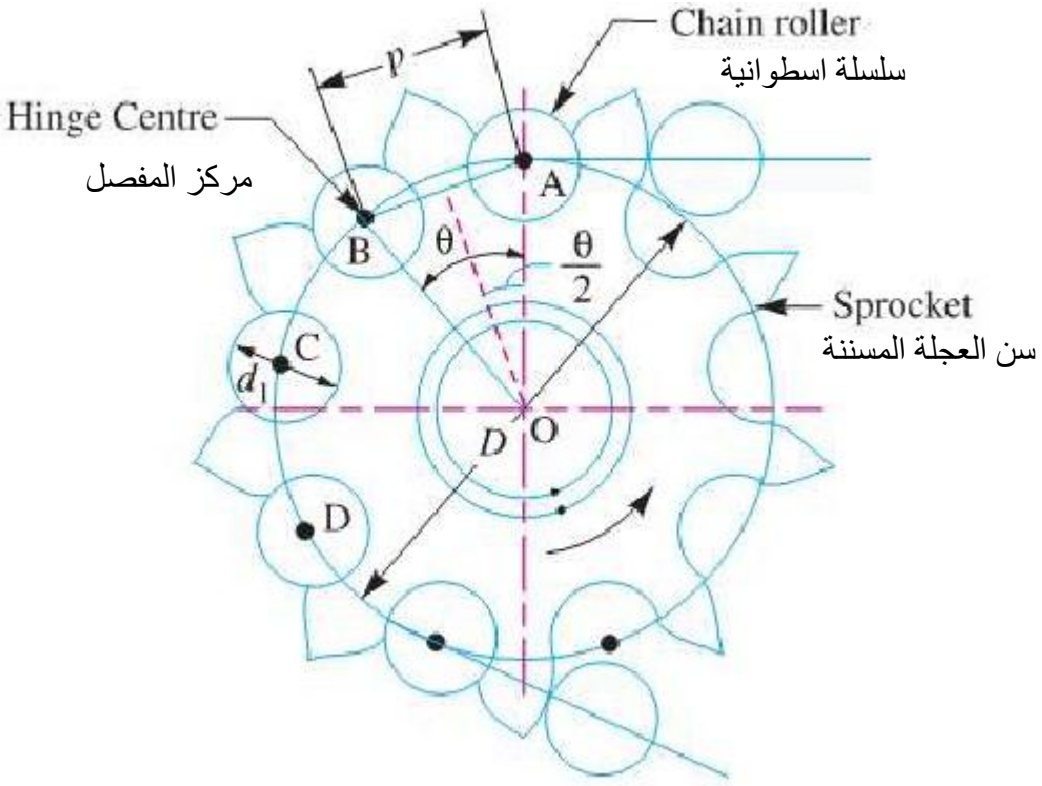
قانون حساب طول السلسلة

شكل (27) يوضح نقل الحركة بواسطة السلاسل

$$L=2C+1.57(D+d)+\frac{(D-d)^2}{4C}$$



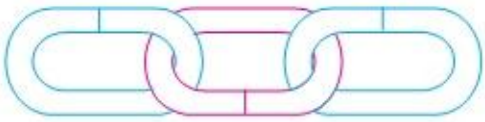
شكل (28) يوضح اهم اجزاء مجموعة النقل بالسلاسل



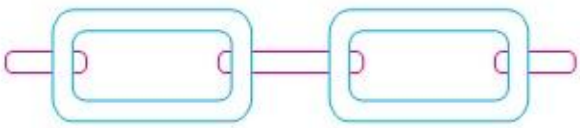
Hoisting and hauling (or crane) chains

شكل (29) يوضح طريق تعشيق السلسلة بالبكرة

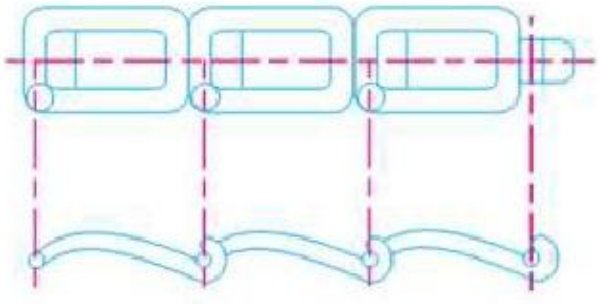
8-2-1. أنواع حلاقات السلاسل



سلسلة بروابط على شكل بيضوي
(*a*) Chain with oval links.

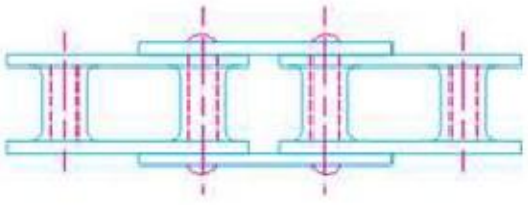


سلسلة بروابط مربعة
(*b*) Chain with square links.



(*a*) Detachable or hook joint type chain.

سلسلة منفصلة او على شكل هوك مفصلي



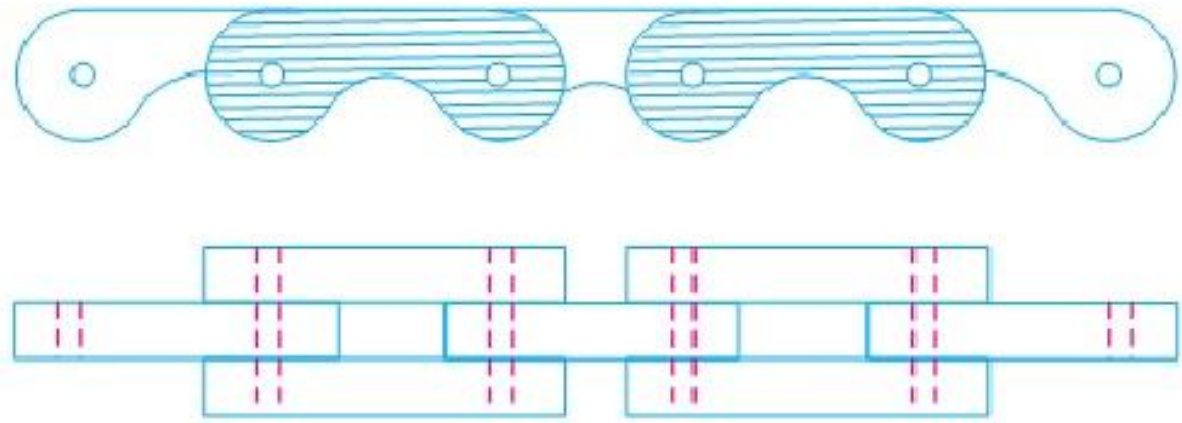
(*b*) Closed joint type chain.

سلسلة من نوع مفصل مغلق

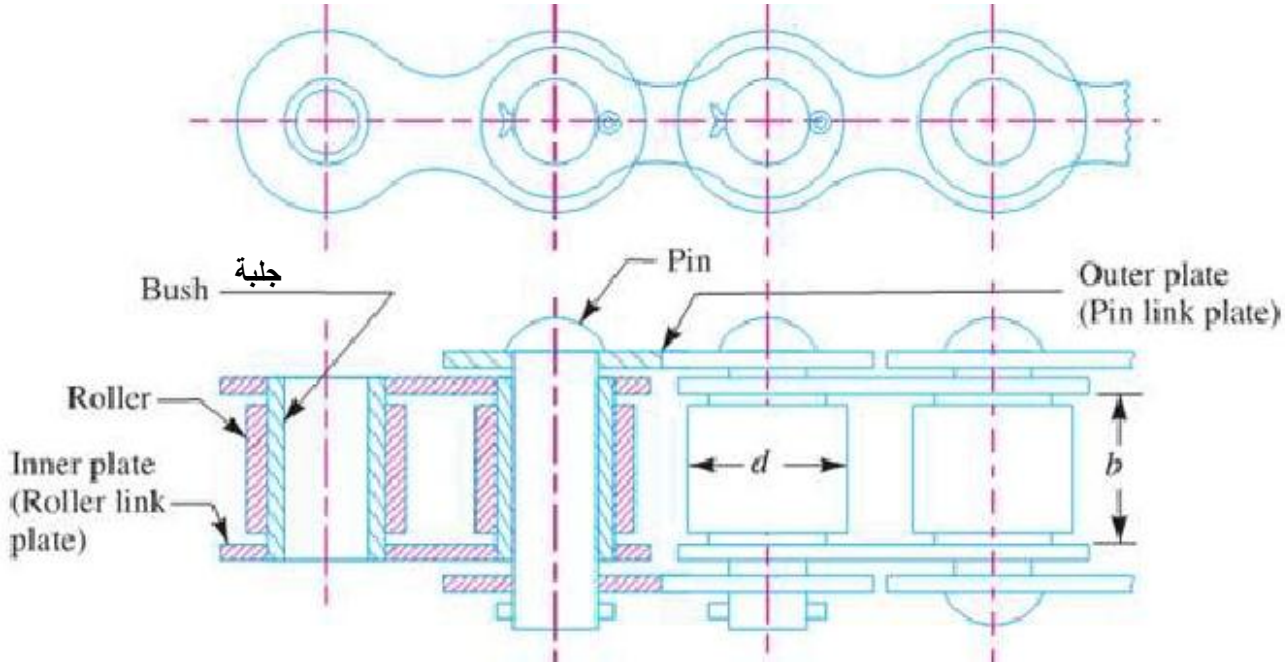
شكل (30) يوضح اهم انواع حلقات السلاسل

8-2-2. السلسلة الناقلة Conveyor chain

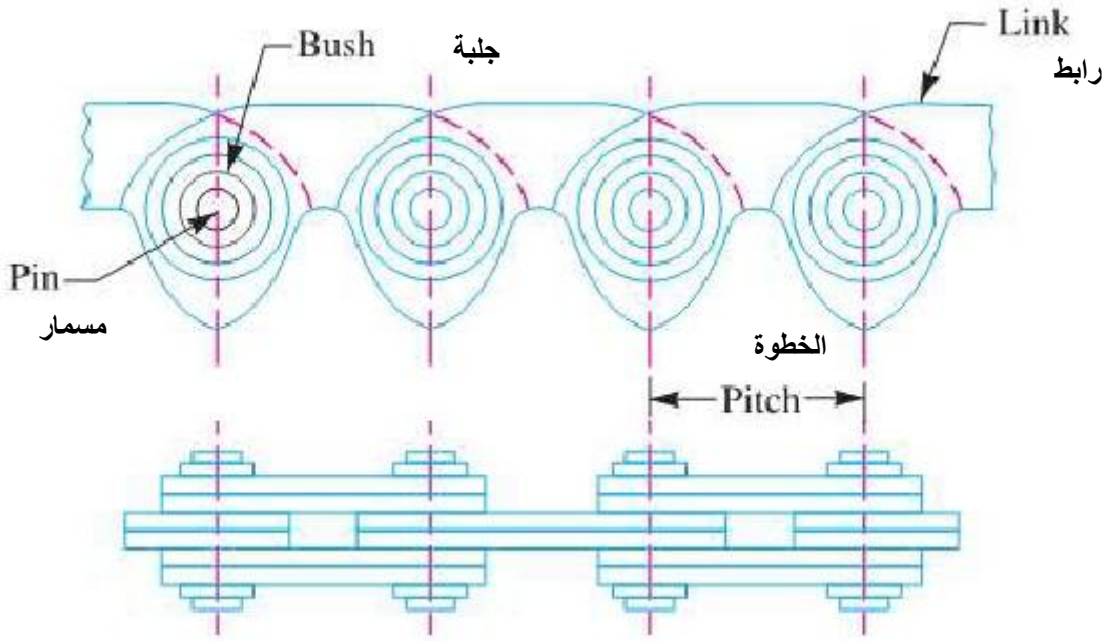
1. Block or brush chain
2. Bush roller chain
3. Silent chain



Block or brush chain

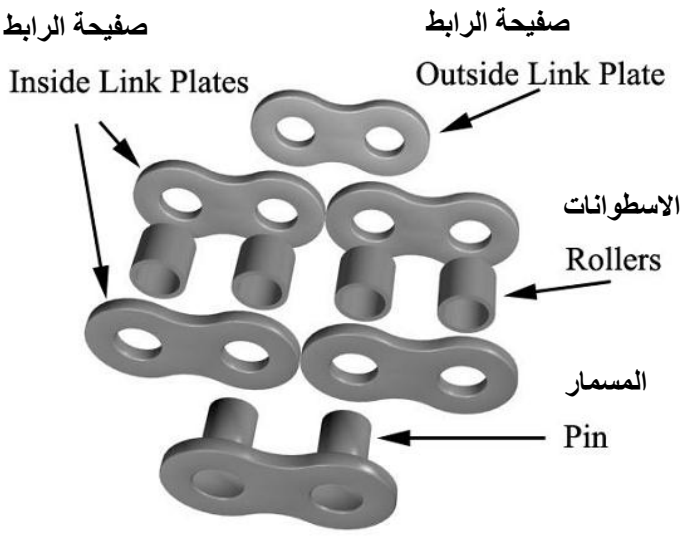


Bush roller chain



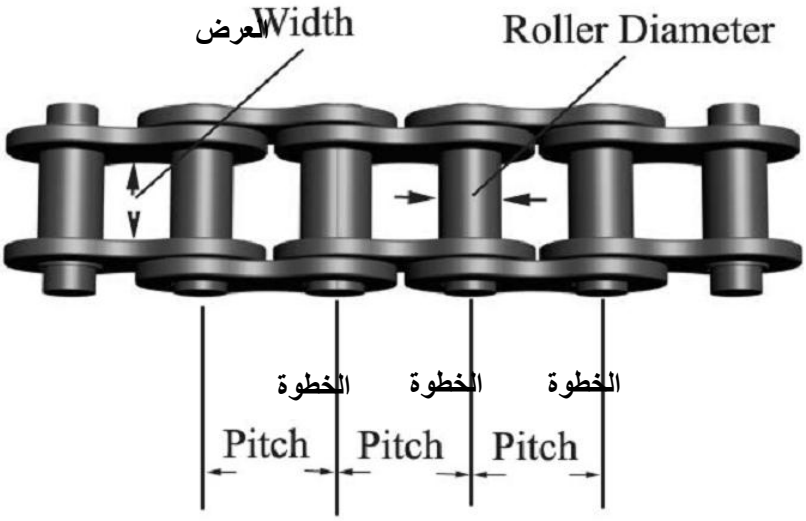
شكل (31) يوضح اهم أشكال السلاسل الناقلة

8-2-3. أجزاء السلسلة الاسطوانية Roller Chain Components

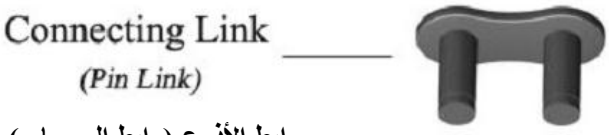


شكل (32) يوضح اهم أجزاء السلسلة الاسطوانية

4-2-8. خطوة السلسلة الاسطوانية Roller Chain Pitch

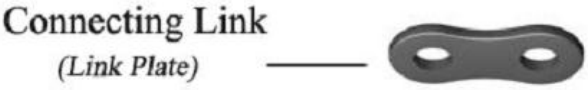


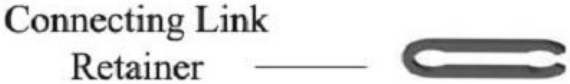
أجزاء قفل السلسلة Connecting link



رابط الأذرع (رابط المسمار)

رابط الأذرع (رابط الصفيحة)

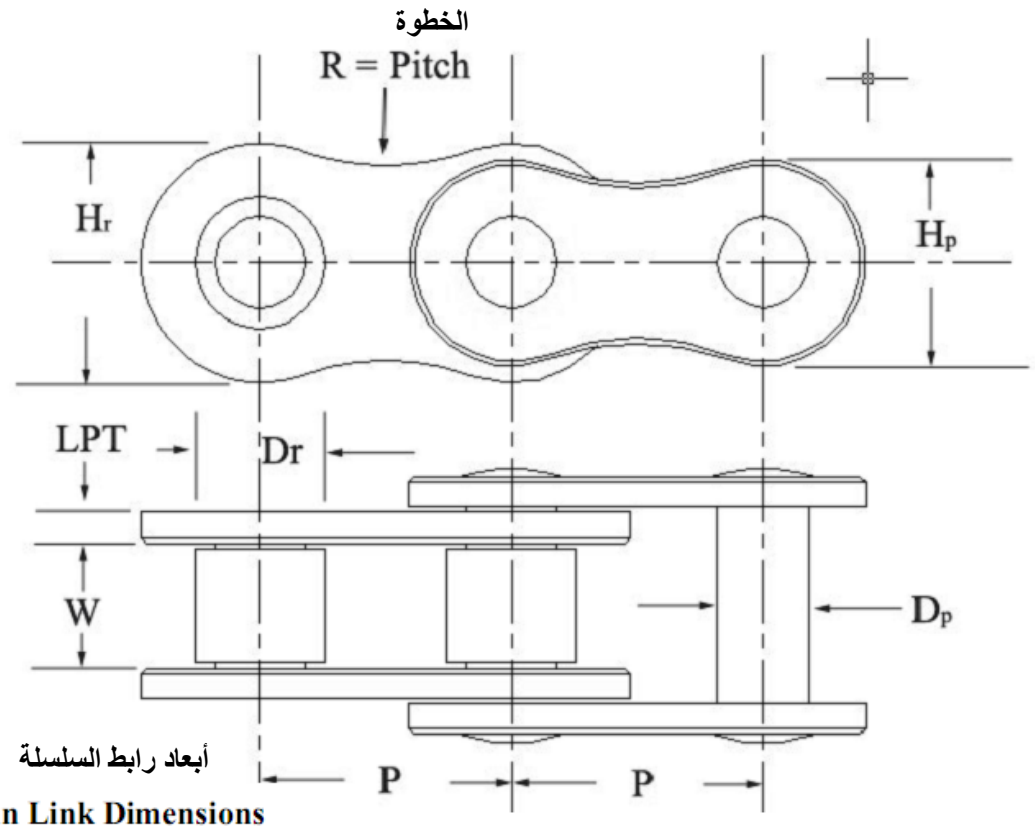




رابط الأذرع (القفل)

شكل (33) يوضح الخطوة في السلسلة الاسطوانية

8-2-5. أبعاد ربطة سلسليه

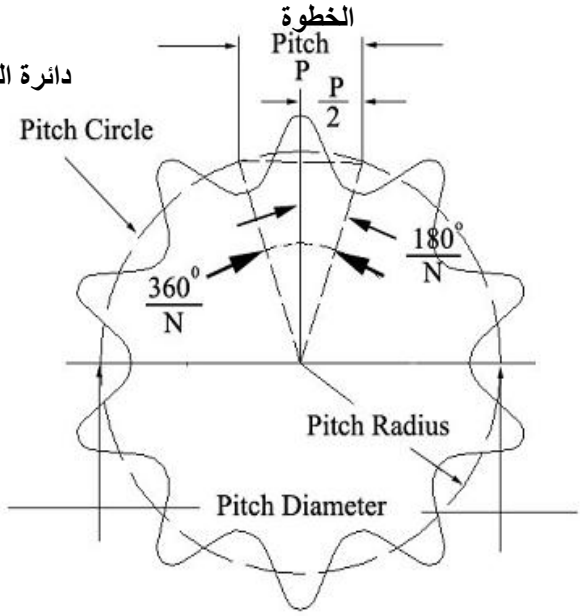


أبعاد رابط السلسلة

Chain Link Dimensions

أبعاد السلسلة Chain Dimension		الرمز Symbol	نسبة الخطوة Pitch Ratio
Roller Diameter	قطر الاسطوانة	D_r	5/8 x Pitch
Chain width W	سمك رابط	W	5/8 x Pitch
Pin Diameter	قطر المسمار	$_pD$	
Link Plate Thickness	نصف قطر الركن	LPT	
Roller Link Plate Height (Maximum)	ارتفاع بليت رابط الاسطوانة	H_r	
Pin Link Plate Height (Maximum)	ارتفاع صفيحة رابط المسمار	H_p	

شكل (34) يوضح ابعاد ربطة سلسلية



Sprocket Pitch Diameter Calculation

حساب قطر الخطوة لبكرة السلاسل

$$PD = \frac{P}{\sin\left[\frac{180^\circ}{N}\right]}$$

PD = Pitch Diameter قطر الخطوة

P = Chain Pitch in inches خطوة السلسلة بالانجات

N = Number of teeth on the sprocket

عدد الأسنان على بكرة السلاسل

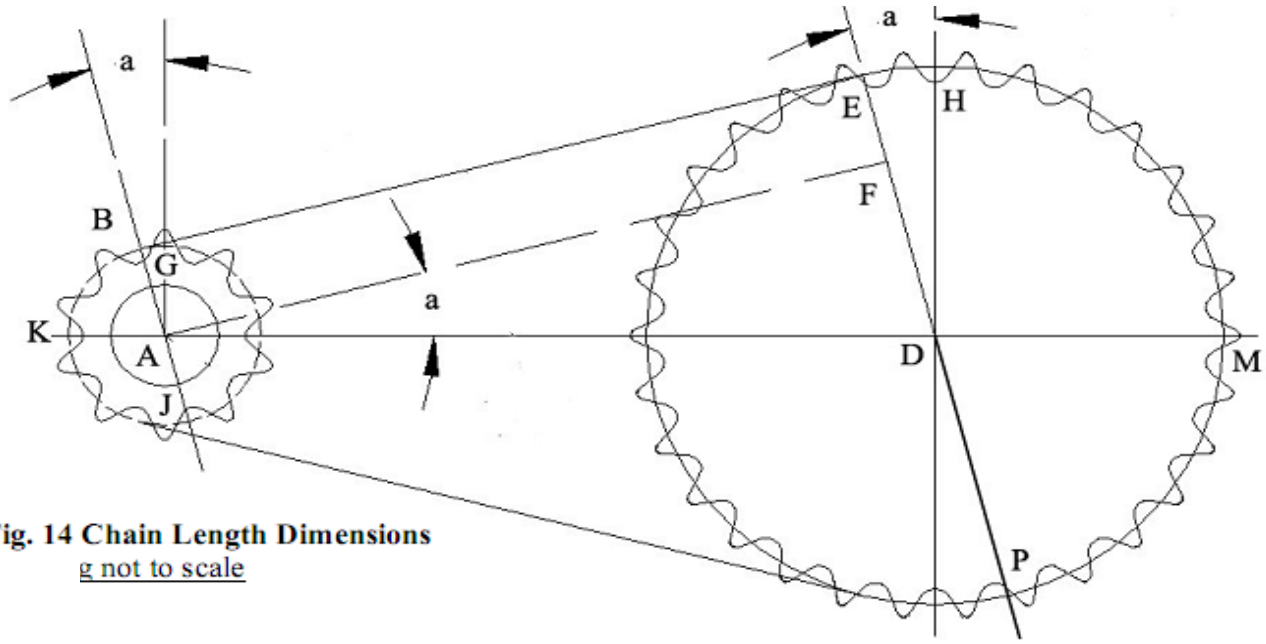


Fig. 14 Chain Length Dimensions
g not to scale

Specifications:

Pitch (**P**)	= ¼" = 0.250"
PR	= Pitch Diameter x 0.5
Drive Sprocket (**n**)	= 10 Teeth
Driven Sprocket (**N**)	= 30 Teeth
Center Distance (**C**)	= 6"/0.250 = 24 (expressed in pitch units

The chain length = 2 (Tangent line length BE + arc ME + arc BK)

شكل (35) يوضح طريقة حساب طول السلسلة في مجموعة نقل بواسطة السلاسل

$$L = 2\left[C\cos a + \frac{N+n}{4} + \frac{a}{360}(N-n)\right]$$

8-2-6. أنواع البكرات المسننة Types of Sprocket

شكل (36) يبين نوع البكرة المسننة بوجود كتف Hub

شكل (37) يبين نوع البكرة المسننة بوجود كتف No Hub

8-2-7. مقارنة بين نقل القدرة بالسيور والسلاسل

نقل القدرة بالسيور	نقل القدرة بالسلاسل
سرع عالية وعزم واطئ	سرع واطئة وعزم عالي
السرعة $700 < V < 2500$ m/min.	السرعة $V < 500$ m/min.
عند التصميم يراعي مايلي: الطول القياسي ، السوفان ، الزحف ، الظروف الجوية ، الفقدان ، درجة الحرارة ، التوتر المطلوب ، استخدام بكرة مساعدة	عند التصميم يراعي مايلي: التزيت ، السوفان ، الصوت ، الوزن ، الاهتزاز
المحاسن: هادئة ذات صوت خفيف مرونة تكلفة قليلة	المحاسن: قوة عالية اي ذات مقاومة عالية مرونة في الطول

الفصل التاسع

التروس والمحامل

Gears & Bearing

1.9 المحامل BEARING

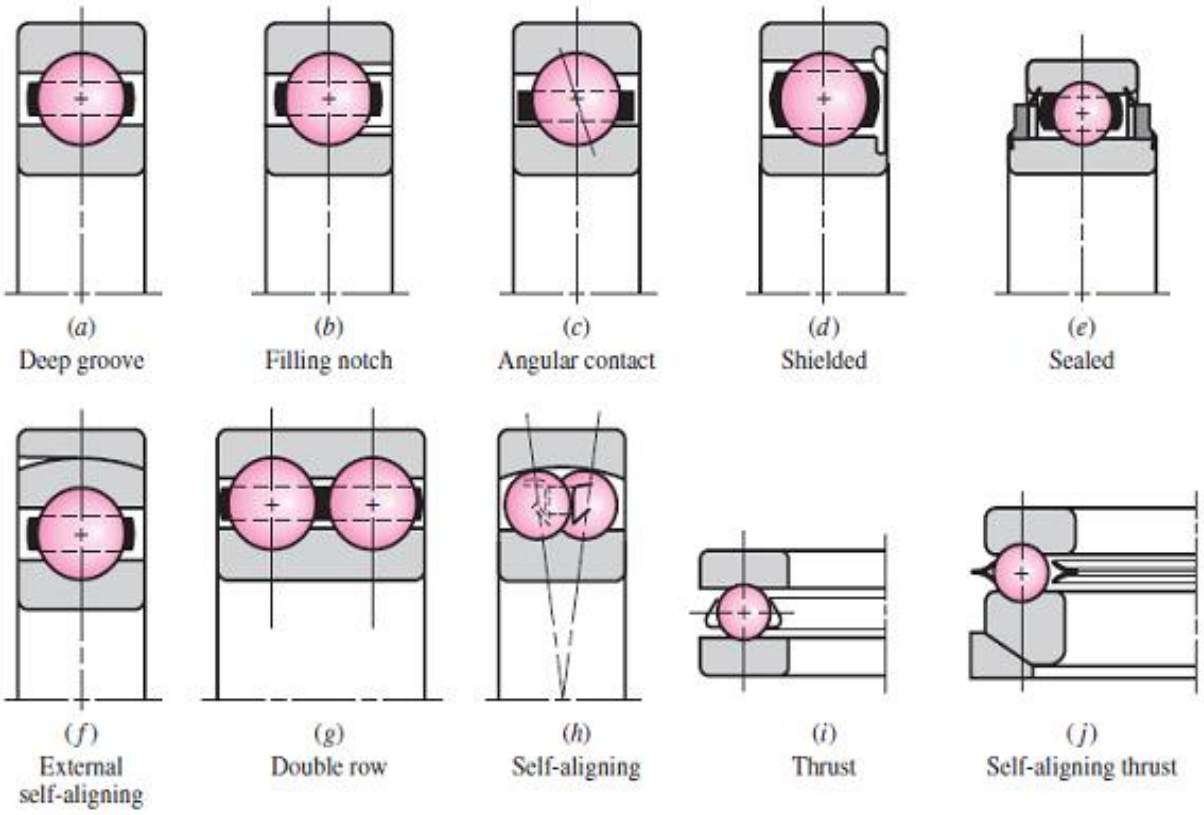
1.1.9 أنواع المحامل

1- محمل القوى المحورية
2- محمل القوى المحورية والشعاعية
3- محمل انزلاق
4- محمل انضغاطي مطوق
5- محمل ذاتي التزييت
6- محمل ثنائي المسير
7- محمل ذاتي التنظيم
8- محمل شعاعي
9- محمل كروي
10- محمل كروي قائم
11- محمل شفي
12- محمل هيدروستاتيكي
13- محمل هيدرودينمك

2.1.9 أشكال المحامل

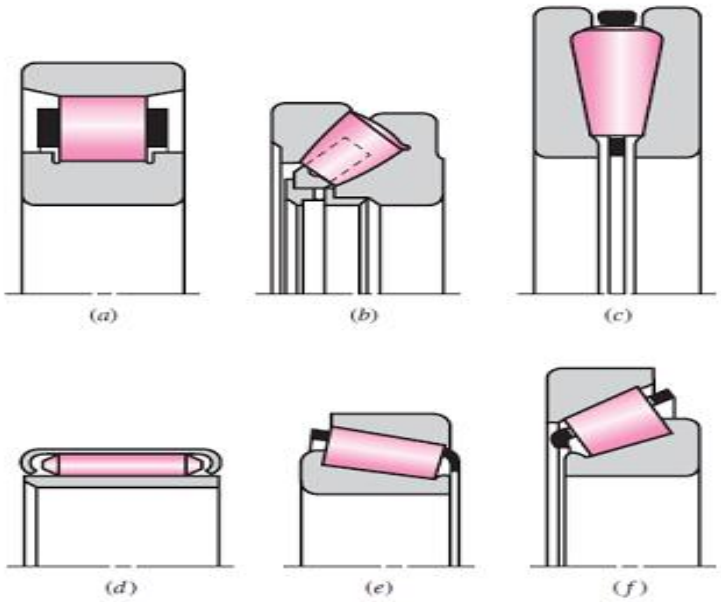
تنقسم المحامل من حيث الجزء الداخلي إلى نوعين هما:

1.2.1.9 الحوامل الكروية Boll Bearing



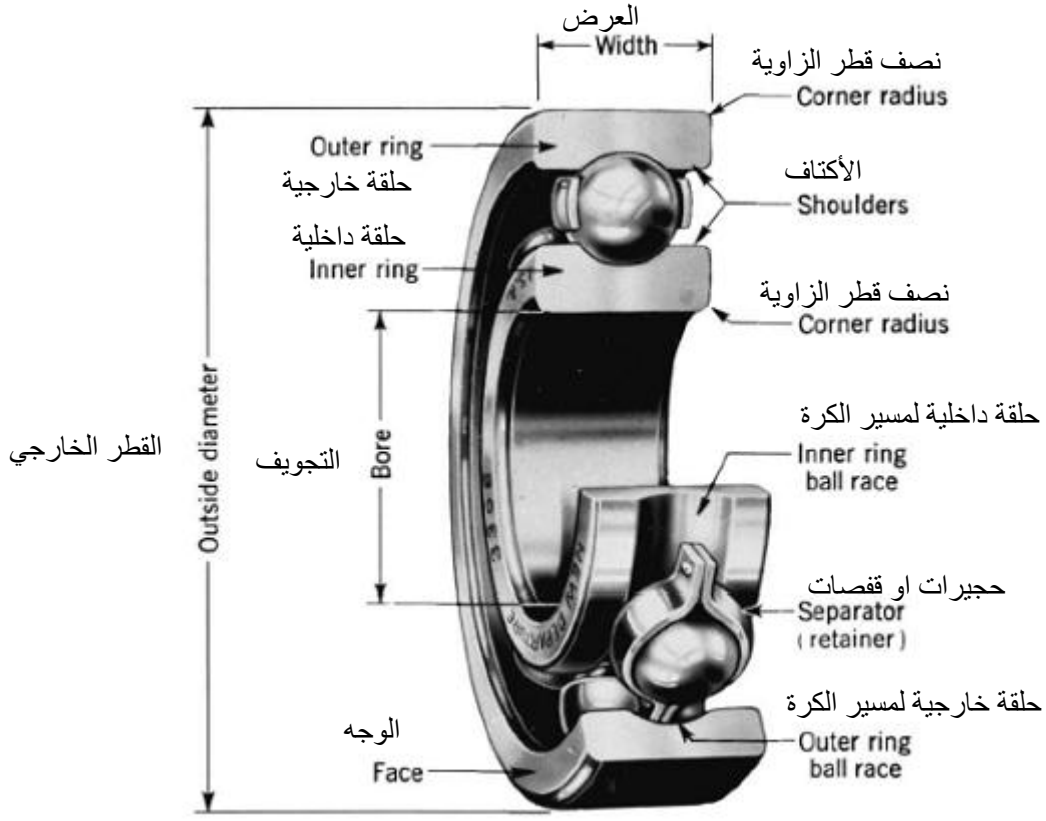
شكل رقم (1) انواع الحوامل الكروية

2.2.1.9 الحوامل الاسطوانية Roling Bearing



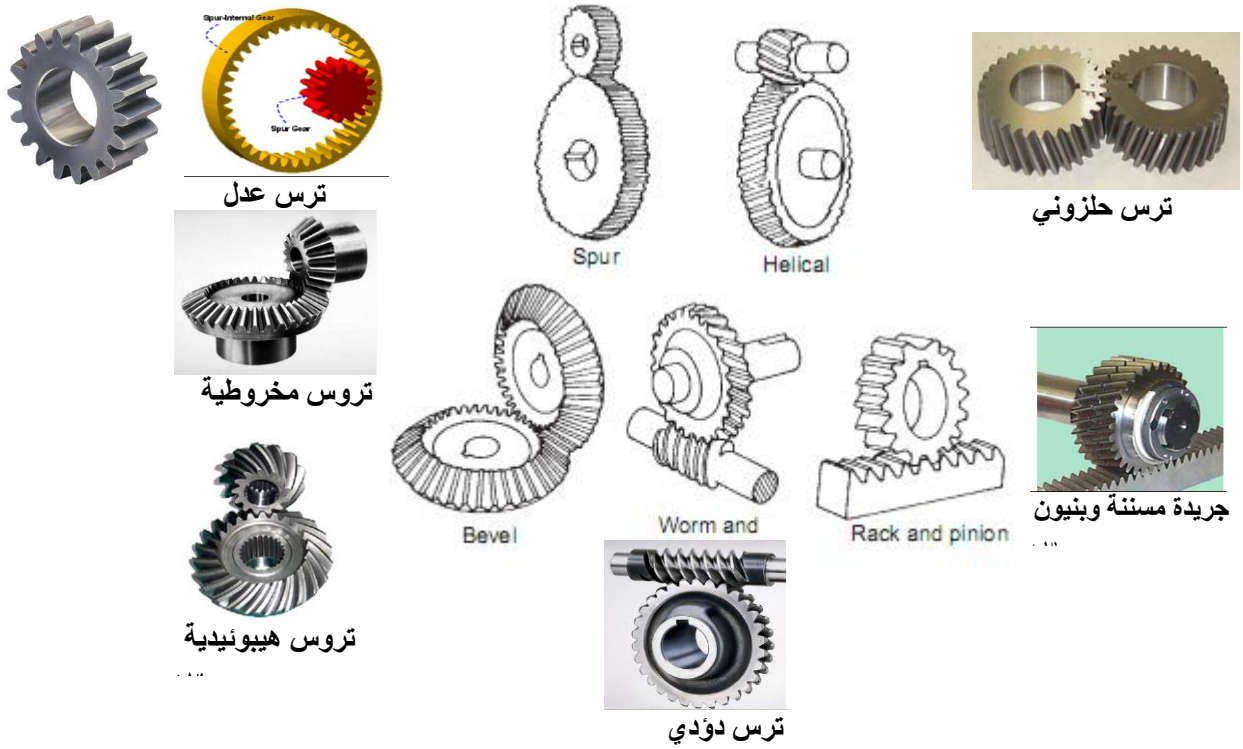
شكل رقم (2) انواع الحوامل الاسطوانية

3.2.1.9 أجزاء الحامل Bearing



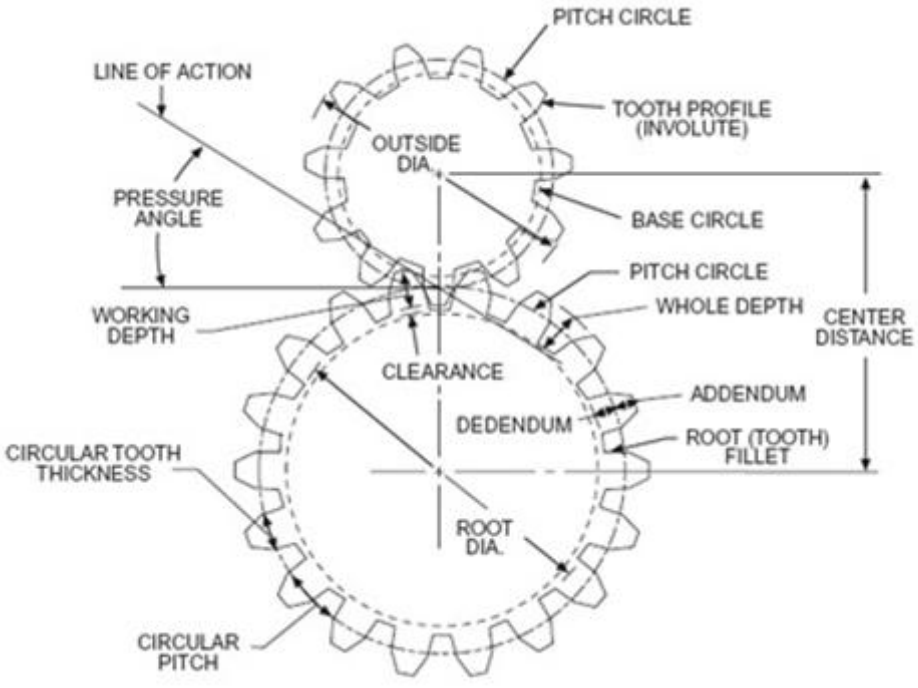
شكل رقم (3) مقطع لحامل كروي

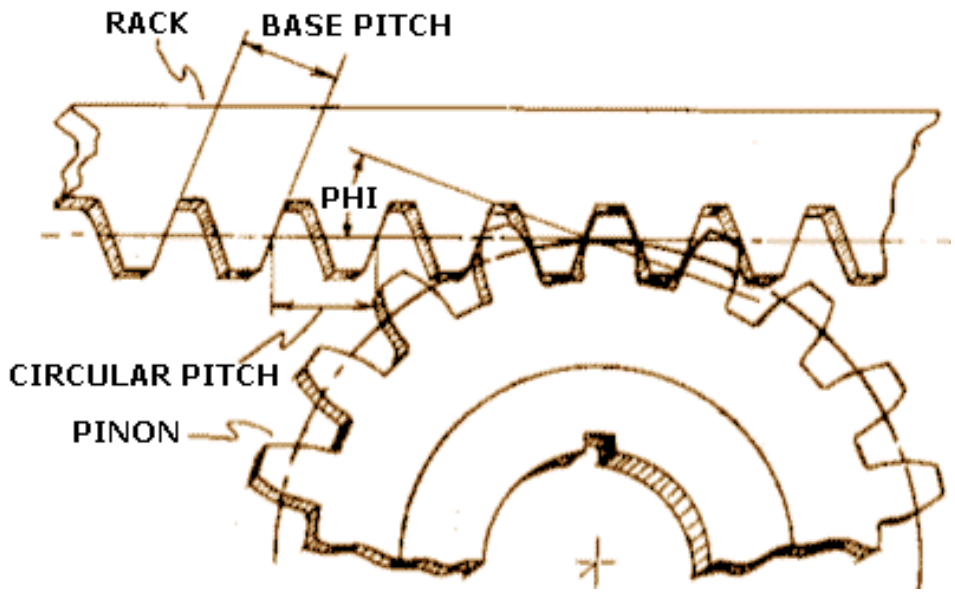
1.2.9 انواع التروس



شكل رقم (4) يبين أنواع التروس

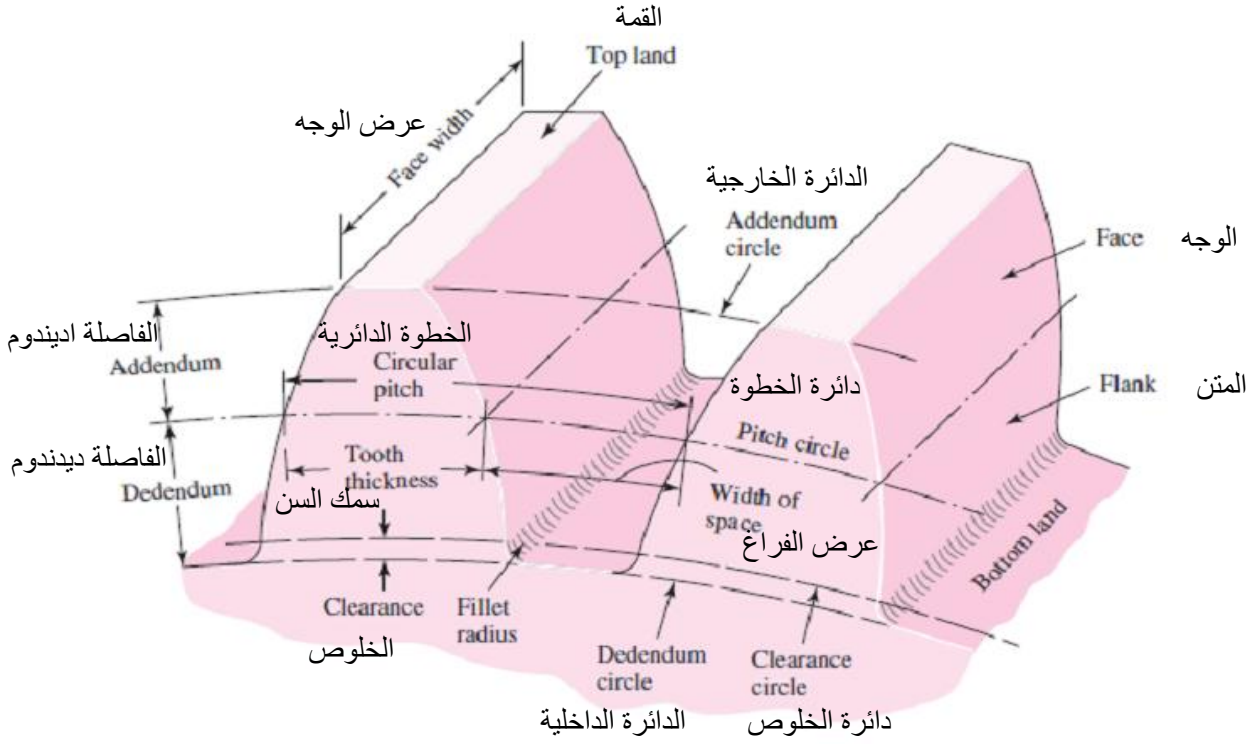
شكل (5) يوضح كيفية تشعقيق ترسين مع بعضهما البعض لانواع مختلفة من التروس .





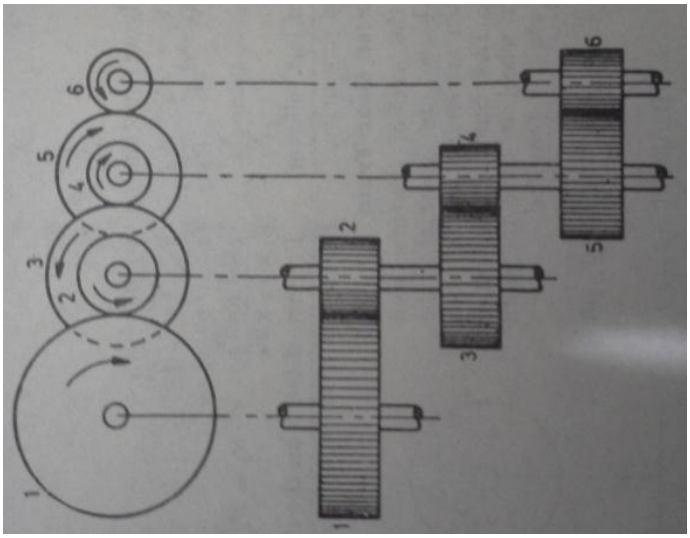
شكل رقم (5) يبين تعشيق ترسين

2.2.9 اجزاء الترس



شكل رقم (6) مقطع لأسنان ترس

3.2.9 نقل الحركة في مجموعة تروس



$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{N_4}{N_3} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$\frac{N_6}{N_5} = \frac{T_5}{T_6}$$

بضرب المعادلات الثلاثة فيما بينها ينتج

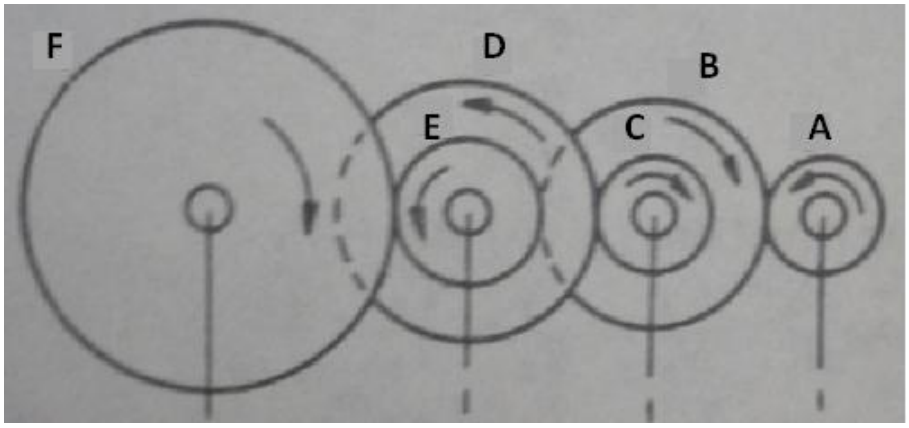
شكل رقم (7) يبين نقل الحركة في مجموعة تروس

$$\frac{N_2}{N_1}\cdot\frac{N_4}{N_3}\cdot\frac{N_6}{N_5} = \frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{T_3}{E_4}\cdot\frac{T_5}{T_6} \quad \rightarrow \quad \frac{N_6}{N_1} = \frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{T_3}{E_4}\cdot\frac{T_5}{T_6}$$

لانه

$$N_2 = N_3 \quad ; \quad N_4 = N_5$$

مثال: محور ماطور كهربائي كما في الشكل متصل بالترس (1) ويدور بسرعة 975 دورة لكل دورة والتروس (B،C ،D) مثبتة بشكل متوازي على محاور تدور معا. الترس الاخير (F) مثبت على المحور النهائي (G) ، ما هي سرعة (F) ، اذا علمت ان عدد الاسنان لكل ترس كما يلي:



الترس	A	B	C	D	E	F
عدد الاسنان	20	50	25	75	26	65

الحل

$$\frac{N_F}{N_A} = \frac{T_A}{T_B}\cdot\frac{T_C}{E_D}\cdot\frac{T_E}{T_F}$$

$$\frac{N_F}{N_A} = \frac{20}{50} \cdot \frac{25}{75} \cdot \frac{26}{65} = \frac{4}{75}$$

$$N_F = N_A \times \frac{4}{75} = 975 \times \frac{4}{75} = 52 \ rpm$$

4.2.9 صندوق التروس

صندوق التروس (صندوق تغيير السرعات) هو ثاني أجهزة نقل الحركة والذي يـأتي مباشـرة بعـد القابض .

1.4.2.9 وظائف صندوق التروس

الوظيفة الاساسية لصندوق التروس هى الحصول علي سرعات مختلفة للجـرار لتناسـب العمليـات الزراعية المختلفة.

بالإضافة إلي ذلك فإن صندوق التروس يقوم بالآتي :

١- تعديل النسبة بين سرعة دوران المحرك وسرعة دوران العجلات الخلفية للجرار وذلك للحصـول عي قوة شد وسرعة أمامية مناسبة لكل آلة زراعية يجرها الجرار.

٢- الحصول علي السرعة الخلفية للجرار وذلك بعكس إتجاه دوران العجلات الخلفية.

٣- فصل حركة المحرك عن العجلات الخلفية فصلاً دائما حتي يمكن إدارة أي آلة زراعية بواسـطة طارة الإدارة وذلك مع ثبات الجرار في مكانه كما فى حالة إدارة طلمبة ري أو آلة دراس ثابتة.

٤- توصيل القدرة إلي كل من طارة الإدارة وعمود الإدارة الخلفي والجهاز الهيدروليكي.

2.4.2.9 الأجزاء الرئيسية صندوق التروس

يختلف تصميم صندوق التروس تبعاً لإختلاف مصدر وموديل الجرار علي أن يشمل أي نوع منهـا الأجزاء الأساسية الآتية:

شكل رقم (8) شكل عام لصندوق التروس

١- عمود إدارة متصل بمرفق المحرك عن طريق القابض.
٢- عمود تابع متصل بالعجلات الخلفية للجرار عن طريق باقي أجهزة نقل الحركة.
٣- عمود وسيط أو مناول ينقل حركة عمود الإدارة الي العمود التابع.
٤- تروس ثابتة تركب علي كل من عمود الإدارة والعمود الوسيط.
٥- تروس إنزلاقية تركب علي العمود التابع .
٦- ذراع تغير السرعات ليتحكم في حركة التروس الإنزلاقية المركبة علي العمود التابع.
٧- علبة تضم بداخلها كل الأجزاء السابق ذكرها وتسمى صندوق التروس.

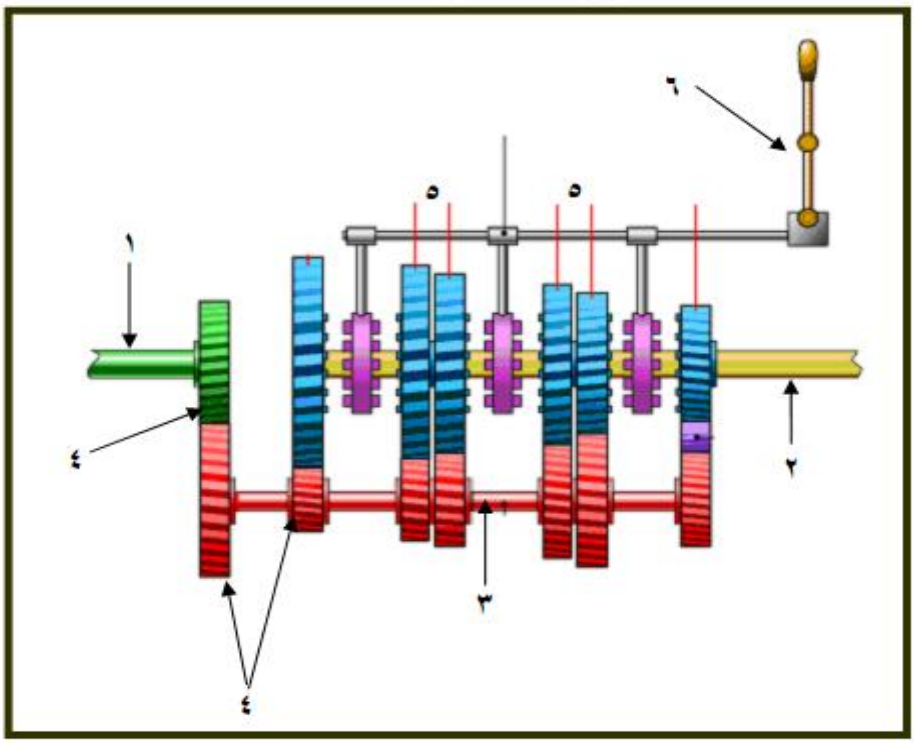
وتبين الأشكال (10, 9) الأجزاء الرئيسية لصندوق التروس وخط سير الحركة داخل صندوق التروس.

3.4.2.9 كيفية الحصول على السرعات الامامية والخلفية

يمكن الحصول السرعات المختلفة من خلال الخطوات التالية :

- تشغيل المحرك وبذلك يكون عمود المرفق في حالة حركة.
- الضغط علي دواسة القابض بالقدم اليسري لفصل حركة المحرك (حركة عمود مرفقة) عن صندوق التروس.
- تعشيق أي سرعة للجرار (أمامية أو خلفية) حسب المناسب للتشغيل.
- رفع القدم اليسري تدريجياً من علي دواسة القابض والضغط بالقدم اليمني علي دواسة مزود السرعة ليبدأ الجرار في الحركة.

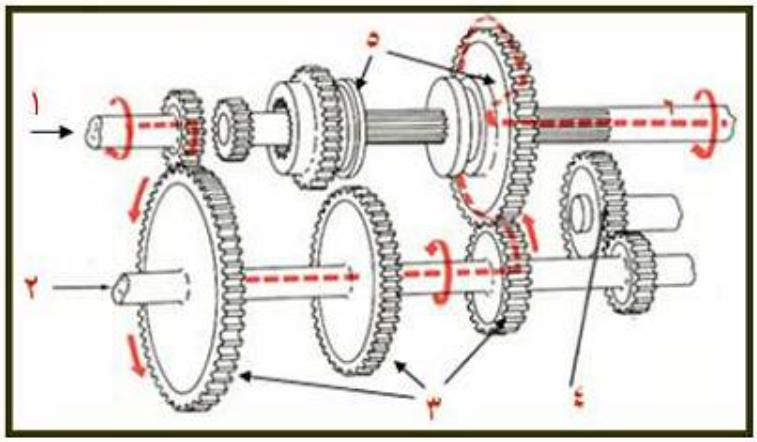
ولفهم ذلك فإنه بعد إدارة المحرك وتوصيل الحركة للقابض يدور الترس المثبت بعمود الإدارة، لأن هذا الترس معشق دائماً بالترس المثبت في العمود الوسيط ، فإن هذا العمود الأخير يكون دائم الدوران في هذه الحالة ، وبتعشيق ترس واحد منزلق من علي العمود التابع مع الترس المناظر له في العمود الوسيط، يتصل العمود التابع بالعمود الوسيط وينتج عن هذا الإتصال سرعة معينة تنتقل إلى علبة التروس الفرقية ومنها إلي العجلات الخلفية للجرار.



١- عمود إدارة ٢- عمود تابع ٣- عمود وسيط (مناول)
٤- - تروس ثابتة ٥- تروس إنزلاقية ٦- ذراع تغير السرعات

شكل رقم (9) الأجزاء الرئيسية لصندوق التروس

١- عمود إدارة
٢- العمود المناول
٣- - تروس ثابتة
٤ - تروس السرعة الخلفية
٥- تروس إنزلاقية
٦- العمود التابع



شكل رقم (10) صندوق التروس موضحا عليه خط سير الحركة

وتعطي تنقلات التروس المختلفة في صندوق تغير السرعات – في السيارات والجرارات معاً – سرعات متباينة تبدأ من السرعة البطيئة إلي المتوسطة فالسريعة، إلا أن الوظيفة الرئيسية لصندوق تغير السرعات تختلف في السيارات عنها في الجرارات ، وسبب ذلك أن الوظيفة الأساسية للجرار هي شد الأحمال الثقيلة، بينما وظيفة السيارة نقل الحمولات بسرعة.

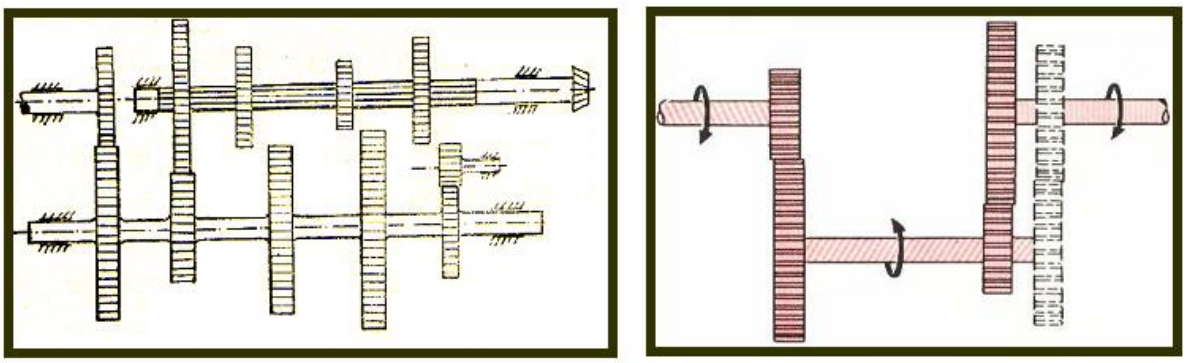
فاذا حاولنا بدء حركة السيارة علي السرعة العالية فإن المحرك سيتوقف عن الدوران أو يحدث إرتجاجا شديداً مضراً بالسيارة . ولذا يلزم أن تبدأ السيارة الحركة تدريجياً من السرعة الأولي ثم الثانية إلي أن تصل إلي السرعة العالية وبعبارة أخري فأن وجود السرعات الأولي والثانية والثالثة لازم للحصول علي سرعتها النهائية بالتدريج كما أنها لازمة أحيانا لتتمكن السيارة من السير علي المنحدرات والمرتفعات والأراضي الرملية والطينية بإستعمال السرعات البطيئة .

أما في حالة الجرار فإنه يسير بسرعة بطيئة جدا بالنسبة للسيارة ، لذلك فأنه يستطيع القيام مباشرة علي أي سرعة دون التقيد بالبدء من السرعة الأولي ، وإجهزة نقل الحركة في الجرارات مصممة بحيث يمكن إستعمال السرعات البطيئة بإستمرار بينما تصاب تلك الأجهزة في السيارات بضرر جسيم إذا ما إستعملت السرعات البطيئة تحت حمل ثقيل لمدة طويلة.

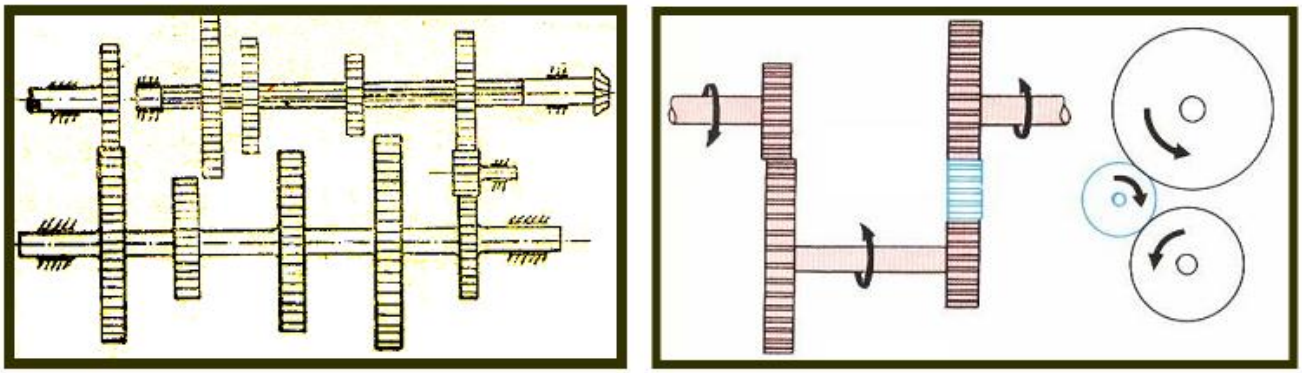
وعلى ذلك يمكن القول أن وظيفة صندوق تغير السرعات في الجرارات هي إعطاء السرعة المناسبة للحصول على قوة الجر المطلوبة لأي آلة زراعية.

فالسرعة الأولي مثلا تناسب شد الآلات الثقيلة جداً كمحاريث تحت التربة والمحاريث الثقيلة والعملية الزراعية التي تتطلب سرعة بطيئة مثل عمليات التسطير والبذر، والسرعة المتوسطة للمحاريث الحفارة والقلابة العادية ، والسرعة فوق المتوسطة لعمليات تمشيط الأرض، والسرعة العالية لعمليات النقل .

ويوضح شكل(11)رسم تخطيطى لصندوق التروس وهو معشق على السرعة الأولى بينما يوضح شكل(12)صندوق التروس وهو معشق على السرعة الخلفية.



شكل رقم (11) صندوق التروس معشق على السرعة الاولى

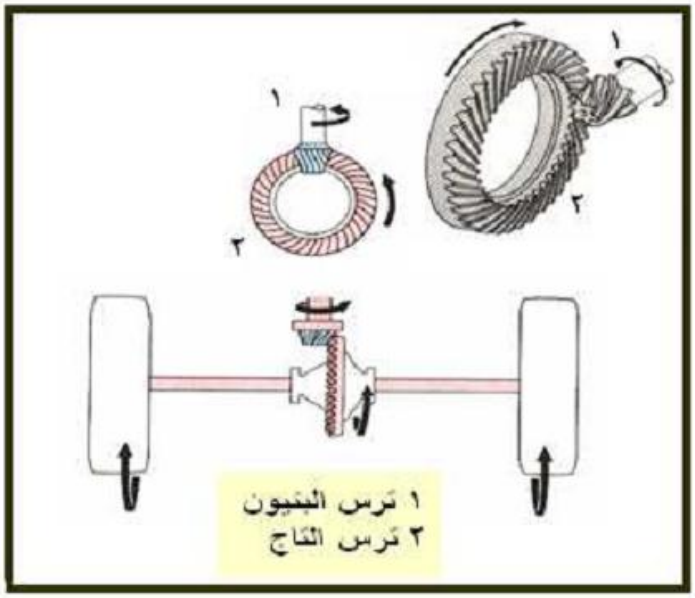


شكل رقم (12) صندوق التروس معشق على السرعة الخلفية

4.4.2.9 الجهاز العمودي

الجهاز العمودى هو الجهاز الذى يلى صندوق التروس حيث تنتقل الحركة من صندوق التروس إلـــي هذا الجهاز بغرض نقل تلك الحركة الي العجلتين الخلفيتين، والوظيفة الأساسية لهذا الجهاز هى تحويل حركة العمود التابع الخارج من صندوق تغيير السرعات من الإتجاه الطولى للجـــرار إلـــي الإتجـــاه العمودي عليه (أي بزاوية قدرها ٩٠ درجة) إلي كل من الإتجاهين اليمين واليسار حتي تصل الحركة إلي العجلتين الخلفيتين للجرار.

ولهذا يستعمل ترسان مخروطيان (13) معشقان معا بحيث يتقابل محاورهما في نقطـــة واحـــدة، ويسمي الترس الصغير بترس الحركة (البنيون) وهو مثبت في نهاية العمود التـــابع الخـــارج مـــن صندوق التروس ، ويسمي الترس الكبير بترس التاج ومحوره عمودي علي محـــور تـــرس البنيـــون وبواسطتة تنتقل الحركة الي العمودين النصفيين لعجلات الجرار.



شكل رقم (13) الجهاز العمودي

وبواسطة كل من ترس البنيون وترس التاج يتم تخفيض السرعة المنتقلة إلي العمودين النصفيين وهذا التخفيض مستديم يضاف إلي التخفيض الحادث في السرعة نتيجة تعشيق السائق لأحد سرعات صندوق التروس.

5.4.2.9 الجهاز الفرقي

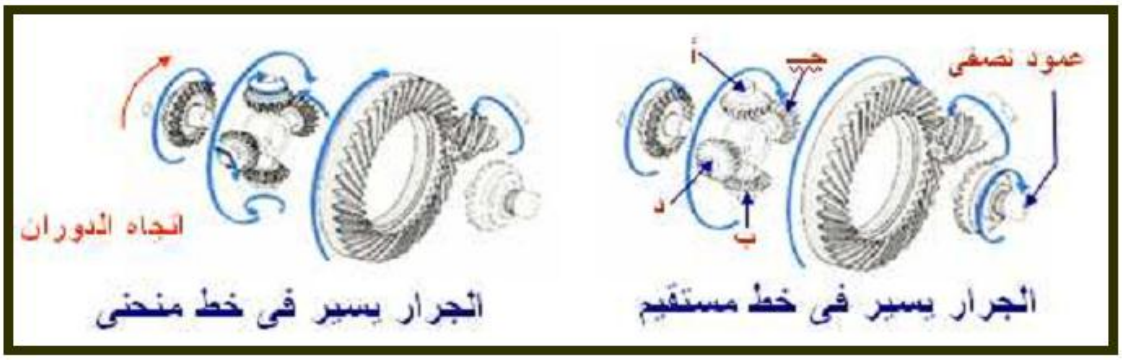
الجهاز الفرقي عبارة عن مجموعة من التروس المخروطية متصلة بعضها ببعض إتصالاً خاصاً وتأخذ حركتها من ترس التاج ، والغرض من التروس الفرقية هو السماح للعجلات الخلفية للجرار بالدوران، كل عجلة بسرعة مختلفة عن سرعة الأخري إذا لزم الأمر ، وفي نفس الوقت تزود كل من العجلتين بما تحتاجه من القدرة التي يعطيها المحرك ، ويوضح (14) الأجزاء التى يتكون منها الجهاز العمودى والجهاز الفرقى.

شكل رقم (14) الأجزاء التي يتكون منها الجهاز العمودي والجهاز الفرقي

فعندما يتجه الجرار نحو اليمين أو نحو اليسار تكون المسافة التي تقطعها العجلة الخارجية أثناء الدوران أطول من تلك التي تقطعها العجلة الداخلية.

فإذا فرضنا أن العجلتين الخلفيتين للجرار متصلتان إتصالاً مباشراً بواسطة عمود واحد فإنه عند الدوران لابد لعجلة من العجلتين أن تنزلق بدلا من أن تدور ، لأن العجلتين لا تقطعان مسافة واحدة في آن واحد ، وهذا الإنزلاق يعوق حركة التوجيه ويسبب ضياع للقدرة المتنقلة من المحرك ، كما يؤدي إلي تآكل سريع للإطارات الكاوتش ، ولتفادي تلك العيوب لزم تواجد الجهاز الفرقي في الجرارات ذات العجلات.

يوضح شكل (15) إتجاه الحركة فى الجهاز العمودى والجهاز الفرقى أثناء سير الجرار فى خط مستقيم وفى المنحنيات.



شكل رقم (15) اتجاه الحركة في الجهاز العمودي والجهاز الفرقي اثناء سير الجرار

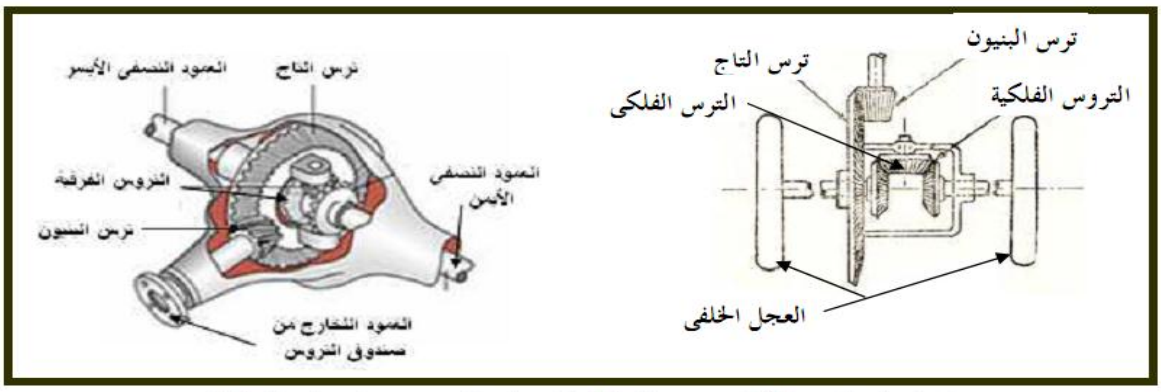
ولهذا فإن وظيفة الجهاز الفرقي هى التفريق بين سرعة العجلات الخلفية أثناء الدوران.

6.4.2.9 كيفية عمل الجهاز الفرقي

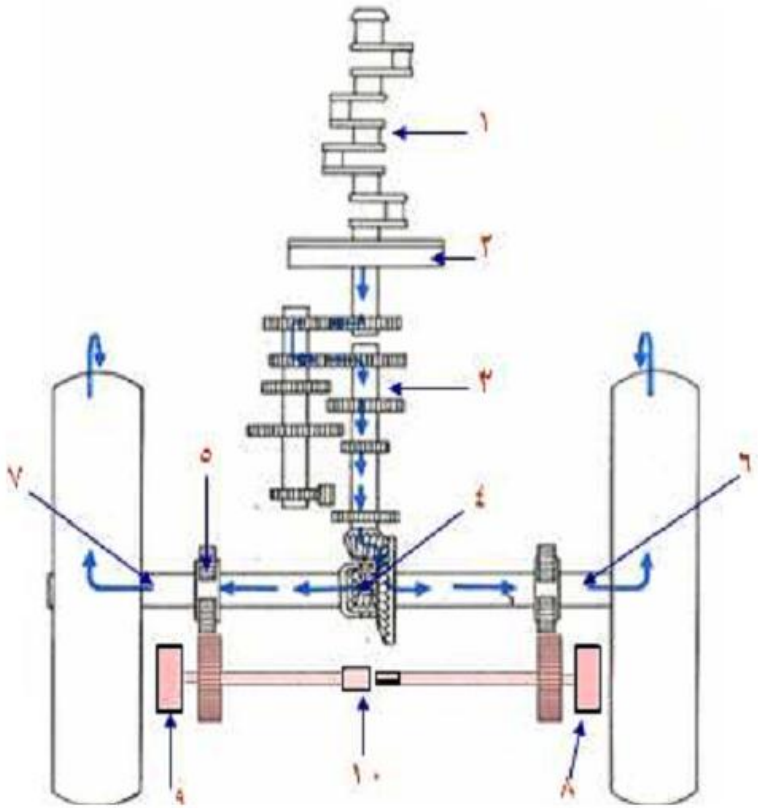
ينقسم العمود الخلفي للعجلات الخلفية للجرار عند منتصفه إلي جزئين يطلق علي كل منهما إسم "العمود النصفي" ويثبت ترسان من التروس المخروطية في الطرفين المواجهين معا ويعشق ترس مخروطي (يسمي بالترس الفلكي) مع هذين الترسين المخروطين ويتصل الترس الفلكي إتصالا خاصا بترس التاج شكل (16) يسمح هذا الإتصال لهذه المجموعة من التروس للعجلتين الخلفيتين بالدوران بسرعات مختلفة عندما ينعطف الجرار في المنحنيات بينما تستمد هاتان العجلتان الخلفيتان حركتهما في نفس الوقت من العمود الخارج من صندوق تغير السرعات عن طريق جهاز النقل العمودي.

والجهاز الفرقي له عيب ظاهر في بعض الحالات التي يكون فيها تماسك التربة ضعيفاً جداً تحت إحدي عجلات الجرار الخلفية بسبب وجود وحل مثلاً ، ففي هذه الحالة تدور العجلة التي فوق الوحل بسرعة كبيرة بينما الأخري التي فوق الأرض المتماسكة تكاد لا تتحرك ، ولأن العجلة المسرعة ليس لها تماسك كاف مع الأرض فلا يتحرك الجرار في هذه الحالة من مكانه.

ولعلاج ذلك يوجد في معظم الجرارات جهاز وظيفته إبطال عمل الجهاز الفرقي مؤقتاً ويستعمل في حالة غرس إحدي العجلات الخلفية في أرض غير متماسكة – وفي هذه الحالة تدور التروس الفرقية كقطعة واحدة شكل (16) .



شكل رقم (16) علبة التروس الفرقية (الجهاز العمودي ، الجهاز الفرقي)



١- المحرك
٢- القابض
٣- صندوق التروس
٤- الجهاز الفرقى
٥- تروس النقل النهائى
٦- عمود العجلة الخلفية اليمنى
٧- عمود العجلة الخلفيةاليسرى
٨- الفرملة اليمنى
٩- الفرملة اليسرى
١٠- جلبة تعشيق جهاز الغرس

شكل رقم (17) قطاع في الجرار مبينا خط سير الحركة من المحرك حتى العجلات الخلفية ومبينا مكوناته

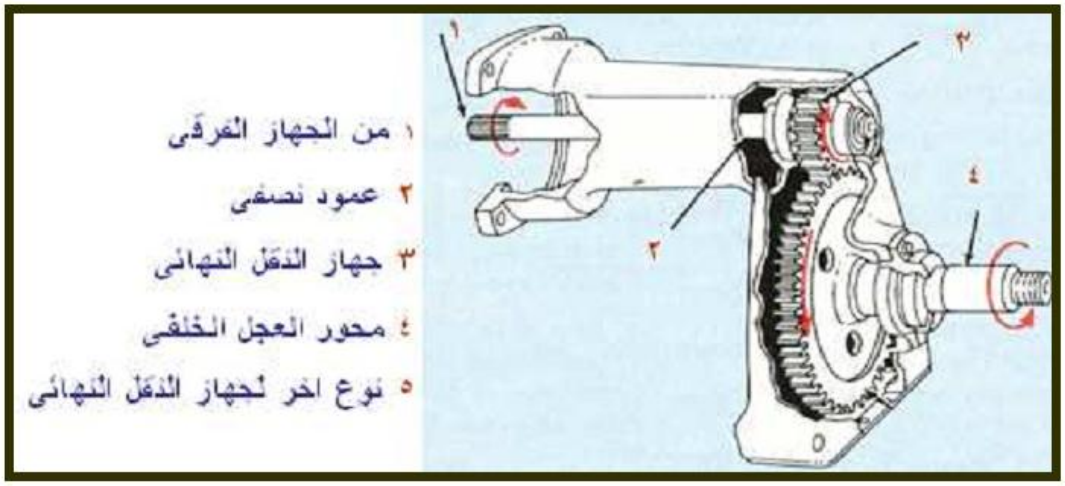
في كثير من الجرارات لا تكفي أجهزة نقل الحركة داخل الجرار (صندوق تغير السرعات والجهاز العمودي) فى تخفيض سرعة المحرك إلى الحد المناسب لقدرة الشد المطلوبة من الجرار لذلك تزود هذه الجرارات بجهاز آخر وظيفته التخفيض الأخير للسرعة قبل وصولها للعجلات الخلفية، ومكان هذا الجهاز عند نهاية العمودين النصفيين قبل العجلات الخلفية مباشرة.

ويتم تخفيض السرعة فى هذا الجهاز في الجرارات ذات العجلات الكاوتش بإستخدام زوج من التروس أو عن طريق عجلتين مسننتين وجنزير.

١- **فى حالة التروس:** يتكون الجهاز من ترسين معشقين مع بعضهما عند نهاية كل عمود من العمودين النصفيين، أولهما صغير مثبت على العمود النصفي والآخر كبير ومثبت بمحور العجلة الخلفية للجرار شكل (18) .

٢- **فى حالة العجلات المسننة:** يتكون الجهاز من عجلتين مسننتين وجنزير يحيط بهما ، والعجلة المسننة الأولي وهي الصغيرة مثبته بنهاية كل عمود نصفي والثانية وهي الكبيرة مثبتة بمحور كل

عجلة خلفية من عجلات الجرار، وتنتقل الحركة من العجلة المسننة الأولي الي الثانيـــة بواســطة جنزير.



شكل رقم (18) جهاز النقل النهائي

7.4.2.9 تقدير السرعة الامامية النظرية للجرار

بمعرفة السرعة الدورانية لعمود المرفق ونسبة التخفيض الكلية لأجهزة نقل الحركة بالجرار من خلال الخطوات التالية:

١- السرعة الدورانية للعجلات الخلفية بالجرار= السرعة الدورانية للمحرك × نسبة التخفيض الكلية

٢- السرعة الأمامية للجرار= السرعة الدورانية للعجلات الخلفية × محيط العجل الخلفى لجرار

مثال (١):

إحسب السرعة الأمامية لجرار يدور محركة بسرعة دورانية قدرها ١٢٠٠ لفة/دقيقة، وقطـــر العجـــل الخلفى لة ١٢٠سم .علماً بأن نسبة التخفيض الكلية داخل الجرار ١/١٠٠.

الحل

السرعة الدورانية للعجلات الخلفية = السرعة الدورانية للمحرك * نسبة التخفيض الكلية

السرعة الدورانية للعجلات الخلفية للجرار تساوي

$$1200 \cdot (1/100) = 12 \text{ rpm}$$

السرعة الأمامية للجرار = السرعة الدورانية للعجلات الخلفية * محيط العجلة الخلفية للجرار

محيط العجلة الخلفية يساوي

$$\pi * D = 120 * 3.14 = 376.8 \text{ cm} \approx 3.77 \text{ m}$$

السرعة الأمامية للعجلة تساوي

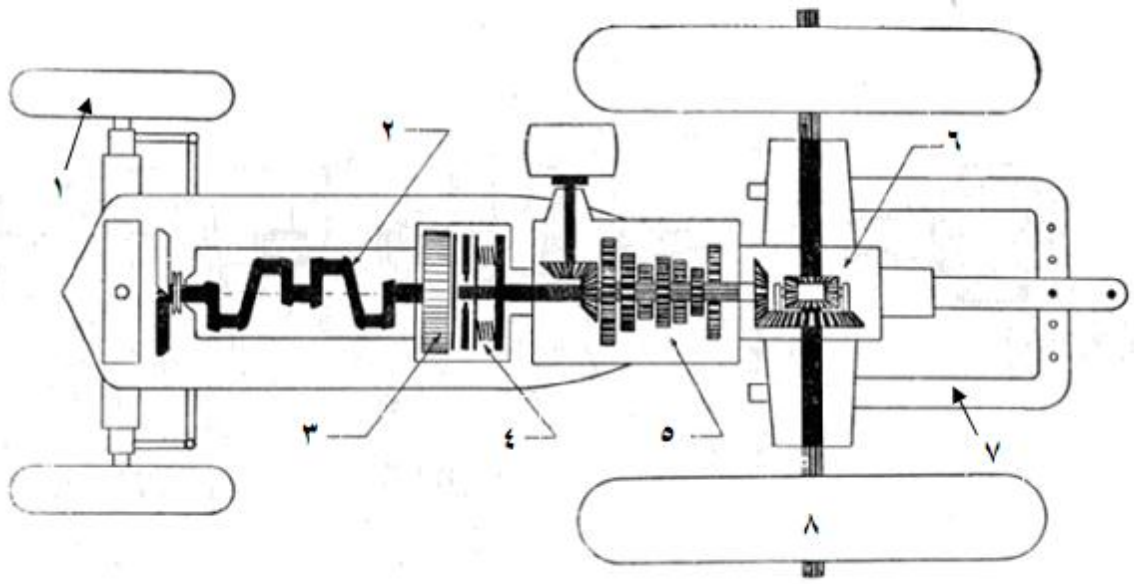
$$12 * 3.77 = \mathbf{45.24} \text{ m/min.}$$

السرعة بالكيلومترات فتساوي

$$\mathbf{45.24}\ \frac{m}{min.} \times \frac{60}{1000} = \mathbf{2.7}\ km/hr$$

3.9 الأسئلة

١- أكتب البيانات على الرسم التخطيطى الموضح لمسقط أفقى لجرار زراعى، ثـم حـدد المواقـع المختلفة التى يتم فيها تخفيض السرعة من المحرك حتى العجلات الخلفية.



١- ٢-

٣- ٤-

٥- ٦-

٧- ٨-

٢ ــ أذكر فى نقاط الوظائف الأساسية للأجهزة التالية :

أ- القابض

ب- صندوق تغيير السرعات

ت - الجهاز الفرقى

ث - جهاز النقل النهائى

ج- جهاز الغرس

٣ــ أذكر بإختصار ماذا يحدث لــو :

أ- تعود السائق على سند قدمه على دواسة القابض اثناء قيادة الجرار.

ب - تم توصيل محرك الجرار الدائر بالحمل الثابت فجأة .

ت – لو لم يوجد جهاز القابض بالجرار.

ث– أراد السائق تعشيق التروس دون إستعمال القابض.

ج– ضعف السوست المتصلة بروافع القابض.

ح– تعطل عمل التروس الفرقية عند السير فى منحنى ما .

خ– كان العمود الخلفى لعجلات الجرار عمودا كاملا غير منقسم.

د– تم تعشيق أحد تروس صندوق تغيير السرعات أثناء إدارة الجرار لمضخة رى.

ذ– إنغرست إحدى عجلات الجرار فى التربة.

٤ــ إرسم رسم تخطيطى يوضح صندوق التروس فى كل من الحالات التالية:

أ– معشقا على السرعة الأولى.

ب– فى وضع الحياد (المور).

جـــ– فى وضع السرعة الخلفية.

٥ ــ ما هو الجهاز الذى يلغى وظيفة عمل الجهاز الفرقى ومتى يستعمل ؟

٦ ــ احسب السرعة الأمامية (كم /ساعة) لجرار قطر عجله الخلفى ١٤٠سم وسرعة محركه ١٥٠٠ لفة/دقيقة، علماً بان التحفيض الكلى للسرعة من المحرك الى العجلات الخلفيتين هى ١/١٠٠.

الفصل العاشر

أجهزة التلامس مع الارض

10. أجهزة التلامس مع الأرض

المقصود بجهاز تلامس الجرار هى مجموعة أجزاء الجرار التي تتلامس مع سطح التربة والتي بواسطتها يرتكز الجرار علي الأرض ويتحرك عندما تصل قدرة محرك الجرار إلي هذا الجهاز، ويستمد جهاز التلامس حركته من العمود الخارج من جهاز النقل النهائي.

ففي الجرارات ذات العجل يتكون جهاز التلامس من العجلتين الخلفيتين والعجلتين الأماميتين ، أما في جرارات الكتينة فيتكون من الكتينة اليمني والكتينة اليسري.

1.10 انواع اجهزة التلامس

1- العجل الكاوتش

2- الكتينة

2.10 العوامل التى تؤثر على كفاءة اجهزة التلامس

- **عوامل طبيعية :**

مثل نوع التربة ومقدار تماسكها ونسبة رطوبتها ومقدار إنحدار سطح الأرض.

- **عوامل خاصة بتصميم وتشغيل الجرار ، وأهمها :**

1- اذا كان الجرار بعجل

قطر العجلة – عرض العجلة – الوزن الواقع علي العجل الخلفي – نوع البروزات في الإطار الخارجي للعجل – السرعة الأمامية للجرار.

2- اذا كان الجرار بكتينة :

عرض الكتينة – طول تلامسها مع الأرض – نوع البروزات في الكتينة – السرعة الأمامية للجرار.

3.10 العجلات الكاوتش

منذ زمن بعيد لجأ منتجوا الآلات الزراعية إلى تصنيع الإطارات الكاوتش الهوائية لتلافى عيوب العجلات الحديدية فأصبح إستعمال العجل الكاوتش منتشراً في الجرارات الزراعية للأسباب الآتية:

1- أنه يخفض المقاومة المتطلبة للتحريك (مقاومة التدحرج).
2- يسمح بإستعمال سرعات عالية عند قيامه بأداء الأعمال الخفيفة.
3- يترتب علي إستعماله إستهلاكاً أقل للوقود .
4- أقل كبسا للتربة.

1.3.10 المكونات الأساسية لجهاز التلامس الكاوتش

يتكون العجل الكاوتش من إسطوانة (جانط) مصنوعة من الصلب حافتها مستديرة ومقعرة تحـــاط بأنبوبة داخلية من المطاط وتغلف بإطار من الكاوتش به بروزات لتتماسك مع التربة وتنفخ الأنبوبة الداخلية بالهواء علي ضغط منخفض يتراوح بين ٠.٨ و ١.٢٠ كيلوجرام علي السنتيمتر المربـــع

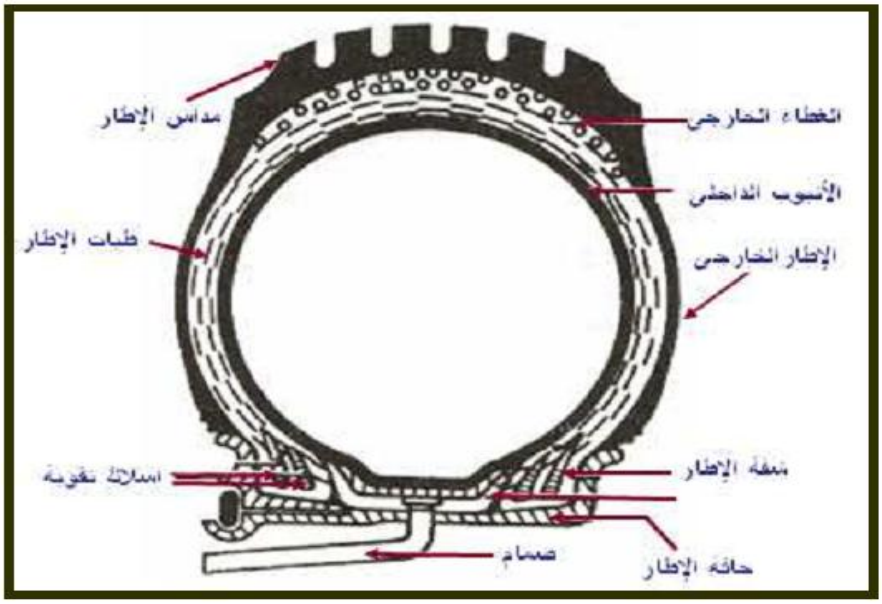
شكل 1

شكل رقم (1) الاطارات الكاوتش في الساحبة

يتركب الإطار الكاوتش شكل 2 ، 3 من الأجزاء التالية:

1- أسلاك التقوية (الخرزة)

وهى عبارة عن حزمه من السلك موجوده داخل الإطار لتثبيت الشفة فى الإطار حيـــث أن كـــل طبقات الإطار تربط ربط وثيق بهذه الأسلاك والتى توجد على الشفه وتحول دون تغيير شكل شفه الإطار.



شكل رقم (2) مقطع في اطار كاوتش خلفي للجرار بدون انبوب داخلي (تيوبلس)

شكل رقم (3) مكونات الاطار الكاوتش للعجل الخلفي للجرار

2- طبقات جسم الاطار

هى عبارة طبقات متعددة من المطاط ينسج القلب الداخلى لها من الخيوط، ويكون قوى بدرجة كافيه ليتحمل ضغط النفخ وكذلك الحمل والواقع عليه والصدمات.

وكل نسيج فى كل طبقة يحاط بطبقة مطاطية مرنه، وكل طبقة تلتصق بالتالية لها بطبقة من مادة لاصقة.

وهذه الأنسجة قد تكون من القطن أو من الحرير الصناعى أو النيلون أو من البولى إستر ... الخ والحرير والنيلون هما الأكثر شيوعاً.

وتتروح عدد الطيات لإطارات الجرارات مابين (6) الى (14) وقد تصل الى (20) أو أكثر من ذلك لبعض معدات الخدمة الشاقة.

وعادة ما تركب هذه الطيات بزاوية معينة حسب إتجاه الطيات بالنسبة لبعضها ولجانبى الإطار ومنها أنواع عديدة تختلف حسب شكل الطبقات القاعدية بالنسبة لبعضها شكل 3

A- ذات السيور القاعدية

وفيها يشبه التحزيز شكل السيور وتكون شديدة الإتصال من المنتصف، وهى الطبقة المحيطة بالجسم وتحت طبقة البروزات والمداس وتكون من الجانب الأيمن للإطار إلى الجانب الأيسر شكل 4.A

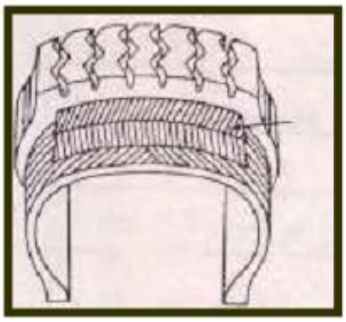
B- طبقات قاعدية

وهى عبارة عن أنسجة يمكن أن تأخذ زوايا أقل من المستخدمة فى النوع الأول وهذا الترتيب يعطى لها قوة تماسك وصلابة للحائط الجانبى للإطار ويحسن ويزيد من العمر الإفتراضى للبروزات شكل 4.B وبالتالى تحسن من قوة تماسكها مع الأرض.

C- طبقات ذات السيور القطرية

وهى عبارة عن أنسجة ملفوفة حول جسم الإطار وتثبت هذه الأحزمة بشدة مع الأسلاك فى المنطقة تحت البروزات فتزيد قوة البروزات وبالتالى زيادة تماسكها مع الأرض، ويعتبر هذا النوع من أقوى أنواع الإطارات وأكثرها تحملا شكل 4.C

A - ذات السيور القاعدية



B - طبقات قاعدية

C - طبقات ذات السيور القطرية

شكل رقم (4) شكل بناء أنسجة الاطارات الكاوتش

3- الجوانب

هى عبارة عن غطاء من المطاط مصممة بحيث تكون لينة وان ينثنى دون أن تتشقق ويظهر فائدة ذلك عند الدورانات ، الصدمات المفاجئة .

4- البروزات (المداس)

هو الجزء من الإطار الملامس للأرض والذى يقابل الإحتكاك ويزيد من قوة الإلتصاق بالأرض ويزيد من عمر الاطار ويقاوم القطع.

ومنه أنواع وأشكال عديدة من حيث الشكل والعمق ولكن بصفة عامة يكون المداس عميق للمعدات الزراعية التى تعمل فى الحقل.

5- الانبوب الداخلى

وهو الجزء الداخلى من الإطار والمملوء بالهواء المضغوط والماء.

6- البطانة

وهى بطانة للأنبوب الداخلى لتحمية من التلف نتيجة للإلتصاق بحافه وجسم الإطار.

7- الشفة

وهى جزء منتفخ يحيط بالمجموعة السلكية التى تحيط بالإطار من الخارج ليعمل على ضمان إلتصاق الكاوتش بالجانب.

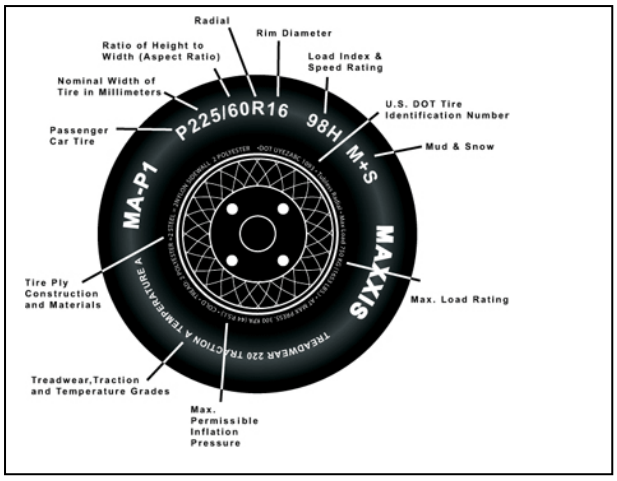
فى بعض الجرارات الحديثة تستخدم إطارات ليس لها إنبوب داخلى فهى عبارة عن كاوتش متكامل بدون إنبوب داخلى مغطى من الداخل بأسلاك تقوية ويحتاج لخدمة بسيطة لكن بدرجة أعلى من الخبرة والمهارة ، ومن أهم مميزاته أنه إذا تعرض للثقب لا يفرغ ما به من هواء مرة واحدة ولكن يأخذ فترة من الوقت تسمح للسائق أن يتحرك لأقرب محطة صيانة دون تلف للإطار أو الجانت المعدنى.

2.3.10 طرز الاطارات

تصنع العديد من الإطارات للمعدات التى تقوم بالعمليات الزراعية لذلك كان من الضرورى وضع كود للإطارات (**شفره الإطارات**)، وهذا النظام للتعرف على المواصفات الفنية لهذا الإطار فى اى مكان فى العالم، فيكتب على جانب الإطار رقم بجواره حرف من اللغة الإنجليزية شكل ***A,B*** *5-* وهذا الحرف إما أن يكون **(R)** وهذا يعنى أنه إطار خلفى ، أو يكون الحرف **(F)** وهذا يعنى أنه إطار أمامى، أما الرقم فيدل على نظام المداس وهناك جدوال تبين تلك المواصفات.

بعض المصانع تضيف حرف **(O)** بعد رقم التصنيع لتبين أنه من نظام المداس السطحى ، يضاف الحرف **(C)** ليدل على أنه ذو مداس عميق أى أنه يصلح للخدمات فى أرض لزجه.

شكل رقم (A -5) شكل بعض الترقيمات على الاطارات الكاوتش (عجلة خلفية).

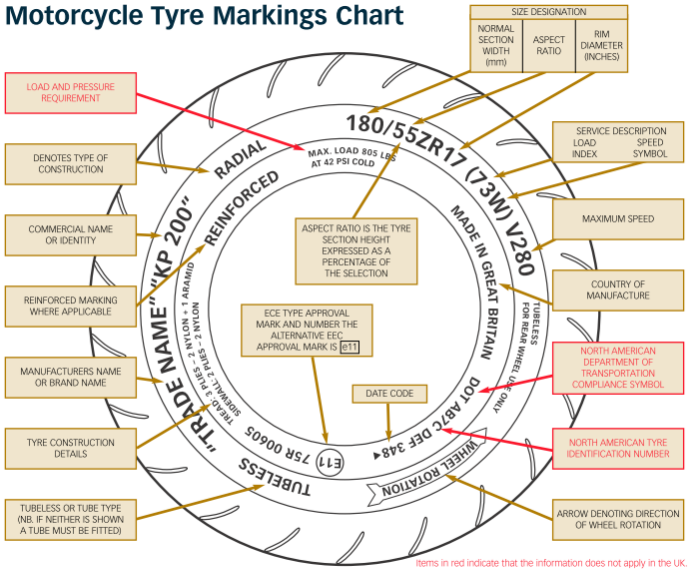


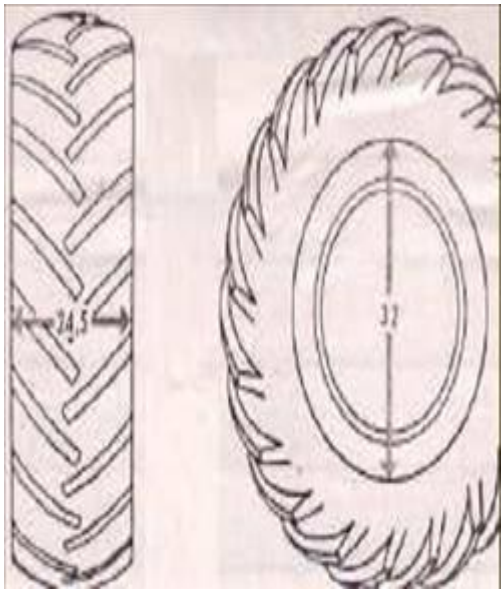
شكل رقم (A -5) يبين بعض الترقيمات على الاطارات الكاوتش (عجلة أمامية).

3.3.10 مقاس الاطار

تختلف مقاسات الإطارات بإختلاف إستخدامات الجرار ومن الضروري علي كل سائق جرار إن يكون علي علم بمقاسات إطارات جراره.

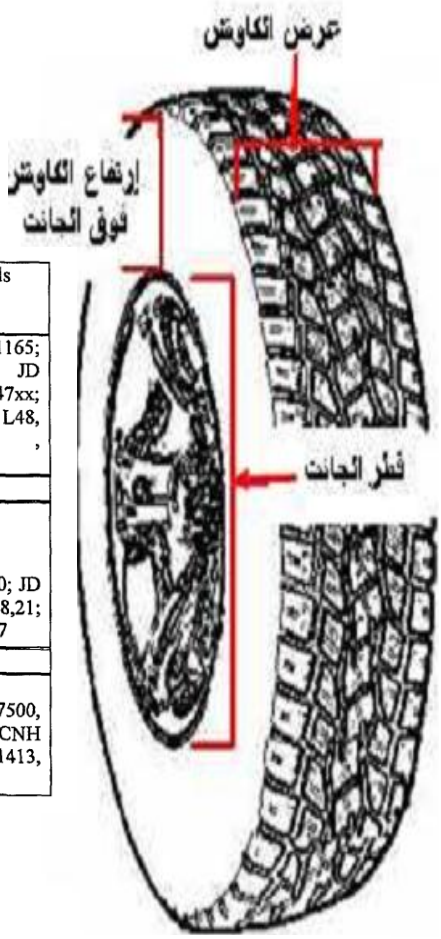
حيث توضع علي جانبي الإطار الكاوتش أرقام تبين مقاسها وتوضع هذة الأرقام في صورة رقمين مثل شكل 6 ا حيث يمثل الرقم الاول 6.5 عرض الإطار بالبوصة عندما يكون منفوخاً ، بينما يمثل الرقم الثاني 32 قطر الجانت بالبوصة (وهذا يعنى أن عرض بصمة هذا الإطار 24.5 بوصة ويركب على جانت قطره 32 بوصة) .





شكل رقم (6) اطار كاوتش خلفي مقاس (24.5 – 32)

أو يكون مكوناً من ثلاثة أرقام مثل (12-14-30) فالرقم الأول 30 يعني قطر الجانت ، والرقم الثاني 14 يدل علي إرتفاع الكاوتش فوق الجانت، أما الرقم الثالث 12 فيعني عرض الإطار شكل 7 .



Tread Type		Tire Size	Front or Rear	Wheel Dia.	Tire Width	Tire O.D.	R.C.	For Tractor Models
R4 IND	STD	17.5L-24	R	24	17.5	48.9	145	AGCO 1455, 1165; CNH 35,40,45; JD 45xx, 46xx, 47xx; KUB 3710, L48, L3830, L4330 , L4630, L5030
		10-16.5	F	16.5	10.4	31.3	91	
	NEW	17.5L-24	R	24	17.5	48.9	145	
		10-16.5	F	16.5	10.4	31.3	91	
R3 TURF	STD	44x18.00-20	R	20	18.6	44.6	129	Rear: KUB B7400; JD 4010; CNH 18,21; AGCO 1413, 1417
		27x10.50-15	F	15	10.2	26.9	80	
		29x12.50-15	F	15	12.5	29.4	88	
	NEW	460/60D24	R	24	18.1		135	
		265/55D16.5	F	16.5	10.4		84	
		320/55D16.5	F	16.5	12.6		89	
R1 AG	STD	13.6/14.9-24/28	R	24/28				Rear: KUB B7500, B2410; JD4110; CNH 18,21; AGCO 1413, 1417H
		8-16	F	16				
		9.5-16	F	16	9.5	33	100	
	NEW	13.6/14.9-24/28	R	24/28				
		250/85D16.5	F	16.5	9.8		98	

شكل رقم (7) الأبعادالمستخدمة في تحديد مقاس الاطار

4.3.10 نفخ الاطار

يصمم الإطار للعمل مع درجة إنتفاخ للحائط الجانبى وتمدد معين للبروزات ، ويكون من المفيد الوصول لضغط النفخ المناسب حتى يعطى الخاصية المطاطية للإطار ، وتحمله لدرجة الحرارة ، وزيادة عمره الإفتراضى.

ويوضح شكل 8 الأشكال المختلفة لحالة الإطار حسب درجة نفخ الإطار، ففى شكل A - 8 يكون ضغط نفخ الإطار زائداً وفى هذه الحالة لانحصل على تلامس كامل مع الأرض وبالتالى فان وسط المداس فقط هو الذى سيلامس سطح التربة وبالتالى سيتعرض للتآكل ، وتكون البروزات معرضة للأخطارعند تصادمها بصخور ، أو قطع من المعادن الخ ...

وفى شكل B - 8 يكون ضغط نفخ الإطار أقل من اللازم وهذا يسبب تآكل للمداس من الجوانب بينما الوسط يظل سليما وتكون شكل البصمة عريضة غير واضحة من المنتصف ، ويسبب ذلك رفع درجة الحرارة داخل الإطار مما يؤدى لتلف الانبوب الداخلى ، وقد يسبب كسر للتيلة الداخلية ،وقد يسبب إنفصال فى طبقات التيلة.

أما شكل 8 - C فهو يوضح الضغط المناسب للإطار (الضغط الموافق لتوصيات المنتج) حيث تظهر فيه بصمه الإطار واضحة كامله ويتم التلامس الكامل مع سطح الأرض وفى هذه الحالة يكون الإطارمرن بدرجة مناسبة.

شكل 8 - C *شكل 8 - B* *شكل 8 - A*

شكل رقم (8) شكل تلامس الاطار مع الارض حسب درجة النفخ داخل الاطار

وقد يرسم على جانب إطار العجلات القائدة سهم يوضح الإتجاه الصحيح للدوران ذلك للحصول على درجة إلتصاق وتماسك جيد مع التربة وإذا تم التركيب عكس الوضع الصحيح يحدث تآكل سريع للمداس ، ولكن فى بعض الحالات حسب ظروف التربة قد يعكس هذا الوضع للحصول على نسبة أعلى من تماسك الإطارات مع التربة أو ليقلل ضغط الإطار على التربة.

5.3.10 قياس نفخ الاطار

الضغط الصحيح للإطار يطيل عمر الإطار، ويحسن من استهلاك الوقود كما إنه يعطيك تحكم أحسن أثناء القيادة. المقاس الصحيح للإطار ستجده مكتوب على الإطار نفسه، ويقاس الضغط إما بوحدات الرطل على البوصة المربعة أو الكيلوبسكال. استخدم مقياس الضغط لتقيس نفخ الإطار كل أسبوعين. وللقياس السليم، قس ضغط الإطار وهو بارد.

تتم عملية قياس ضغط نفخ الإطار بحل غطاء صمام النفخ ثم وضع طرف المقياس على الصمام والضغط عليه؛ في حالة سماع صوت تنفيس فإن هذا يدل على تسرب الهواء وعدم دقة القياس.

في حالة ما يكون ضغط نفخ الإطار منخفض يجب زيادة ضغط نفخ الإطار؛ أما في حالة ما يكون ضغط نفخ الإطار مرتفع يجب تسريب الهواء الزائد وذلك عن طريق الضغط على الإبرة بمركز الصمام؛ وبعد إضافة الهواء أو تسريبه يتم قياس ضغط نفخ الإطار مرة أخرى للتأكد من كون الضغط مناسباً للتشغيل.

1- إتبع تعليمات المصنع بدقة عالية عند تثبيت الإطار على العجل على الجانب حتى لايحدث إنفجار يؤدى لأضرار مضاعفة تصل للموت ، ولاتحاول أن تثبت الإطار بدون وجود المعدات الخاصة بذلكأو عدم وجود الخبرة الكافية لأداء العمل على الوجه الأكمل.

2- عدم الزيادة عن الضغط الموصى به حتى لايسبب تحطم لجسم الإطار.

3- .إطارات الجرارات والآلات الزراعية تعمل معظم وقتها تحت ظروف حقلية مختلفة والتى يسبب فيها تغير ضغط النفخ خللاً فى قوة الشد (الجر) حيث انه يغير من مساحة الجزء الملامس للأرض.

4- عند السير على أرض صلبة (مدكوكه) لابد من رفع ضغط نفخ الإطار حتى لاتتلف البروزات حيث أنها ستتفلطح وتلتوى للخارج بعيدة عن مركز الحمل، وعلى ذلك فى مثل هذه الظروف يوصى بزيادة نفخ العجل إلى أقصى ضغط مسموح به.

5- لايفرغ الإطار من الهواء وهو ساخن حيث يزاد الضغط داخل الإطار بزيادة درجة الحرارة وبالتالى لا يمكن الإعتماد على قراءات مقياس الضغط فى هذه الحالة.

6- لو لوحظ أن الضغط فى الإطار أقل من الضغط العادى عند التشغيل فأضف هواء ليتساوى ضغط كل من العجلتين على جانبى الآلة (وإختبر النفخ بعد ٣٠ دقيقة من التشغيل للتأكد من أن الإطار غير مثقوب)٠

7- من المستحيل قياس ضغط الهواء بالإطار وصمام الهواء (البلف) متجه لأسفل ، ولذلك يجب دوران العجل بحيث يكون الصمام لأعلى قبل بداية القياس.

6.3.10 أسباب كبر عجلات الجرار الخلفية عن الأمامية

1- نظراً لأن العجل الخلفي للجرار يقوم بدفع الجرار للأمام لذا فإن زيادة قطره يزيد من عزمة علي الدوران ، أما قلة قطر العجل الأمامي فيؤدي إلي سهولة التوجيه وعدم إجهاد السائق.

2- كلما زاد قطر العجلة الخلفية أدي ذلك إلي زيادة مساحة تلامسها وتماسكها مع الأرض وهذا يؤدي إلي تقليل إنزلاق العجلات وبالتالي زيادة القدرة المستفادة من الجرار.

3- كبر قطر العجلة الخلفية يؤدي إلي تقليل مقاومة الدوران التي تقابل الجرار أثناء الحركة وبالتالي زيادة القدرة المستفادة من الجرار أيضاً.

7.3.10 وسائل زيادة تماسك عجلات الجرار مع الارض

عندما تكون ظروف التربة غير ملائمة ، كما في الأراضي الثقيلة أو الطينية أو الأراضي الغدقة وغير المتماسكة ، فأنه في هذه الحالة وتفاديا للإنزلاق الغير العادي لعجلات الجرار فإنه يلزم العمل علي زيادة تماسك عجلات الجرار مع الأرض بإتباع أى من الطرق الآتية :

7.3.10 . 1 تخفيض ضغط نفخ الاطار الكاوتش

يفضل تخفيض ضغط نفخ الإطارات الكاوتش للجرارات عن الضغط العادي لها في حالة الظروف السيئة للتشغيل إلي حوالي ٠.٨ كجم/سم٢ ، وينتج عن هذا التخفيض في الضغط زيادة مساحة تلامس الإطارات مع الأرض بسبب إنبعاجها وكذا زيادة عدد البروزات المتلامسة مع الأرض ، ويترتب علي ذلك مزيد من التماسك مع التربة .

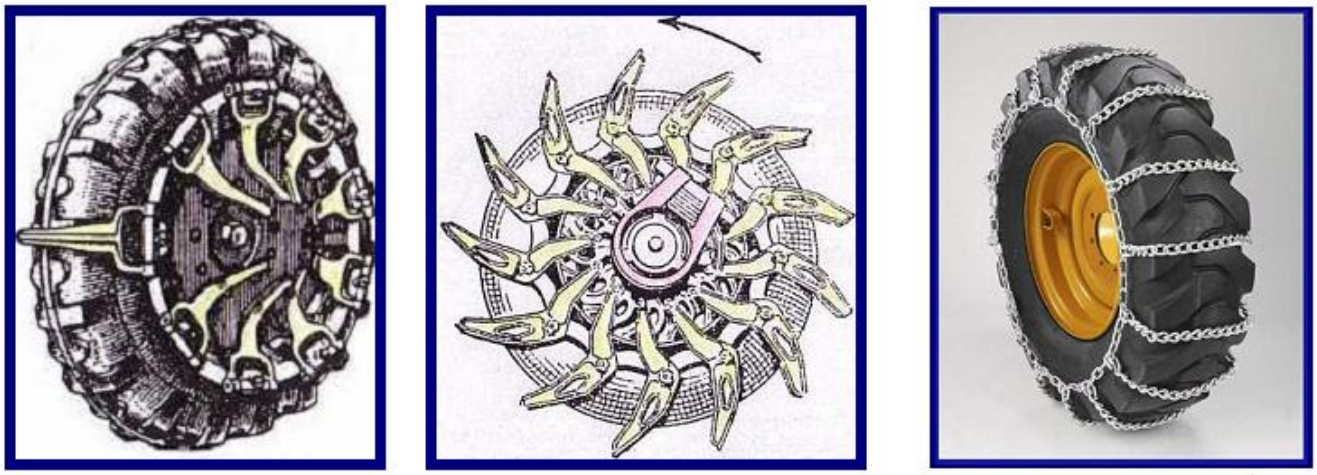
ويراعي إعادة ضغط هواء العجلات ثانية إلي معدله الطبيعي عندما تزول الظروف السيئة للتشغيل .

وفي بعض الأحيان عندما تكون الأرض رخوة قليلة التماسك يمكن إستخدام زوج من العجل الكاوتش الخلفي بدلاً من عجلة واحدة في كل جانب ، وبذلك تزداد مساحة التلامس مع الأرض وبالتالي عدد البروزات المتماسكة شكل 9 .

شكل رقم (9) استخدام زوج من العجل الكاوتش

2. 7.3.10 استعمال جنازير أو كباشات خاصة حول العجلات

من طرق زيادة تماسك العجلات مع الأرض إستخدام عجلات خاصة من الحديد تركب بجانب عجلات الكاوتش وتثبت علي صرة كل عجلة ، وهذه العجلات الحديد بها كباشات مدببة من الصلب تبرز عند الاستعمال وتنكمش عند عدم الحاجة اليها لان ذلك يساهم في زيادة تماسك عجلات الجرار مع الأرض أو استعمال جنازير تلف حول العجلات شكل 10 .



A -استعمال الجنازير *B - استعمال الكباشات*

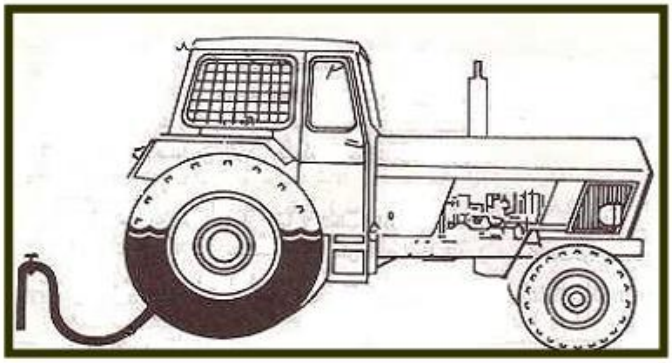
شكل رقم (10) استعمال الجنازير أو الكباشات لزيادة تماسك العجلات مع الارض

3. 7.3.10 زيادة الوزن على العجلات الخلفية

ونظراً لأن قوة الشد علي قضيب الجر تتناسب إلي حد ما مع مقدار الثقل علي العجل الخلفي، فمن الطرق السهلة التي تؤدي الي زيادة الوزن علي العجلات الخلفية هي تركيب أقراص ثقيلة من حديد الصهر علي كل عجلة شكل 11 أو اللجوء إلي ملء الأنابيب الداخلية للإطارات الكاوتش بالماء حتي ثلثي سعتها والثلث الباقي بالهواء المضغوط شكل 12 .

ويتراوح الوزن الإضافي للعجلات من ٥٠ الي ١٠٠ كيلوجرام لكل عجلة في الجرارات الكبيرة . وأهمية ملء أنابيب الكاوتش الداخلية للعجلات بالماء والهواء لا تقتصر علي زيادة وزن العجلات الخلفية وبالتالي الي زيادة تماسكها مع الأرض ، بل يؤدي أيضا الي التقليل من اهتزازات الجرار – وخاصة عند تشغيله في الأراضي الوعرة أو علي سرعات عالية – هذا فضلا عن رخص تكاليف هذه الطريقة .

شكل رقم (11) أقراص حديد على العجلات لزيادة الوزن على العجل الخلفي



شكل رقم (12) ملء الأنابيب الداخلية لاطارت الكاوتش بالماء

4. 7.3.10 استعمال جهاز تعطيل الجهاز الفرقي بالجرار (جهاز الغرس)

من الطرق المستعملة في تخليص جرار إنغرست احدي عجلاته في مكان غير متماسك التربة ، اللجوء الي استخدام فرملة الجهاز الفرقي (جهاز الغرس) والذي يجبر العمودين النصفين علي الدوران معا وبسرعة واحدة مما يمنع انزلاق عجلة بالنسبة للأخري ، فهذا الجهاز يعالج الفرق بين التماسك للعجلتين والذي يحدث في ظروف كثيرة ، الا أن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها الا عند السير في خط مستقيم فقط وليس عند الدوران في المنحنيات .

وحسب الحالة ، يمكن استعمال طريقة أو أكثر من الطرق المذكورة، وفي حالة اختيار أي طريقة من طرق زيادة التماسك سالفة الذكر يجب مراعاة الكفاءة في أداء الجرار وسرعة التركيب والفك وسهولة الاستعمال ورخص تكاليف العملية .

4.10. الكتينة

يرتكز الجرار ذو الكتينة علي الأرض بواسطة كتينتين من الحديد وبعرض كاف بدلا من أن يرتكز علي الأرض بواسطة العجل ، والغرض الأساسي من الكتينة هو توزيع ثقل الجرار علي أكبر مساحة حتي يقل مقدار ضغطه علي الأرض.

1.4.10 مكونات التلامس بالجرار الكتينة

يتكون جهاز تلامس بالجرار الكتينة من الأجزاء الأساسى الآتية والمبينة بشكل 13 :

١- عجلتين مسننتين خلفيتين تعرفان بعجلتي القدرة ، وهي التي تستمد حركتها من العمودين النصفين ، وتعرف كل منها بعجلة (الأسبروكت) .

٢- عجلتين أماميتين ، وتعرف كل منها بعجلة (الأيدلر) .

٣- كتينه عي هيئة جنزير تعشق في كل من العجلة الخلفية وتمر حول العجلة الأمامية المقابلة لها ، كما ترتكز الكتينة علي بكرات تحميل سفلية وعلوية .

٤- جهاز ضبط شد الكتينة ، وبه يمكن ازاحة عجلة (الأيدلر) الي الأمام أو الي الخلف حسب مقدار الشد المطلوب .

وعندما تتحرك عجلة الجر تشد الكتينة المعشقة بها فتدور حول العجلة الأمامية دافعة الجرار الي الأمام أو الي الخلف حسب توجيه السائق .

هذا وتستند الكتينة علي عدد من البكرات ، تسمي بالبكرات العليا والبكرات السفلي حسب وضعها ، وتدور هذه البكرات حول محاور مثبته بهيكل الجرار .

وتوزع الكتينة وزن الجرار علي مساحة كبيرة – وهي مساحة الجزء الملامس للكتينتين مع الأرض ، ويترتب علي زيادة مساحة التلامس قلة ضغط الجرار علي التربة وانخفاض نسبة الانزلاق وزيادة كفاءة الجر.

ومركز ثقل هذا النوع من الجرارات منخفض الارتفاع بالنسبة لجرارات العجل ، ولذا كان أصلح الجرارات للمناطق الجبلية عامة وفي اجتياز المرتفعات والمنخفضات والقنوات دون خوف من انقلاب الجرار ، **ويكثر استخدام الجرارات ذات الكتينة في المناطق الآتية :**

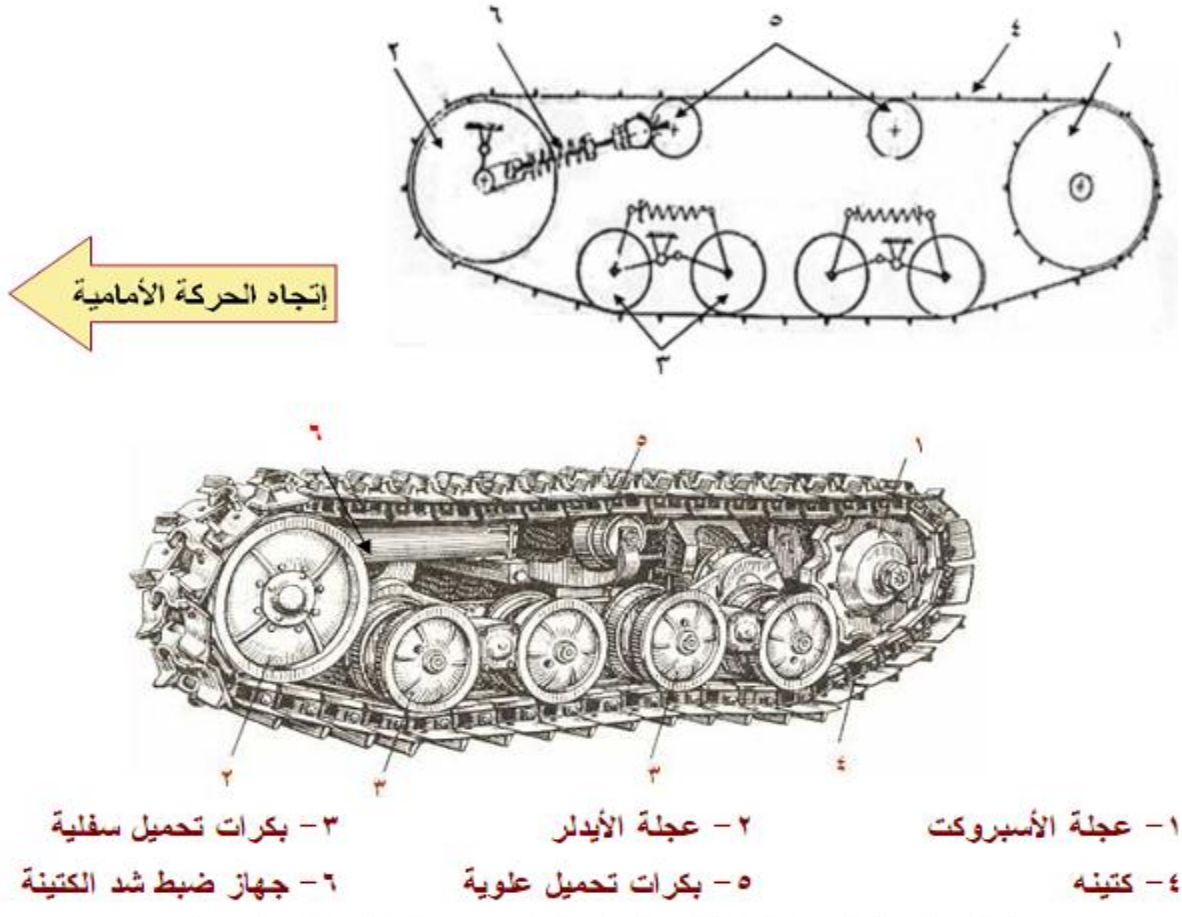
١- المناطق الجبلية .

٢- المناطق التي تكثر فيها المستنقعات .

٣- مناطق إستصلاح الأراضي في عمليات التسوية وتشوين الجسور وشق القنوات.

2.4.10 مقارنة بين الجرارات ذات العجلات الكاوتش والجرارات ذات الكتينة

جرارات بعجل	جرارات بكتينة
– يمكن تغيير المسافة بين العجل. – يتراوح الضغط علي التربة بين ٠.٧ و٠.٨ كجم/سم٢. – التماسك والاتزان جيد. – كفاءة الجر حوالي ٦٠%. – سرعة الطريق العادية من ١٥ الي ٢٥كم/ساعة. – أكثر سرعة في أداء العمليات الزراعية. – يستهلك الكاوتش في المتوسط بعد ٤٠٠٠ ساعة شغل.	– المسافة بين الكتينتين ثابتة . – يتراوح الضغط علي التربة بين ٠.٣، ٠.٤ كجم/سم٢. – التماسك والاتزان جيد جدا. – كفاءة الجر حوالي ٨٠% . – سرعة الطريق الممكنة من ٧ الي ١٠كم/ساعة. – أسرع في أداء الدورانات الحادة. – تحتاج الكتينة الي صيانة واصلاح دوري مستمر.



شكل رقم (13) المكونات الأساسية لجهاز التلامس في الجرارات الكتينة

5.10 الاسئلة

السؤال الاول

١- صنف الجرارات الزراعية حسب نوع جهاز التلامس مع الأرض.

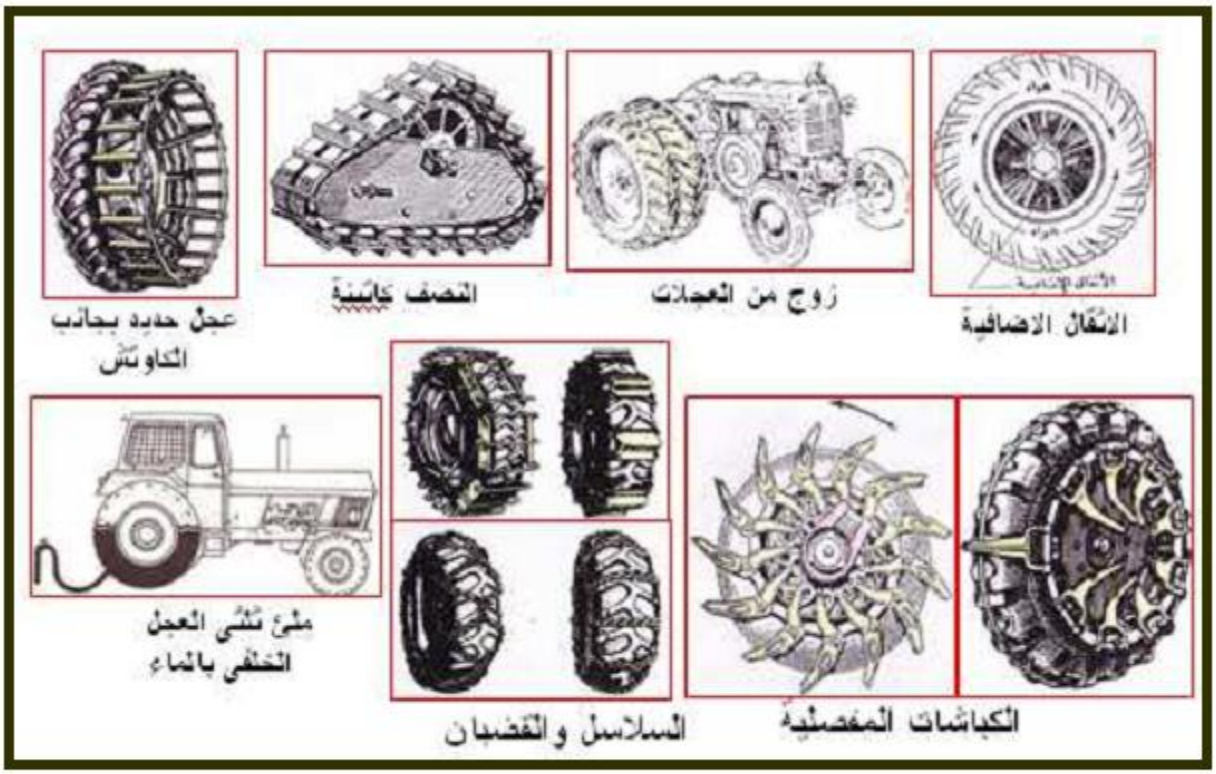
٢- أذكر فى نقاط أسباب الإنزلاق العالى للإطارات الكاوتش.

٣- أذكر إحتياطات الأمان والسلامة الواجب إتباعها عند إستخدام وسائل زيادة تماسك الإطارات مع الأرض.

٤- أذكر الوسائل المستخدمة لزيادة تماسك الإطارات مع الأرض

٥- حدد أكثر وسائل زيادة تماسك الإطارات مع الأرض إستخداماً فى الجرارات الزراعية.

٦- أذكر تأثير وسائل زيادة تماسك إطارات الجرار مع الأرض على القيادة وجودة الأداء مع الآلات الملحقة بالجرار.

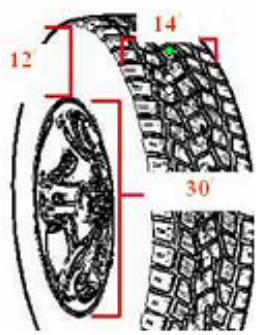


بعض الوسائل المستخدمة لتقليل الإنزلاق (زيادة تماسك الإطارات مع الأرض)

السؤال الثاني

١- ما هو مقاس إطار (٢٨-١٢.٥-١٠).

٢- أكتب بطريقة صحيحة مقاس الإطار الموضح بشكل (١).



شكل (١)

٣- ما دلالة وجود السهم الموضح بالشكل (٢).

٤- أذكر ثلاثة من الحروف الإنجليزية المستخمة فى كتابة مقاسات الإطارات.

شكل (٢)

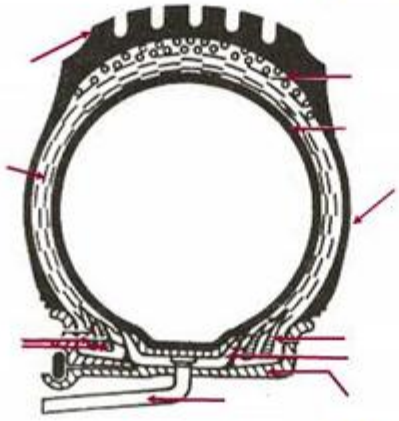
السؤال الثالث

١- لماذا يجب ألا يزيد ضغط نفخ العجل الخلفى للجرار أثناء الحرث عن ٠.٨ كج/سم٢.

٢- أذكر فى نقاط العوامل التي تؤثر علي كفاءة أجهزة التلامس.

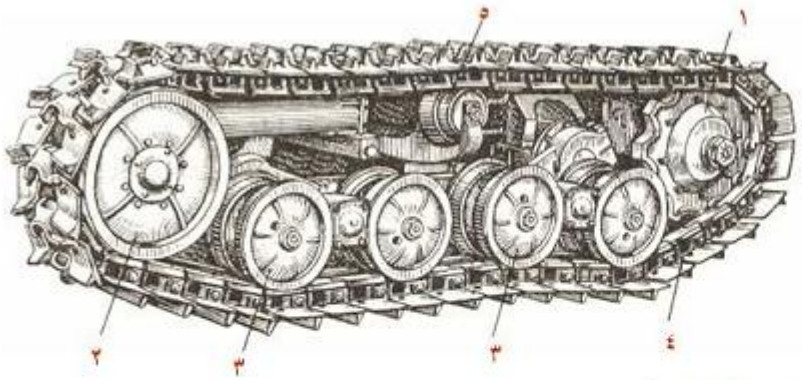
٣- ماهى الأسباب التى أدت لإنتشار إستخدام العجلات الكاوتش في الجرارات الزراعية.

٤- أكمل البيانات على الرسمتين التاليتين:



شكل يوضح قطاع فى .....

السؤال الرابع



شكل يوضح المكونات الأساسية .....

٥- عدد الوسائل المختلفة المستخدمة لزيادة تماسك عجلات الجرار مع الأرض.

٦- أذكر الظروف التى تستدعى إلى إستخدام الجرار الكتينة.

٧- أذكر أسباب كبر عجلات الجرار الخلفية عن الأمامية.

٨ــ من خلال دراستك لأجهزة التلامس بالجرارات الزراعية أذكر:

أ ــ أقلها كبسا للتربة.

ب ــ أقلها إنزلاقاً.

ج ــ أقلها إستهلاكا للوقود.

د ــ أقلها إستعمالا فى الوقت الحاضر.

هـ ــ أقلها ضررا للطرق.

و ــ أقلها مقاومة للدوران.

زـ أسهلها فى القيادة والتوجيه.

٩- وضح متى يستخدم جهاز تعطيل الجهاز الفرقي بالجرار (جهاز الغرس).

6.10 اسئلة عامة

١- تشمل أجهزة نقل الحركة من المحرك الي العجل الخلفي علي:

أ- القابض .

ب- صندوق التروس .

ت- الجهاز العمودي والفرقي.

ث- جهاز النقل النهائي.

٢- الوظيفة الأساسية للقابض هي فصل أو وصل حركة المحرك عن باقى أجهزة نقل الحركة.

٣- أكثر أنواع القوابض استخداماً في الجرارات الزراعية هو القوابض الاحتكاكية مفردة القرص.

٤- أجزاء القابض الاحتكاكي :

أ- قرص الضغط.

ب- قرص الاحتكاك.

ج- دواسة الدبرياج.

٥- الوظيفة الأساسية لصندوق التروس هو الحصول علي سرعات مختلفة للجرار لتناسب العمليات الزراعية المختلفة.

٦- يشمل أي طراز لصندوق التروس علي الأجزاء الأساسية الآتية :

أ- عمود ادارة متصل بمرفق المحرك عن طريق القابض .

ب- عمود تابع متصل بالعجلات الخلفية للجرار عن طريق باقي أجهزة نقل الحركة .

ت- عمود وسيط أو مناول ينقل حركة عمود الادارة الي العمود التابع.

ث- تروس ثابتة تركب علي كل من عمود الادارة والعمود الوسيط.

ج- تروس انزلاقية ، تركب علي العمود التابع .

ح- ذراع تغير السرعات وهو يتحكم في انزلاق التروس الانزلاقية المركبة علي العمود التابع .

خ- العلبة: ويطلق عليها صندوق التروس وتضم جميع الأجزاء السابقة.

٧- وظيفة الجهاز العمودي هو تحويل حركة العمود التابع الخارج من صندوق تغير السرعات الـــي اتجاه عمودي حتي تصل الحركة الي عجلتي الجرار الخلفيتين.

٨- يتكون الجهاز العمودي من ترسان مخروطيان معشقان معا يسمي الترس الصغير بترس البنيون وهو مثبت في نهاية العمود التابع الخارج من صندوق التروس، ويسمي الترس الكبير بتـــرس التاج.

٩- وظيفة الجهاز الفرقي هو التفريق بين سرعة العجلات الخلفية أثناء الدوران.

١٠- يتكون الجهاز الفرقي من مجموعة من التروس المخروطية متصلة بعضها ببعض اتصالا خاصاً وتأخذ حركتها من ترس التاج.

١١- وظيفة جهاز النقل النهائي تخفيض السرعة في صورتها النهائية قبل الوصول الـــي العجـــلات الخلفية.

١٢-تشمل أجهزة نقل اجهزة نقل قدرة الجرار الي الالات الزراعية علي:

أ- قضيب الجر.

ب- عمود الادارة الخلفي (P.T.O).

ت- طارة الادارة.

ث- الجهاز الهيدروليكي.

١٣- يستخدم قضيب الجر في جر أو شد الآلات الزراعية المقطورة مثـــل المحاريـــث والقصـــابيات والمقطورات وسائر الالات الزراعية من النوع المقطور.

١٤- يستخدم عمود الادارة الخلفي في ادارة الالات الزراعية أما اثناء تشـــغيلها فـــي الحقـــل مثـــل المحراث الدوراني وآلة الرش والتعفير والمحشات، أو اثناء ثبات الجرار بمكانة مثل طلمبة الري أو آلة حفر الجور.

١٥- عمود الادارة الخلفي في معظم الجرارات له سرعتان قياسيتان هما ٥٤٠ لفة /دقيقـــة و ١٠٠٠ لفة /دقيقة.

١٦- تستخدم طارة الادارة في ادارة الالات الزراعية الثابتة مثل طلمبات الري والات الدراس والات جرش الحبوب والات تقطيع البرسيم.

١٧- يستخدم الجهاز الهيدروليكي في رفع أو خفض الالات الزراعية الملحقة بالجرار.

١٨- **اهم أنواع أجهزة التلامس في الجرارات هي:**

أ- العجلات الكاوتش.

ب- الكتينة (أو الجنزير).

١٩- تنقسم العوامل التي تؤثر علي كفاءة اجهزة التلامس الي:

- عوامل طبيعية. - عوامل خاصة بتصميم وتشغيل الجرار.

٢٠- اطار مقاسة ٣٠-١٤-١٢ يعني أن قطر الجانت ٣٠ بوصة، وإرتفاع الكاوتش فوق الجانت ١٤ بوصة، وعرض الإطار ١٢ بوصة.

ب- عجلتان أماميتان ، وتسمي كل منهما بعجلة الأيدلر.

ت- كتينه علي هيئة جنزير يرتكز علي بكرات تحميل سفلية وعلوية .

ث- جهاز ضبط شد الكتينة.

٢٥- يكثر استخدام الجرارات ذات الكتينة في المناطق الآتية :

أ- المناطق الجبلية .

ب- المناطق التي تكثر فيها المستنقعات .

ت- مناطق إستصلاح الأراضي في عمليات التسوية وتشوين الجسور وشق القنوات.

الفصل الحادي عشر

صناديق التروس الاوتوماتيكية

11- صناديق التروس الاوتوماتيكية

يستخدم ناقل الحركة الاتوماتيكي لنقل الحركة من المحرك إلى العجلات بسرعات وعزوم مختلفة كما هو في ناقل الحركة العادي ولكنه يمتاز عنه بالآتي:

١/ التخلص من دواسة القابض.

٢/ إمكانية وقوف المركبة والمحرك يعمل بدون الحاجة لوضع صندوق السرعات في وضع الحياد.

٣/ إعطاء نسبة التخفيض المناسبة لظروف التشغيل المختلفة أوتوماتيكياً.

٤/ الاستفادة من وضع التوقف (P) في صندوق السرعات لمنع حركة المركبة في حالة السكون.

٥/ إبقاء كلتا اليدين على المقود في جميع الأوقات بعكس ناقل الحركة العادي الذي يحتاج باستمرار إلى تغيير السرعات بواسطة عصا التغيير.

٦/ يعتبر ناقل الحركة الأوتوماتيكي الأمثل استخداماً للمعوقين والمبتدئين.

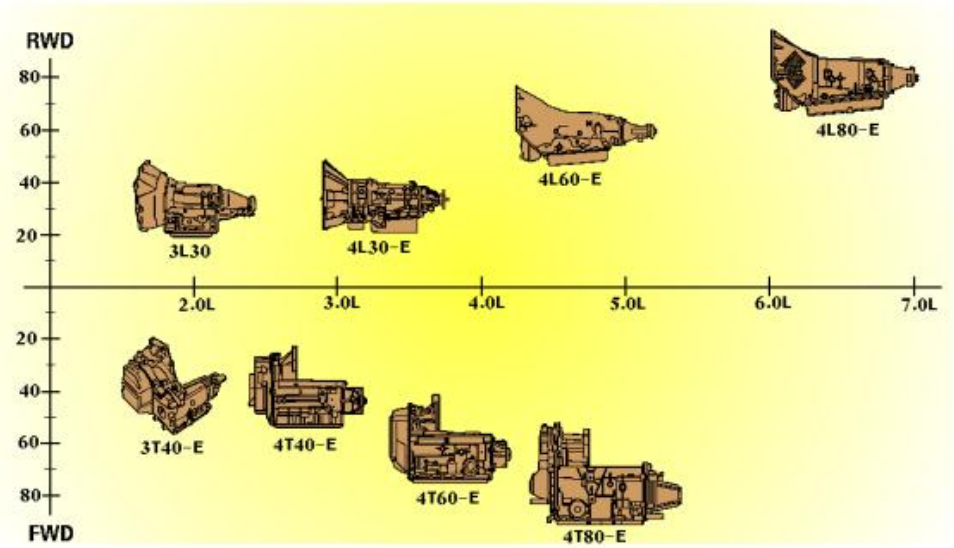
11-1. أنواع صندوق التروس الاوتوماتيكية

تستخدم صناديق التروس الأوتوماتيكية في المركبات ذات الدفع الخلفي والجر الأمامي وتؤدي نفس الوظيفة وهنالك فرق بين صناديق التروس الأوتوماتيكية المستخدمة في الدفع الخلفي وتلك المستخدمة في الجر الأمامي من ناحية التصميم والتركيب.

ففي المركبات ذات الدفع الخلفي ناقل الحركة خلف المحرك باتجاه طولي وله عمود خرج واحد متصل مع عمود الكردان الذي ينقل الحركة إلى الدفرنس ثم إلى العجلات الخلفية التي تحرك المركبة وبالتالي يصبح المحور الخلفي هو القائد، ويستفاد من هذا التصميم في تساوي توزيع الحمل على المحورين الأمامي والخلفي (الأمر المفضل عند سحب المقطورات أو في الأحمال الثقيلة) ومن عيوب هذا التصميم أخذ حيز سفلي من مقصورة المركبة لتركيب أجهزة النقل.

وفي المركبات ذات الجر الأمامي يركب ناقل الحركة خلف المحرك باتجاه عرضي ويكون الدفرنس مدمجاً به. وبالتالي فإن له عمودي خرج متصلين بمحاور العجلات (عكس مستقل لكل عجلة) ويستفاد من هذا التصميم بأن الحمل المضاف على المحور القائد (الأمامي) يساعد على زيادة الجر (Traction) في الأمطار والثلوج وبالتالي يعطي توجيها أفضل وآمن.

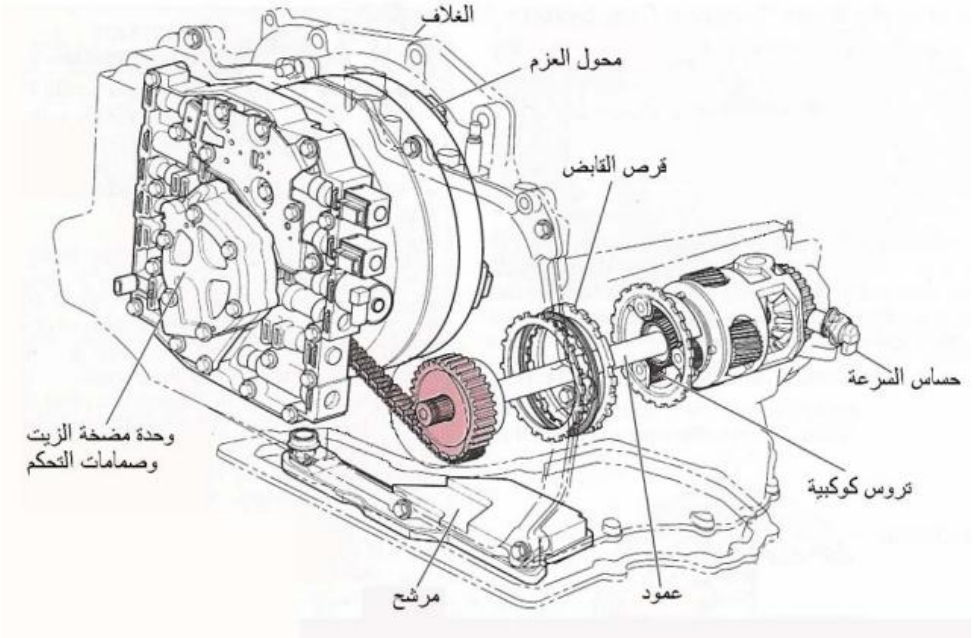
وفي كلا النوعين توجد عدة أحجام لصناديق التروس على حسب سعة المحرك الذي يعمل به، فالحجم الأكبر ينقل عزماً أكبر من المحرك ذي السعة الكبيرة.



شكل رقم (1) يبين احجام صناديق التروس على حساب السعة .

2-11. أجزاء ناقل الحركة الاوتوماتيكي :

يتكون ناقل الحركة الاوتوماتيكي من الاجزاء التالية الموضحف الشكل التالي .



شكل رقم (2) يبين أجزاء ناقل الحركة الاوتوماتيكي .

11-2-1. محول العزوم

يعطي محول العزم الوظائف التالية :

١/ ينقل الحركة هيدروليكياً من المحرك إلى صندوق السرعات.

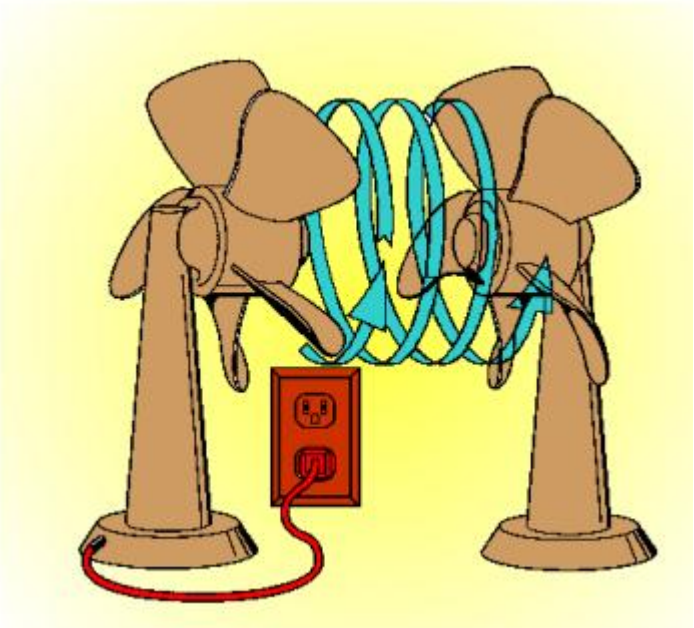
٢/ يضاعف عزم المحرك المنقول.

٣ / يوصل الحركة بين المحرك وصندوق السرعات ميكانيكياً عند الضرورة مما يؤدي إلى تقليل في استهلاك الوقود.

٤/ يعمل على إدارة مضخة الزيت ميكانيكياً.

المبدأ وطريقة العمل

يمكن توضيح مبدأ عمل محول العزم بتجربة بسيطة وهي عبارة عن مروحتين متقابلتين. كما في الشكل التالي إحداهما متصلة بمصدر التيار الكهربائي والأخرى غير موصلة. فعندما تدور المروحة الأولى فإنها تشكل تياراً هوائياً ملتوياً يندفع باتجاه المروحة الأخرى ويصطدم بريشها مما يدفعها إلى التحرك والدوران وبذلك تكون الحركة أو القدرة انتقلت إلى المروحة الأخرى عن طريق المائع (الهواء) الذي بينهما.



شكل رقم (3) يبين مبدأ عمل محمول العزوم .

ومحول العزم يستخدم نفس المبدأ ولكن باستبدال المائع الوسيط (الهواء) بسائل ناقل الحركة الأوتوماتيكي.

ويتكون محول العزم من عجلة(تربين) قائدة تكون ثابتة مع الغلاف وعجلة منقادة تكون معشقة مع عمود الدخل في صندوق السرعات وعجلة دليلية في المنتصف. وبما أن غلاف محول العزم مثبت مع الحذافة ويدور معها فإنه عندما تدور العجلة القائدة ونتيجة للطرد المركزي فإن الزيت يندفع للخارج باتجاه العجلة المنقادة ويصطدم في ريشها وبالتالي يدورها ويدور عمود صندوق السرعات وعند رجوع الزيت لإكمال دورته فإنه يصطدم بالعجلة الدليلية التي توجه مساره ليكون بمسار دوران العجلة القائدة بدلاً من عكسها وبالتالي يضاعف عزم دورانها. وبذلك نكون قد حصلنا على نقل هيدروليكي للحركة من المحرك إلى صندوق السرعات ومضاعفة للعزم المنقول.

11-2-2. مجموعة التروس الكوكبية

تستخدم لنقل القدرة وبنسب تخفيض متعددة (مثل السرعة الأولى والثانية والثالثة والخلفية) وعادة تكون هناك مجموعتان كوكبيتان في ناقل الحركة الواحد.

ومجموعة التروس الكوكبية هي للأساس في تكوين نسب التغيير في صندوق السرعات وتتكون من ثلاثة أنواع من التروس هي :

١/ الترس الشمسي:

ويكون في منتصف المجموعة والتروس الأخرى تدور حوله.

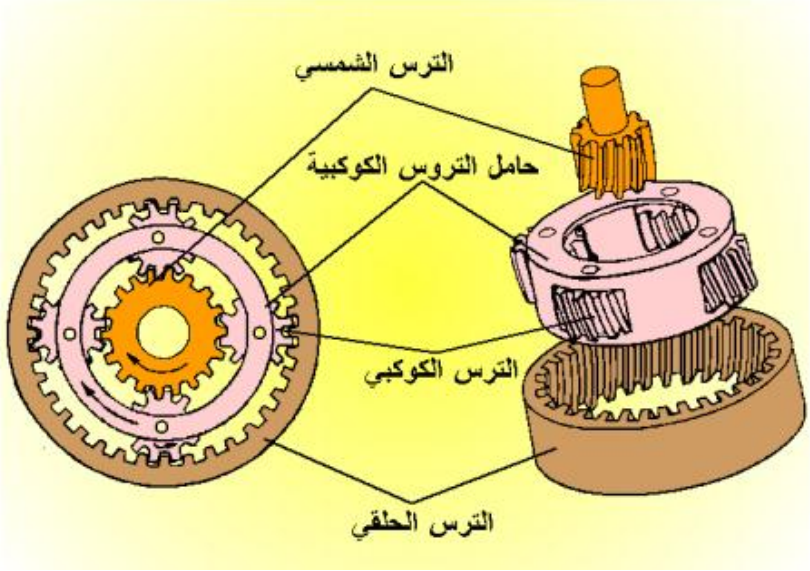
٢/ التروس الكوكبية:

تتكون من ثلاثة أو أربعة تروس وتكون مركبة على حامل لها وتدور حول الترس الشمسي بطريقة مشابهة لدوران الكواكب حول الشمس في مجموعتنا الشمسية ولذلك اتخذت هذا الاسم. وتكون التروس الكوكبية في اتصال دائم بين الترس الشمسي والترس الحلقي.

٣/ الترس الحلقي:

تكون أسنانه من الداخل ومتصلة بالتروس الكوكبية.

ومجموعة التروس الكوكبية تكون دائماً متصلة فعندما يتم تدوير أو تثبيت أحد التروس فإن التروس الأخرى تتأثر بذلك.



شكل رقم (4) يبين مجموعة التروس الكوكبية.

وعادة ما تكون في ناقل الحركة الأوتوماتيكي مجموعتان كوكبيتان للحصول على نسب التخفيض المختلفة وأربعة أوضاع للتشغيل فيها (التخفيض والسرعة المباشرة والسرعة الإضافية والسرعة الخلفية) تعمل فيها الكلتشات والأحزمة الفرملية على تدوير أو تثبيت التروس الكوكبية.

11-2-3. أجهزة المؤازرة

ويوجد ثلاثة أنواع من الأجهزة المؤازرة هي :

١/ مجموعة الكلاتشات.

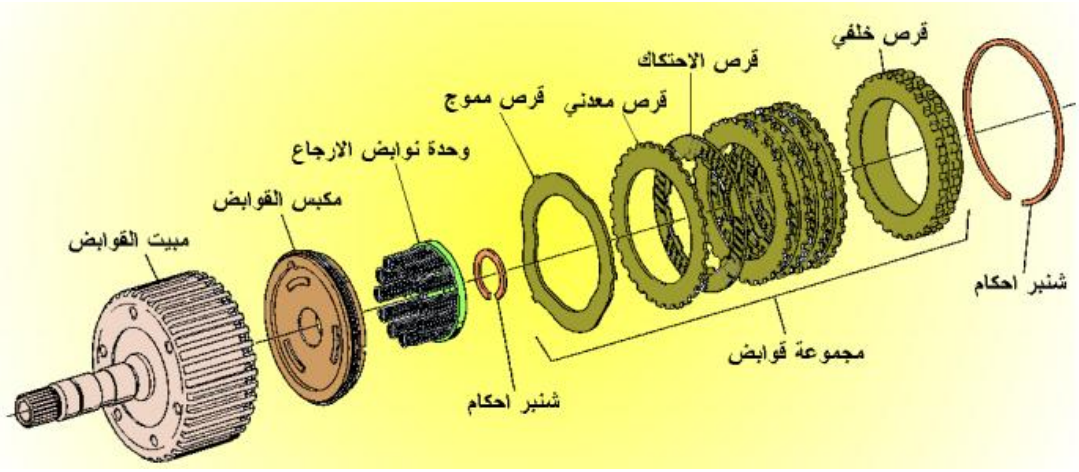
٢/ الأحزمة الفرملية.

٣/ الكلاتشات ذات الاتجاه الواحد.

1. مجموعة الكلاتشات

وتعمل على تثبيت أو تدوير التروس الكوكبية للحصول على السرعات المختلفة ويتم تشغيلها بواسطة الزيت المضغوط. وتتكون من الأجزاء التالية:

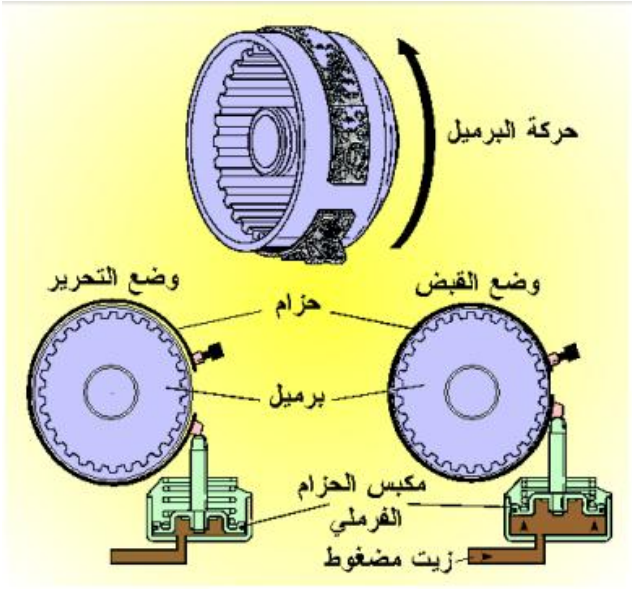
١- مبيت المجموعة.
٢- مكبس الكلتشات.
٣- نوابض إرجاع المكبس
٤- حلقة (شنبر) إحكام.
٥- مجموعة الديسكات والكلاتشات.
٦- حلقة (شنبر) إحكام.



شكل رقم (4) يبين مكونات مجموعة الكلتشات.

2. الأحزمة الفرملية

وتستخدم لتثبيت أحد التروس وهو عبارة عن شريط معدني مبطن بمادة احتكاكية تلف على مبيت مجموعة الكلتشات (Drum) تثبت من طرف بالجرم والطرف الآخر متصل بمكبس الحزام الفرملي (Servo) وعند توجيه الزيت المضغوط إلى المكبس فإنه يعمل على دفع الحزام الفرملي وتثبيت مبيت مجموعة الكلتشات.



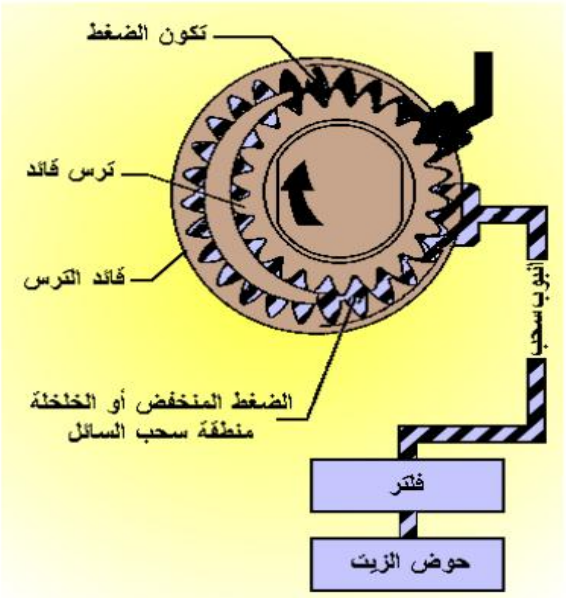
شكل رقم (5) يبينالحزام الفرملي.

3. الكلتشات ذات الاتجاه الواحد

تعمل الكلتشات ذات الاتجاه الواحد (One way Clutches) على التدوير أو التثبيت وتختلف عن أجهزة المؤازرة الأخرى بأنها لا تحتاج إلى ضغط هيدروليكي لتعمل وتسمح بالدوران في اتجاه واحد فقط.

11-2-4. مضخة الزيت

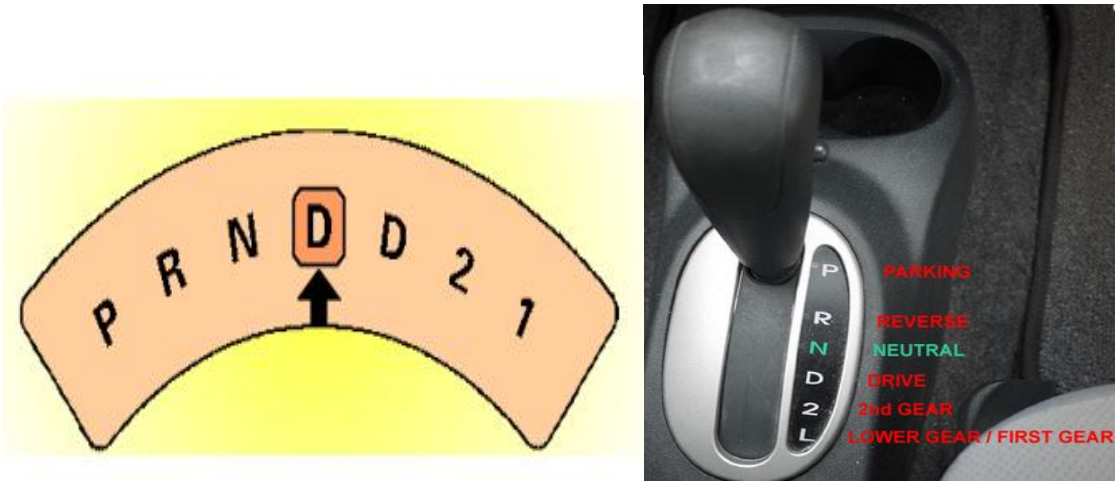
يتم توليد ضغط تشغيل صندوق السرعات بواسطة مضخة الزيت الترسية والتي تدار بواسطة محمول العزم، وتتكون من ترس قائد وترس منقاد فعندما يدور الترس القائد فإن الفجوة التي بين الترسين تزداد مسببة خلخلة يتم سحب الزيت بها ثم يتم نقل الزيت بين الأسنان إلى نقطة التقاء الأسنان مرة أخرى فينضغط الزيت ويتم خروجه مع فتحة خط الضغط.



شكل رقم (6) يبين مسار الزيت مضخة الزيت .

11-2-5. أوضاع عصا الاختيار

في أغلب المركبات ذات ناقل الحركة الأوتوماتيمية توجد سبعة أوضاع لعصا الاختبار كما موضح في الشكل التالي :



شكل رقم (7) يبين أوضاء عصا الاختيار .

1. وضع (1)

يسمح هذا الوضع للمركبة بالتحرك للأمام بسرعة واحدة فقط (السرعة الأولى) وإذا وصلت سرعة المركبة إلى سرعة عالية في هذا الوضع فإنه ولتأمين صندوق السرعات من التلف يتم الانتقال إلى السرعة الثانية وإذا تطلب الأمر إلى السرعة الثالثة. ويستخدم هذا الوضع في الأحمال الثقيلة.

2. وضع (2)

يعتبر هذا الوضع مشابه للوضع (١) ولكنه يسمح للمركبة بالتحرك للأمام بسرعتين فقط.

3. وضع (D)

ويسمح للمركبة بالتحرك للأمام بجميع السرعات بما فيها السرعة الإضافية ويستخدم في جميع أوضاع القيادة ولا يجب أن يستخدم عند جر المقطورات أو في الأحمال الثقيلة .

4. وضع (D)

وهو وضع الحياد وفيه لا يتم نقل الحركة إلى المحور الخلفي وعند الضرورة يمكن تشغيل المحرك فيه أثناء حركة المركبة.

5. وضع (N)

وضع السرعة الخلفية وبه يتم تحرك المركبة إلى الخلف.

6. وضع (R)

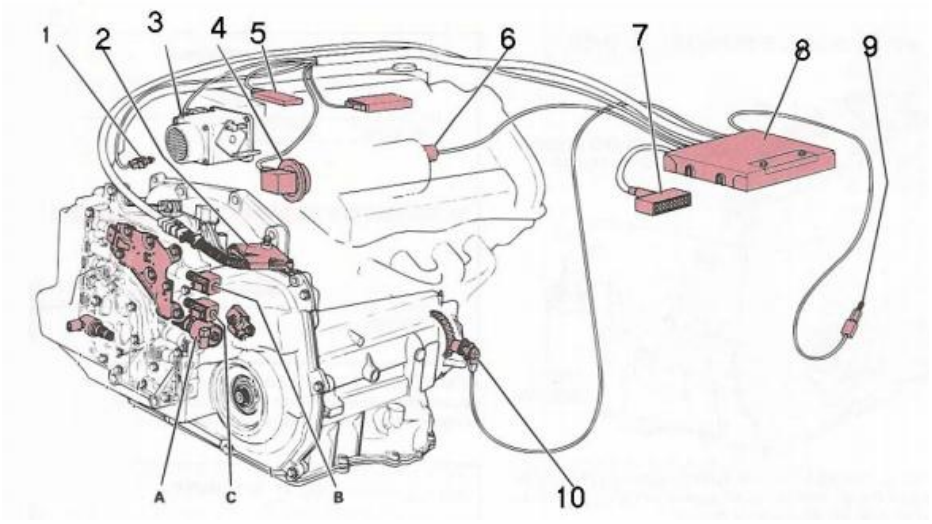
وهو وضع التوقف وفيه يمكن تشغيل المحرك بينما لا يمكن تزحزح المركبة للأمام أو الخلف وذلك لأن عمود الخرج في صندوق السرعات يتم تثبيته بواسطة لسان معدني يتم تعشيقه مع أسنان الترس الحلقي الثابت مع عمود الخرج.

7. وضع (P)

في نواقل الحركة ذات التحكم الإلكتروني تقوم وحدة التحكم الإلكتروني (pcm) بتحديد الأوضاع التشغيلية للمركبة وذلك بجمع المعلومات من الحساسات وتحليلها ومن ثم التحكم بالمشغلات (الصمامات الكهرومغناطيسية المركبة على جسم الصمامات).

3-11 . ناقل الحركة الاوتوماتيكي ذو التحكم الذاتي

في نواقل الحركة ذات التحكم الإلكتروني تقوم وحدة التحكم الإلكتروني (pcm) بتحديد الأوضاع التشغيلية للمركبة وذلك بجمع المعلومات من الحساسات وتحليلها ومن ثم التحكم بالمشغلات (الصمامات الكهرومغناطيسية المركبة على جسم الصمامات).



١- حساس تبريد المحرك
٢- حساس حرارة زيت صندوق السرعات
٣- حساس وضع صمام الخانق
٤- مثبت السرعة
٥- حساس ضغط مجمع السحب
٦- مفتاح لمكيف الهواء
٧- فيشة فحص
٨- وحدة التحكم الإلكترونية
٩- مفتاح الفرامل TCC
١٠- حساس سرعة المركبة
A – صمام التحكم في الضغط
B – صمام كهرومغناطيسي
C- صمام كهرومغناطيسي

شكل رقم (8) يبين **ناقل الحركة الاوتوماتيكي ذو التحكم الذاتي.**

4-11 . وظائف وحدة التحكم الالكترونية (pcm)

ولعل من أهم الوظائف التي تقوم بها ما يلي:

١/التعشيق للأعلى (up shift) والتعشيق للأسفل (Down shift) عن طريق التحكم بصمامات التغيير الكهرومغناطيسية (Solenoids) بتشغيلها أو إقفالها (on / off) .

٢/التحكم في حساسية التغيير في صندوق السرعات وذلك عن طريق الصمام الكهرومغناطيسي (Solenoid) الخاص بالتحكم بضغط التشغيل لصندوق السرعات .

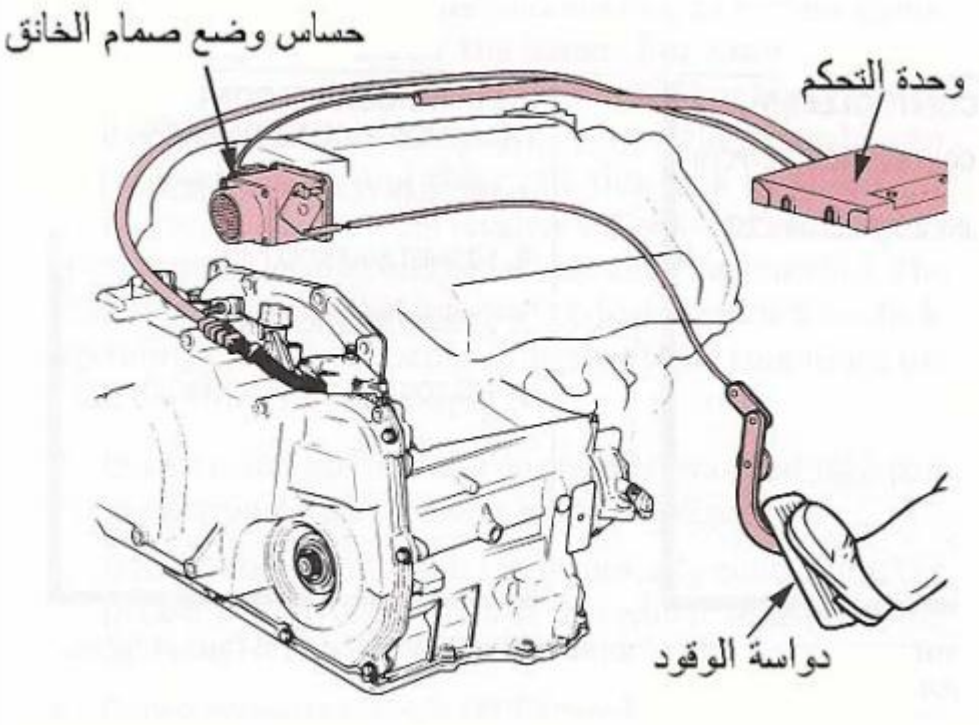
٣/ فصل ووصل كلتش محول العزم (TCC) عن طريق التحكم بالصمام الكهرومغناطيسي (Selenoid) الخاص به.

5-11 . حساسات وحدة التحكم

اهم الحساسات التي تعتمد عليها وحدة التحكم الالكترونية في عملية التغير هي :

1- حساس وضع الخانق (TPS)

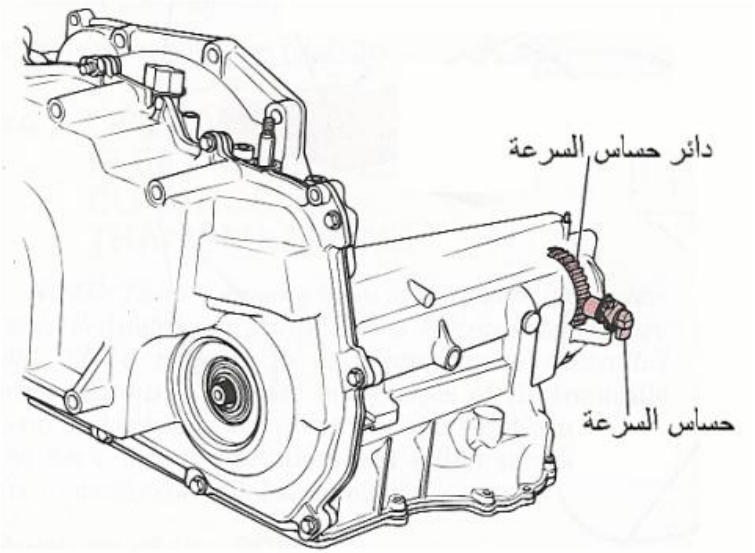
يقوم حساس وضع الخانق بقياس مقدار ضغط السائق على دواسة البنزين لمعرفة رغبة السائق في زيادة تسارع المركبة. ويركب هذا الحساس على صمام الخانق ويكون متصلاً بوحدة التحكم الإلكترونية.



***شكل رقم (9) يبين* حساس وضع الخانق .**

2- حساس سرعة المركبة (VSS)

وهو عبارة عن حساس مغناطيسي يركب على ترس مسنن راكب على عمود الخرج أو على الدفرنس ليماثل في سرعته سرعة المركبة، وعند دوران هذا الترس المسنن فإنه يغير من القبض المغناطيسي عند الحساس وبالتالي تتولد في الحساس إشارة يعتمد مقدارها على سرعة المركبة، ترسل هذه الإشارة إلى وحدة التحكم الإلكترونية.



***شكل رقم (10) يبين* حساس سرعة المركبة .**

6-11 . موصفات وكمية الزيت المناسبة

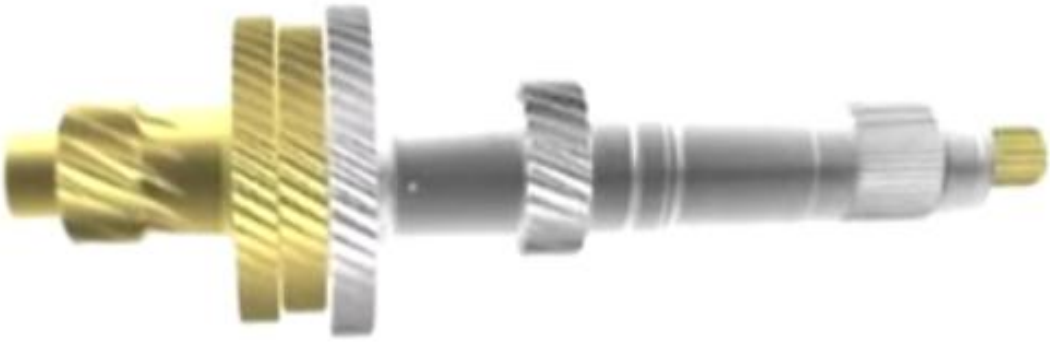
ويستخدم سائل من نوع خاص لأنه لا يقتصر عمله على تزييت وتبريد أجزاء صندوق السرعات فقط بل إنه أساسي في نقل القدرة في محول العزم وفي عملية تشغيل الكلتشات والأحزمة الفرملية للحصول على السرعات المختلفة فبدون زيت مضغوط لا يمكن الحصول على أية سرعة في صندوق السرعات. وعادة ما يكون هذا النوع سريع التأثر بدرجة الحرارة وتختلف فترة تغييره تبعاً لدرجة الحرارة التي يعمل بها.
والمواصفات التي يجب توفرها في زيت ناقل الحركة الأوتوماتيكي هي :

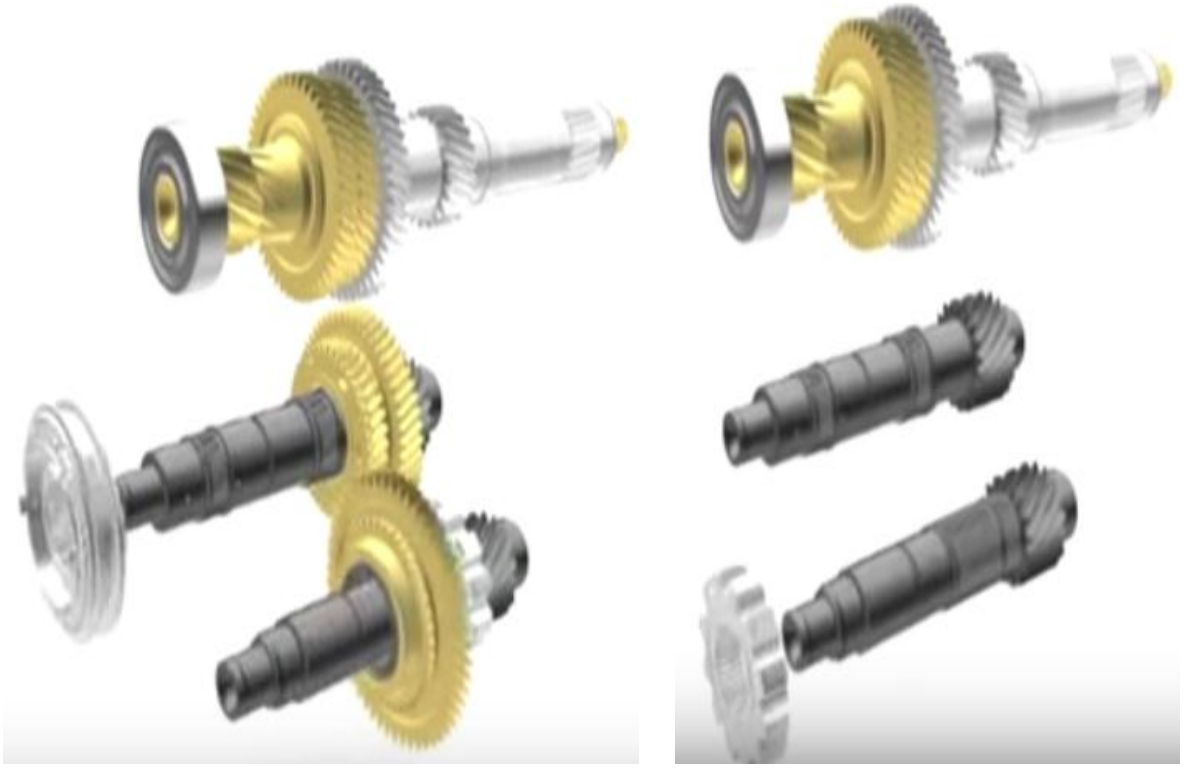
١/ يتحمل درجات الحرارة العالية.
٢/ يتحمل الضغط العالي.
٣/ أن يكون ذا مواصفات احتكاك قياسية.
٤/ الحماية ضد تكوين الرواسب عند العمل في درجات الحرارة العالية والخدمة الشاقة.
٥/ أن يكون ذا مقاومة عالية للتأكسد.
٦/ أن يكون ذا سيولة مناسبة عند درجات الحرارة المنخفضة.

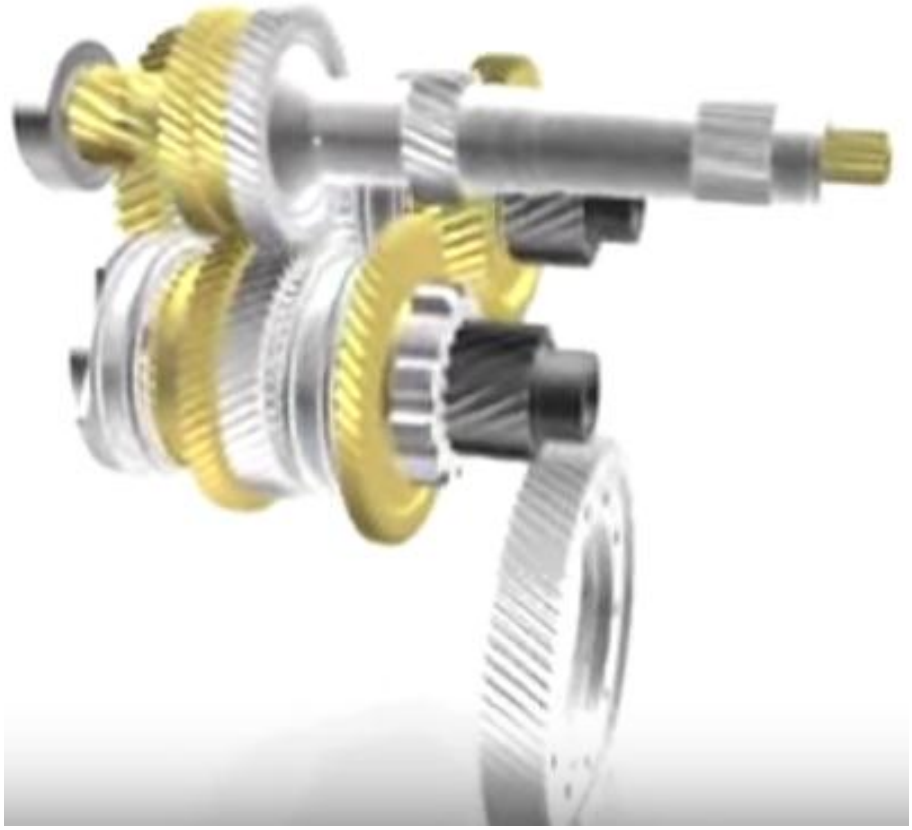
وتقاس كمية الزيت المناسبة بعيار توجد منه أنواع مختلفة، ولهذا العيار علامتان (F أو FULL) وتعني أن الزيت في أعلى مستوى له و(L أو LOW) وتعني أن الزيت في أقل مستوى له وتجب زيادته.
وتختلف كمية الزيت مع اختلاف درجة الحرارة في هذا النوع من الزيوت، أي أن معايرة زيت ناقل الحركة وهو بارد يختلف عنه في حالة درجة الحرارة المرتفعة.

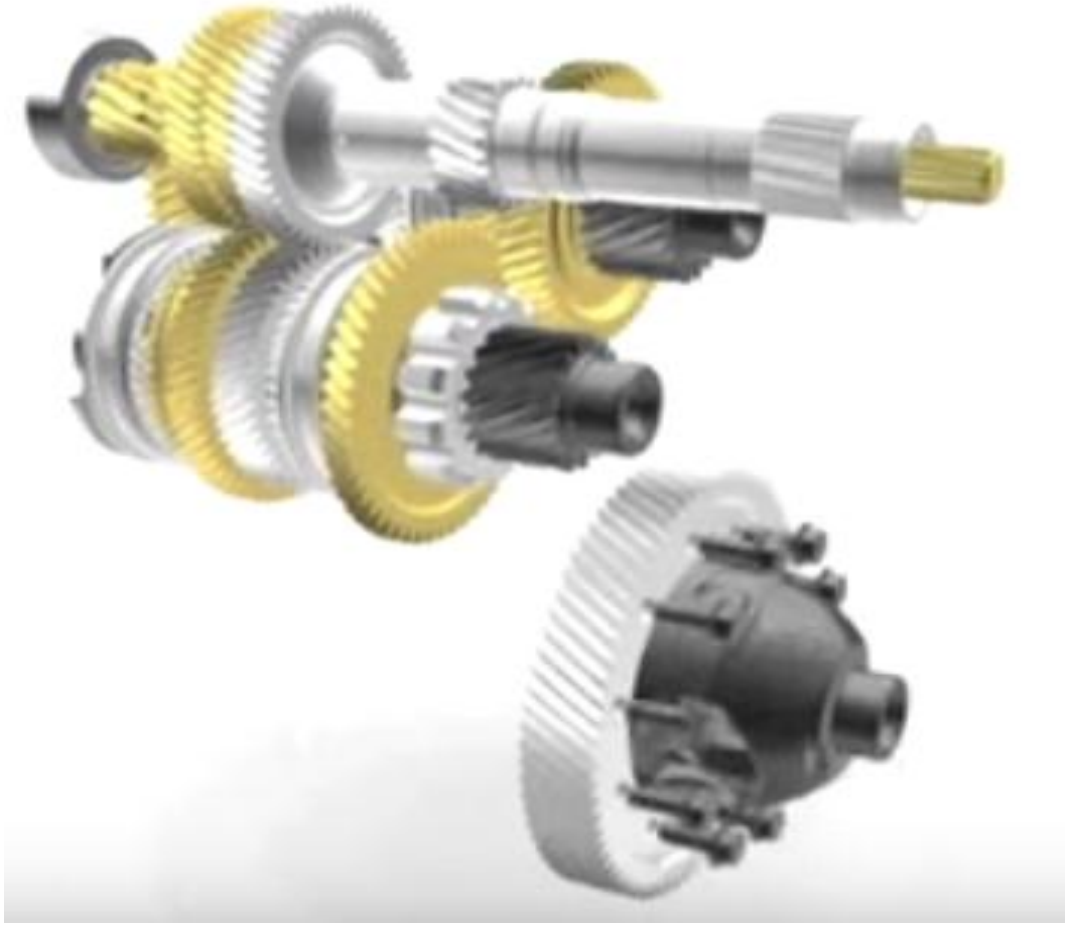
7-11 . كيفية تركيب صندوق التروس الاوتوماتيكي

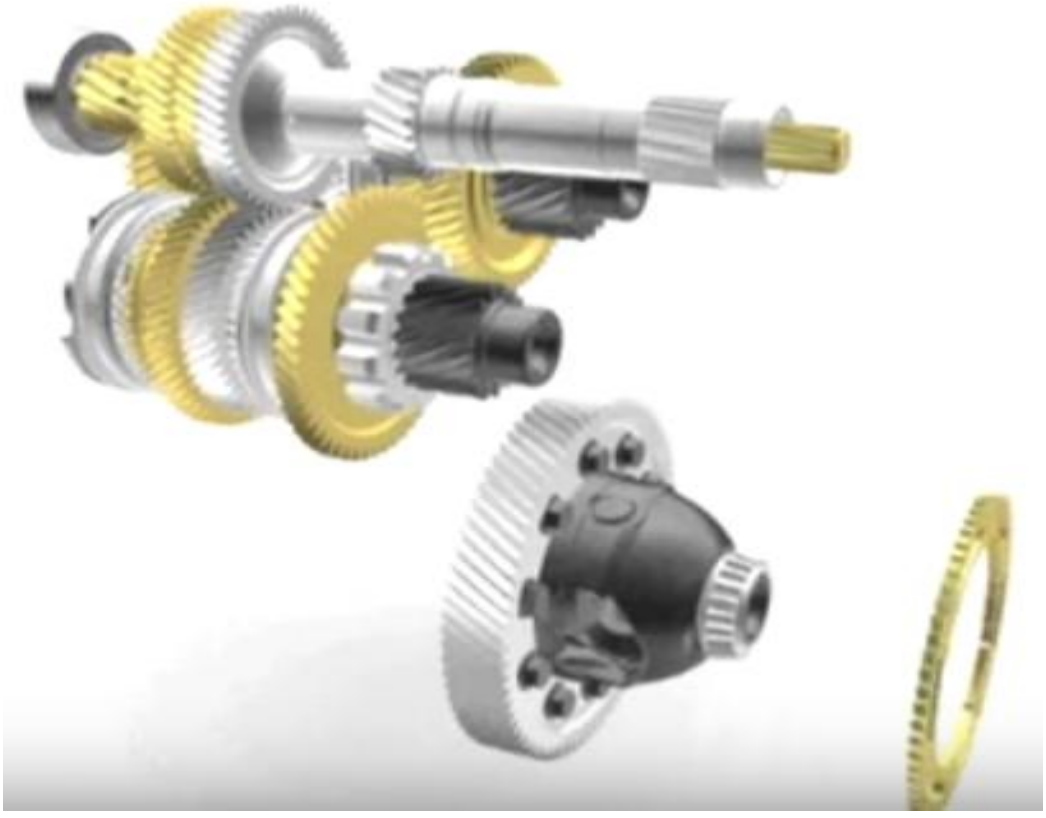
يتم تركيب صندوق تروس اوتوماتيكي حسب الخطوات االموضحة في الاشكال التالية:

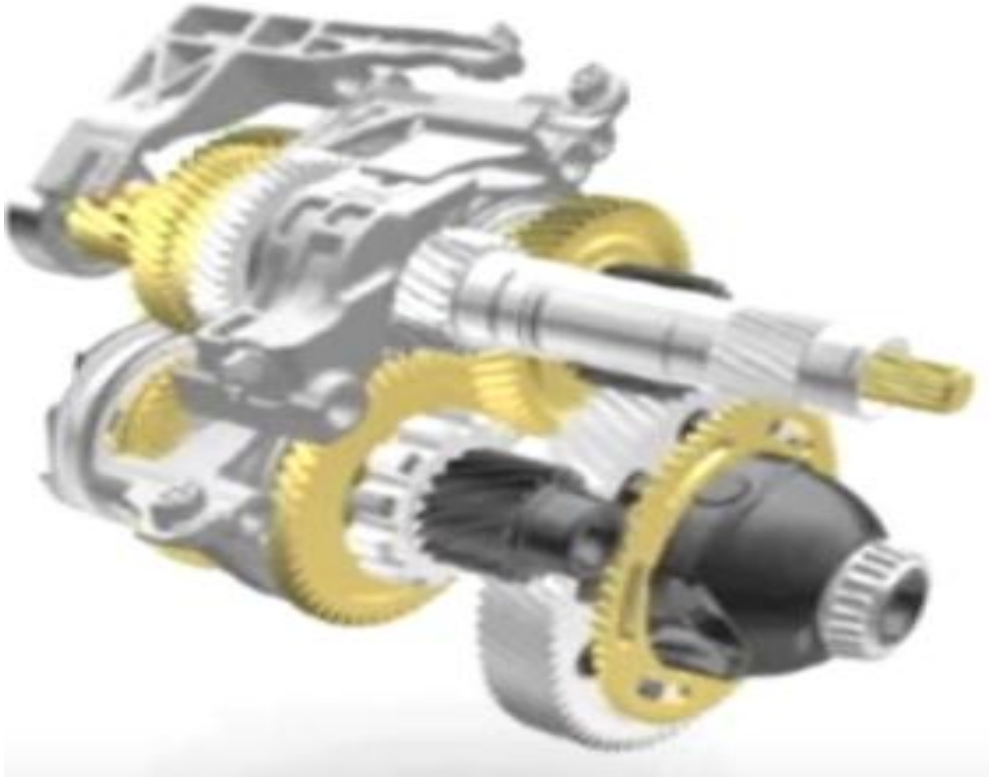


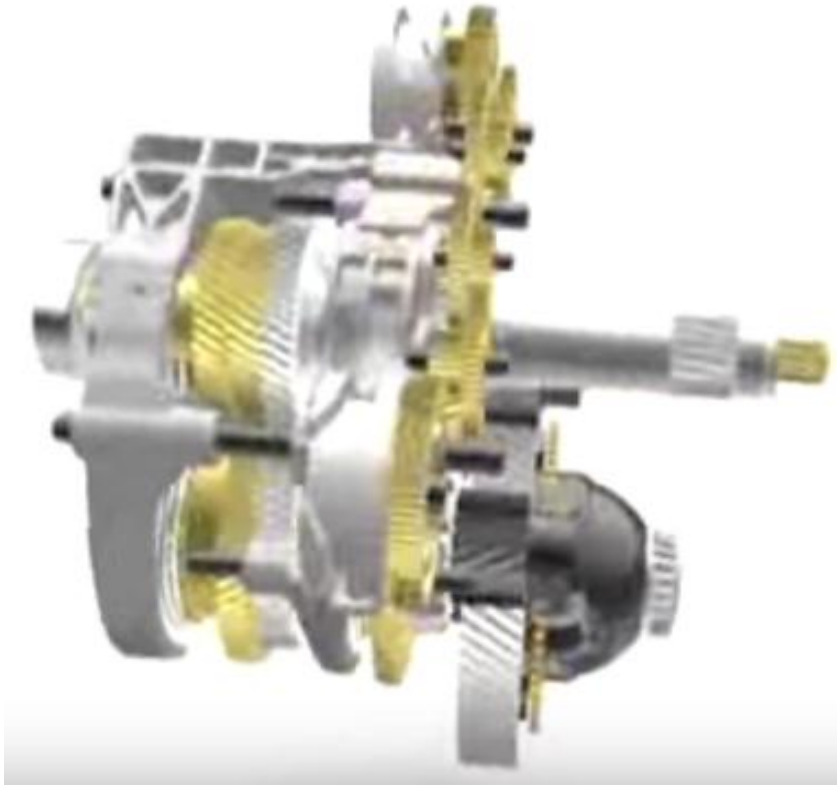


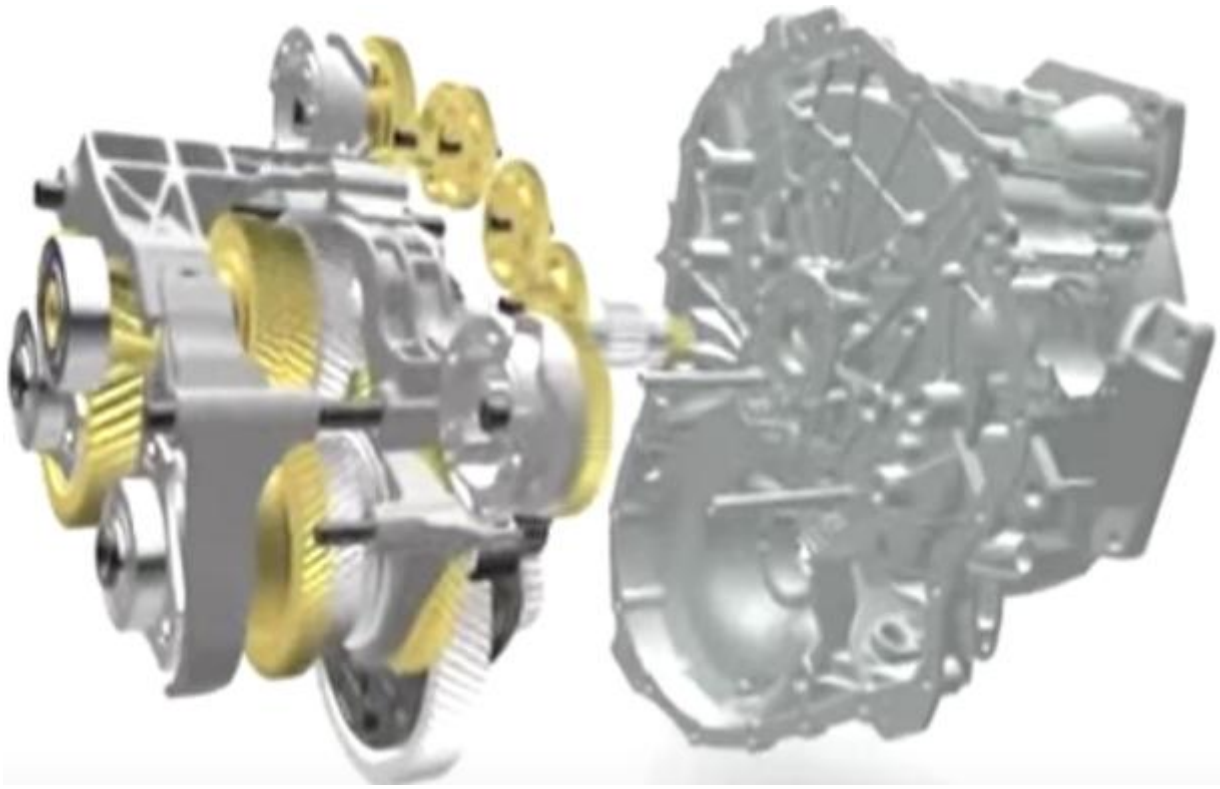


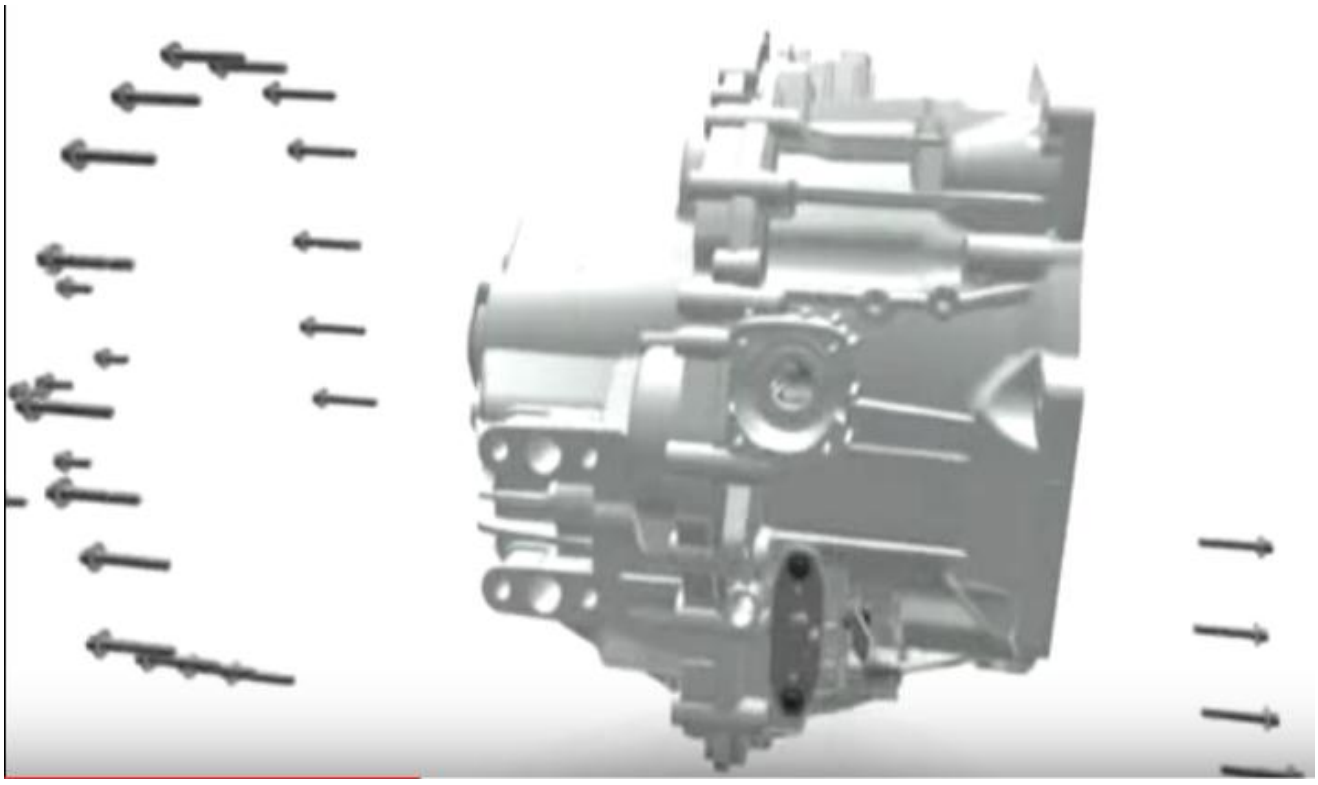


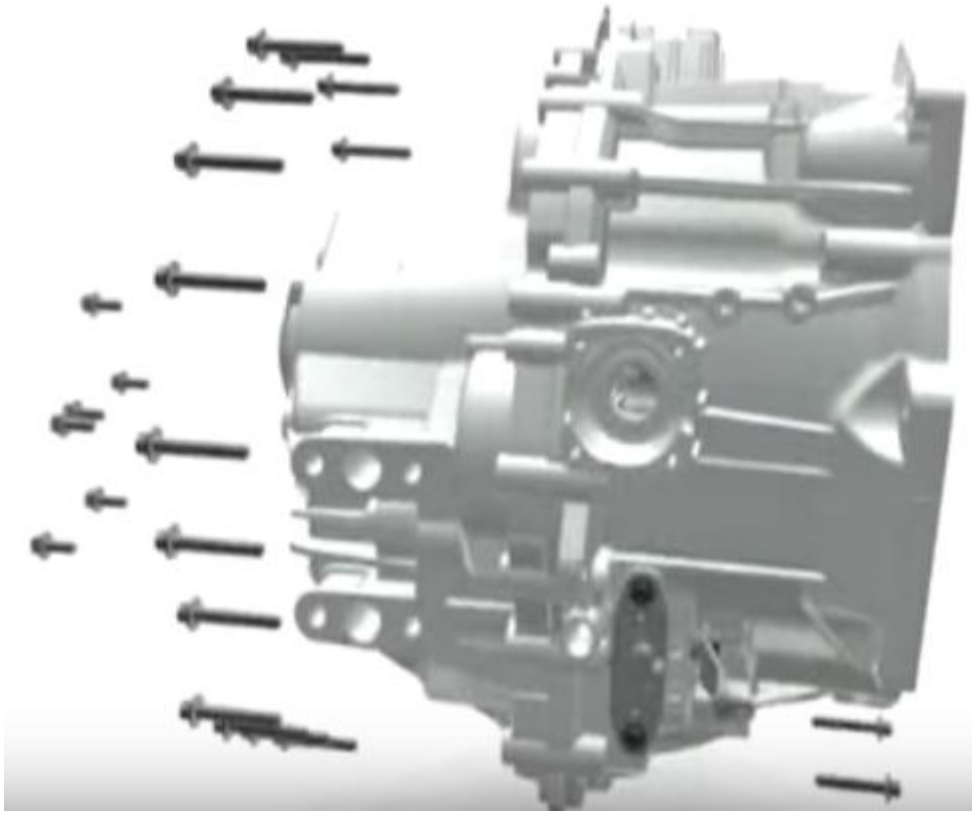


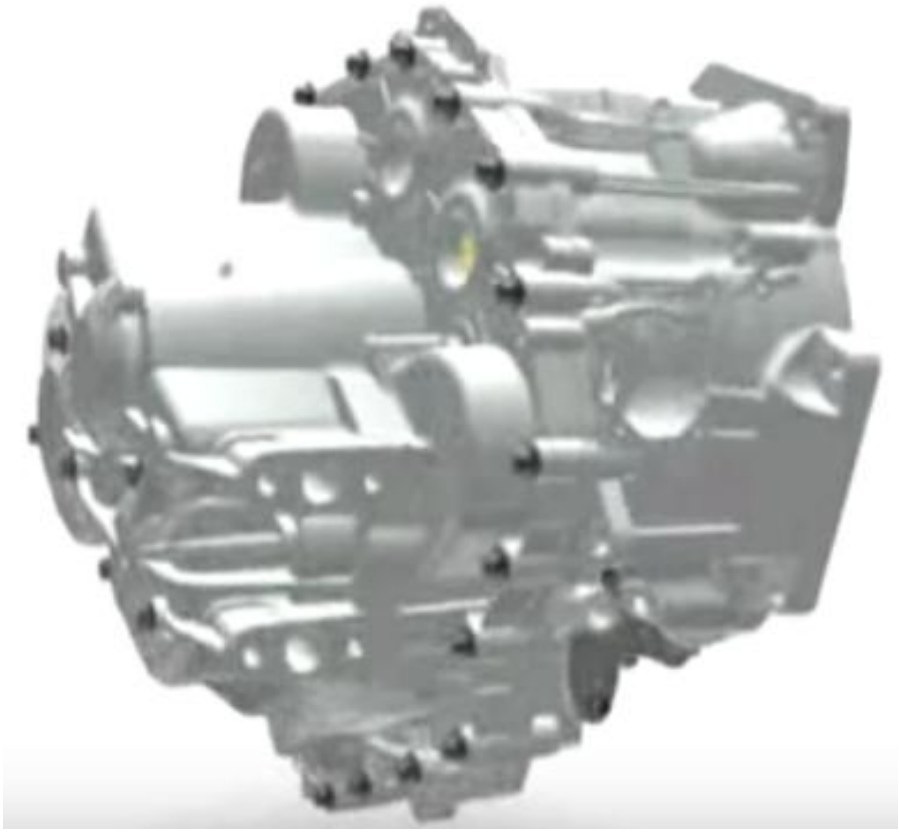


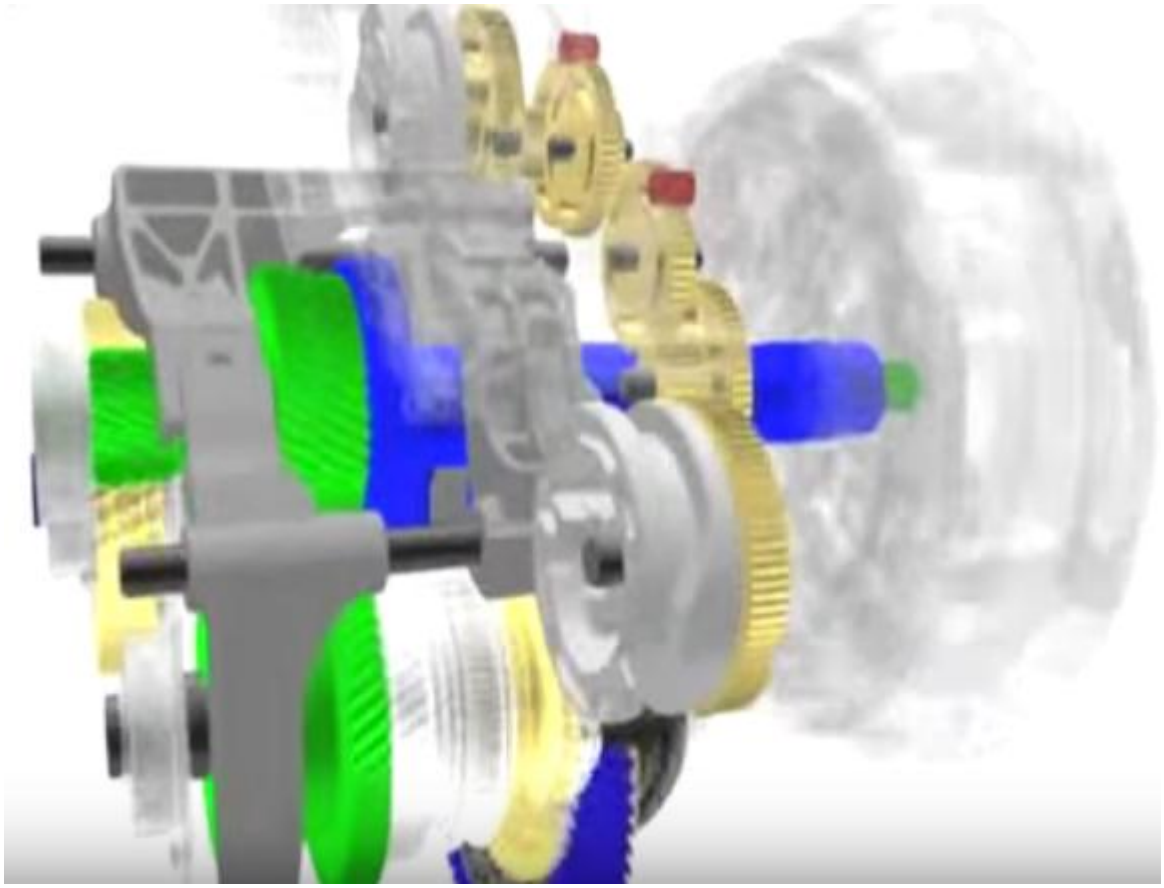












المصادر

1. Lewis, M. J. T. (1993). "Gearing in the Ancient World". *Endeavour* 17 (3): 110–115.doi:10.1016/0160-9327(93)90099-O.
2. "The Antikythera Mechanism Research Project: Why is it so important?". Retrieved2011-01-10. The Mechanism is thought to date from between 150 and 100 BCE
3. American Gear Manufacturers Association; American National Standards Institute,*Gear Nomenclature, Definitions of Terms with Symbols* (ANSI/AGMA 1012-G05 ed.), American Gear Manufacturers Association
4. http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear2.htm
5. Khurmi, R.S, *Theory of Machines*, S.CHAND
6. Schunck, Richard, "Minimizing gearbox noise inside and outside the box.", *Motion System Design*.
7. Vallance & Doughtie 1964, p. 281
8. Helical gears, retrieved 15 June 2009.
9. McGraw-Hill 2007, p. 742.
10. Canfield, Stephen (1997), "Gear Types", *Dynamics of Machinery*, Tennessee Tech University, Department of Mechanical Engineering, ME 362 lecture notes.
11. Hilbert, David; Cohn-Vossen, Stephan (1952), *Geometry and the Imagination* (2nd ed.), New York: Chelsea, p. 287, ISBN 978-0-8284-1087-8.
12. Siegel, Ira (2007-04-05). "Rattling noise could be from worn timing chain". *Chicago Sun Times*. Archived from the original on 1 October 2011. Retrieved 2010-10-23.
13. Bennekom, Fred Van (2005). "Audi A4 Car Timing Belt Quality". Retrieved 2010-10-23. Example of an Audi belt that broke before the recommended replacement interval.
14. "It's All in the Timing". Car Care Council. 2008. Retrieved 2010-10-23.
15. Carley, Larry (2005). "Timing chains, gears & belts". *Carley's Online Library of Automotive Technical Articles*.
16. Simmons, Keith (February 2009). "Timing To Win: Ignition Timing for Maximum Performance". Circle Track Magazine. Retrieved 2010-10-23.
17. "Goodyear Develops New NASCAR Cam Drive Belt". PR Newswire Association. 2006. Retrieved 2010-10-23.
18. "An Overview Of The2005 Mitsubishi Galant". The Auto Channel. 2004-10-24. Retrieved 2010-10-23.
19. Ritch, Ocee (May 1957). "Small bore... big pull!". *Sports Cars Illustrated*. Archived from the original on April 8, 2014. Retrieved April 9, 2008.
20. Norbye, Jan P. (1984). "Expanding on Excellence: The 5-Series and 3-Series". *BMW - Bavaria's Driving Machines*. Skokie, IL: Publications International. p. 191. ISBN 0-517-42464-9.
21. "Pump Couplings from John Crane Metastream and Powerstream at Total Pump Soultions". Totalpumps.co.nz. Retrieved 7 January 2015.
22. "Lovejoy, Inc. : Products : Couplings & Power Transmission: Shaft Locking Devices". Lovejoy-inc.com. Retrieved 7 January 2015.

23. "U.S. Tsubaki POWER-LOCK Catalog" (PDF). Ustsubaki.com. Retrieved 7 January 2015.
24. "Power Lock". Tsubakimoto.com. Retrieved 7 January 2015.
25. "NEF Taper-Lock Series". Tsubakimoto.com. Retrieved 7 January 2015.
26. "Why a Grid Coupling - Features & Benefits, Design Basics, and Element Options". Couplinganswers.com. Retrieved 2014-12-22.
27. Boyle, B. (2008). "Tracking the causes of coupling failure". Plantservices.com. Retrieved 7 January 2015. Explore coupling maintenance and the telltale signs of failure to maximize coupling life and ensure reliable system operations
28. As early as 225 BC, chain was used to draw a bucket of water up from a well. This very early bucket chain was composed of connected metal rings.Tsubakimoto Chain Co., ed. (1997). *The Complete Guide to Chain*. Kogyo Chosaki Publishing Co., Ltd. p. 240. ISBN 0-9658932-0-0. p. 211. Retrieved 17 May 2006.
29. Warwick, Alan. "Who Invented the Automatic Gearbox". North West Transmissions Ltd. Retrieved 11 October 2014.
30. Co, Brent. "Of fluids and automatic transmissions". Autoindustrya.com. Retrieved 11 October 2014.
31. [Boston, William, Merger creates auto-parts colossus, Wall Street Journal, September 16, 2014, p.B1]
32. Almost Burned
33. New 7-speed AMG SPEEDSHIFT MCT debuts
34. "How does the AT work?". AW North Carolina, Inc. Retrieved 6 October 2014.
35. Tracy, David. "This is how an automatic transmission works". Jalopnik. Gawker Media. Retrieved 6 October 2014.
36. "A short course on automatic transmissions". CarParts.com. JC Whitney. Retrieved 6 October 2014.
37. Hydraulic Variable Transmission Mechanism, John Willam Hall, GB Patents, No 7479(1896), No 22406(1901), No 442(1903) and No 4148(1907)
38. "The Hall Hydraulic Variable Speed-Gear - Part 1", Automotor Journal, June 25th, 1904, pp773-777
39. "CVT Speed and Efficiency Relation" (PDF). UC Davis. Retrieved 2012-07-05.
40. fmcsa.dot.gov standards
41. http://ca.autoblog.com/2012/05/10/the-automatic-transmission-a-brief-history/
42. "Nearly 80% Of Passenger Cars Are Sold With Manual Transmission In Europe". Prlog.org. 2006-09-12. Retrieved 2009-10-03.
43. "Transmission Technologies". http://www.fueleconomy.gov/. U. S. Department of Energy. Retrieved 9 May 2014.
44. "Nissan shows us its new and improved Continuously Variable Transmission - Finally, A CVT That Doesn't Suck". http://www.autoblog.com/. Retrieved 9 May 2014.
45. Hyundai Powertech.
46. J. J. Uicker, G. R. Pennock, and J. E. Shigley, 2003, Theory of Machines and Mechanisms, Oxford University Press, New York.
47. Reuleaux, F., 1876 'The Kinematics of Machinery,' (trans. and annotated by A. B. W. Kennedy), reprinted by Dover, New York (1963)

48. Eckhardt, Homer. Kinematic Design of Machines and Mechanisms. McGrawHill. ISBN 0-07-018953-6.
49. J. Phillips, Freedom in Machinery, Cambridge University Press, 2006
50. theory of machines and mechanisms by Joseph E. Shingley.
51. By Rhys Jenkins, Newcomen Society, (1971). Links in the History of Engineering and Technology from Tudor Times, Ayer Publishing. Page 34, ISBN 0-8369-2167-4
52. James N. Boblenz. "How to lace a flat belt". Farm Collector. Retrieved 2010-04-04.
53. "Belt lacing patterns" (PDF). North Dakota Statue Univ.
54. "Flat Belt Pulleys, Belting, Splicing". Hit N Miss Enterprises. Archived from the original on 17 March 2010. Retrieved 2010-04-04.
55. Robert Grimshaw, Drive for Power Transmission Cassier's Magazine Vol. II, No. 9 (July 1892); pages 219-224.
56. John J. Flather, Rope-Driving: A treatise on the transmission of power by means of fibrous ropes, Wiley, New York, 1895.
57. A Modern Cement Plant Installation, Power and Transmission. Vol. XVIII, No 1 (Oct. 1902); pages 17-19 and 29. Note: This journal is the house organ of the Dodge Manufacturing Company and is mostly devoted rope-power systems.
58. Editorial staff (1916-04-15), "Radiator fans and their design", Horseless Age 37 (8): 324.
59. Editorial staff (1916-04-15), "S.A.E. divisions exhibit activity", Horseless Age 37 (8): 322.
60. DIN 7867
61. to: a b Automotive Handbook (3rd ed.). Robert Bosch GmbH. 1993. p. 304. ISBN 0-8376-0330-7.
62. "Pininfarina Aerodynamic and Aeroacoustic Research Center". Arc.pininfarina.it. Retrieved 2009-10-24.
63. As early as 225 BC, chain was used to draw a bucket of water up from a well. This very early bucket chain was composed of connected metal rings.Tsubakimoto Chain Co., ed. (1997). The Complete Guide to Chain. Kogyo Chosaki Publishing Co., Ltd. p. 240. ISBN 0-9658932-0-0. p. 211. Retrieved 17 May 2006.
64. Smith, Zan (2000), "Plastic gears are more reliable when engineers account for material properties and manufacturing processes during design.", Motion System Design.
65. to: a b c "W. M. Berg Gear Reference Guide" (PDF).
66. Oberg, E; Jones, F.D.; Horton, H.L.; Ryffell, H.H. (2000), Machinery's Handbook (26th ed.), Industrial Press, p. 2649, ISBN 978-0-8311-2666-7.
67. "Elements of metric gear technology".
68. Fred Eberle (August 2014). "Materials Matter". Gear Solutions: 22.
69. "Mission and History, American Gear Manufacturers Association".
70. to: a b "Gear Quality: What it's all about". Machine Design. 1 May 2002.
71. Siegel, Daniel M. (1991). Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory: Molecular Vortices, Displacement Current, and Light. University of Chicago Press. ISBN 0521353653.
72. MacKinnon, Angus (2002). "Quantum Gears: A Simple Mechanical System in the Quantum Regime". Nanotechnology 13 (5): 678. arXiv:cond-mat/0205647. Bibcode:2002Nanot..13..678M. doi:10.1088/0957-4484/13/5/328.

73. Sanduk, M. I. (2007). [http://redshift.vi f.com/JournalFiles/V14NO2PDF/V14N2SAN.pdf "Does the Three Wave Hypothesis Imply Hidden Structure?"] (PDF). Apeiron 14 (2): 113–125. Bibcode:2007Apei...14..113S.
74. Robertson, Adi (September 12, 2013). "The first-ever naturally occurring gears are found on an insect's legs". The Verge. Retrieved September 14, 2013.
75. Functioning 'mechanical gears' seen in nature for the first time, Cambridge University, 2013.
76. "From the Hele-Shaw Experiment to IntegrableSystems: A Historical Overview" (PDF). University of Bergen. Retrieved August 9, 2012.
77. Analdo M. English, Friction-Clutch, US 255957, granted Apr. 4 1882.
78. Charles C. Tillotson, Power-Transmission Clutch, US 850981, granted Apr. 23, 1907.
79. Frank Wheeler, Clutch and stop mechanism for presses, US 470797, granted Dec. 14, 1891.
80. Samuel Trethewey, Clutch, US 495686, granted Apr. 18, 1893.
81. Fred. R. Allen, Clutch, US 1025043, granted Apr. 30, 1912.
82. John J. Zeitz, Friction-clutch, US 906181, granted Dec. 8, 1908.
83. William Lautenschlager, Friction Clutch, US 1439314, granted Dec. 19, 1922.
84. Fred. M. Carroll, Key adding device for tabulating machines, US 1848106, granted Mar. 8, 1932.
85. Clifton Chisholm, Typesetting machine, US 1889914, granted Dec. 6, 1932.
86. Arthur H, Adams, Selecting and typing means for printing telegraphs, US 2161840, issued Jun. 13, 1928.
87. Frederick G. Creed, Clutch Mechanism, US 1659724, granted Feb. 21, 1928
88. Alva G. Russell, Alfred Burkhardt, and Samuel E. Calhoun, Spring Clutch, US 2298970, granted Oct. 13, 1942.
89. "What is Lock-up Clutch Mechanism?". Your Online Mechanic. Retrieved 2014-07-17.
90. Serway, R. A. and Jewett, Jr. J. W. (2003). Physics for Scientists and Engineers. 6th Ed. Brooks Cole. ISBN 0-534-40842-7.
91. Tipler, Paul (2004). Physics for Scientists and Engineers: Mechanics, Oscillations and Waves, Thermodynamics (5th ed.). W. H. Freeman. ISBN 0-7167-0809-4.
92. to: a b Physics for Engineering by Hendricks, Subramony, and Van Blerk, Chinappi page 148, Web link
93. to: a b c Dynamics, Theory and Applications by T.R. Kane and D.A. Levinson, 1985, pp. 90–99: Free download
94. Thomson, James; Larmor, Joseph (1912). Collected Papers in Physics and Engineering. University Press. p. civ., at Google books
95. "Right Hand Rule for Torque". Retrieved 2007-09-08.
96. to: a b Halliday, David; Resnick, Robert (1970). Fundamentals of Physics. John Wiley & Sons, Inc. pp. 184–85.
97. to: a b c From the official SI website: "...For example, the quantity torque may be thought of as the cross product of force and distance, suggesting the unit newton metre, or it may be thought of as energy per angle, suggesting the unit joule per radian."
98. "SI brochure Ed. 8, Section 5.1". Bureau International des Poids et Mesures. 2006. Retrieved 2007-04-01.
99. See, for example: "CNC Cookbook: Dictionary: N-Code to PWM". Retrieved 2008-12-17.

100. to: a b Kleppner, Daniel; Kolenkow, Robert (1973). An Introduction to Mechanics. McGraw-Hill. pp. 267–68.
101. Jammer, Max (1957). Concepts of Force. Dover Publications, Inc. p. 167; footnote 14. ISBN 0-486-40689-X.
102. Coriolis, Gustave. (1829). Calculation of the Effect of Machines, or Considerations on the Use of Engines and their Evaluation (Du Calcul de l'effet des Machines, ou Considérations sur l'emploi des Moteurs et sur Leur Evaluation). Paris: Carilian-Goeury, Libraire.
103. http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter2/2-2/2-2-2.html
104. to: a b Goldstein, Classical Mechanics, third edition. P.19
105. to: a b Resnick, Robert and Halliday, David (1966), Physics, Section 1–3 (Vol I and II, Combined edition), Wiley International Edition, Library of Congress Catalog Card No. 66-11527
106. to: a b Hugh D. Young and Roger A. Freedman (2008). University Physics (12th ed.). Addison-Wesley. p. 329. ISBN 978-0-321-50130-1.
107. J. R. Taylor, Classical Mechanics, University Science Books, 2005.
108. Andrew Pytel, Jaan Kiusalaas (2010). Engineering Mechanics: Dynamics – SI Version, Volume 2 (3rd ed.). Cengage Learning,. p. 654. ISBN 9780495295631.
109. B. Paul, Kinematics and Dynamics of Planar Machinery, Prentice-Hall, 1979.
110. E. T. Whittaker, A treatise on the analytical dynamics of particles and rigid bodies, Cambridge University Press, 1904.
111. Huesemann, Michael H., and Joyce A. Huesemann (2011). Technofix: Why Technology Won't Save Us or the Environment, Chapter 5, "In Search of Solutions II: Efficiency Improvements", New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.
112. to: a b The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency pp. v-vi.
113. Greening, Lorna A.; David L. Greene; Carmen Difiglio (2000). "Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey". Energy Policy 28 (6–7): 389–401. doi:10.1016/S0301-4215(00)00021-5.
114. Kenneth A. Small and Kurt Van Dender (September 21, 2005). "The Effect of Improved Fuel Economy on Vehicle Miles Traveled: Estimating the Rebound Effect Using U.S. State Data, 1966-2001". University of California Energy Institute: Policy & Economics. Retrieved 2007-11-23.
115. "Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?" (PDF). Retrieved 2011-10-01.
116. Kyba, C. C. M.; Hänel, A.; Hölker, F. "Redefining efficiency for outdoor lighting". Energy & Environmental Science. doi:10.1039/C4EE00566J.
117. Tsao, J Y; Saunders, H D; Creighton, J R; Coltrin, M E; Simmons, J A (8 September 2010). "Solid-state lighting: an energy-economics perspective". Journal of Physics D: Applied Physics 43 (35): 354001. doi:10.1088/0022-3727/43/35/354001.
118. C.H. Wendel, Oliver/Hart-Parr (Motorbooks International: Osceola, Wisc., 1994) p. 54.
119. to: a b Robert N. Pripps and Andrew Moreland, Oliver Tractors" p. 24.
120. Pripps, pp. 24-25.

121. to: a b c Robert N. Pripps and Andrew Morland, Oliver Tractors (Motorbooks International: Osceola, Wisc., 1994) p. 34.
122. to: a b c d e C.H. Wendel, Oliver/Hart-Parr (Motorbooks International: Osceola, Wisc., 1994) pp. 92-93.
123. C.H. Wendel, American Farm Implements & Antiques (Krause Publications: Iola, Wisc., 2004) p. 403.
124. Oliver/Hart-Parr, p. 143.
125. C.H. Wendel, Oliver/Hart-Parr(Motorbooks International: Osceola, Wisc., 1994) pp. 5 and 123.
126. C.H. Wendel, Encyclopedia of American Farm Implement & Antiques (Krause Publication: Iola, Wisc., 2004) p. 357.
127. Robert Greenberger, The Technology of Ancient China (New York: Rosen Publishing Group, Inc., 2006), pp. 11–12.
128. Hill and Kucharski 1990.
129. Paul Hughes (3 March 2011). "Castlepollard venue to host Westmeath ploughing finals". Westmeath Examiner. Retrieved June 1, 2011.
130. Patrick Freyne (September 27, 2009). "The plough and the stars". Sunday Tribune (Dublin). Retrieved June 1, 2011.
131. "The Famine Potato". St Mary's Famine History Museum. Retrieved June 1, 2011.
132. Jonathan Bell, "Wooden Ploughs From the Mountains of Mourne, Ireland", Tools & Tillage (1980) 4#1. pp. 46–56; Mervyn Watson, "Common Irish Plough Types and Tillage Techniques", Tools & Tillage (1985) 5#2. pp. 85–98.
133. Wang Zhongshu, trans. by K. C. Chang and Collaborators, Han Civilization (New Haven and London: Yale University Press, 1982).
134. Margaritis, Evi; Jones, Martin K.: "Greek and Roman Agriculture", in: Oleson, John Peter (ed.): The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World, Oxford University Press, 2008, ISBN 978-0-19-518731-1, pp. 158–174 (166, 170).
135. Merriam-Webster, "headwords "bearing" and "bear"", Merriam-Webster's Collegiate Dictionary, online subscription version. Paywalled reference work.
136. to: a b American Society of Mechanical Engineers (1906), Transactions of the American Society of Mechanical Engineers 27, American Society of Mechanical Engineers, p. 441.
137. Bryan Bunch, The history of science and technology.
138. Steven Blake Shubert, Encyclopedia of the archaeology of ancient Egypt
139. Guran, Ardéshir; Rand, Richard H. (1997), Nonlinear dynamics, World Scientific, p. 178, ISBN 978-981-02-2982-5.
140. Purtell, John (1999/2001). Project Diana, chapter 10: http://nemiship.multiservers.com/nemi.htm
141. Bearing Industry Timeline, retrieved 2012-10-21.
142. "Double- Row Angular Contact Ball Bearings".
143. "Bicycle History, Chronology of the Growth of Bicycling and the Development of Bicycle Technology by David Mozer". Ibike.org. Retrieved 2013-09-30.
144. R. Stribeck, Kugellager für beliebige Belastungen Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1901, Nr. 3, Band 45, p. 73-79

145. N.N. (R. Stribeck), Kugellager (ball bearings), Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, 1901, No. 577, p. 2-9, Published 01. July 1901
146. A. Martens, Schmieröluntersuchungen (Investigations on oils) Part I: Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin, Ergänzungsheft III 1888, p. 1-37, Verlag von Julius Springer, Berlin and Part II: Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin, Ergänzungsheft V, 1889, p. 1-57, Verlag von Julius Springer, Berlin, (Note: These files can be downloaded from the website of BAM: http://www.bam.de/de/ueber_uns/geschichte/adolf_martens.htm)
147. Machine Design (2007), Did You Know: Bud Wisecarver (PDF), Machine Design, p. 1.
148. "Design News Magazine - July 1995".
149. to: a b Harris, Tedric A. (2000). Rolling Bearing Analysis (4th ed.). Wiley-Interscience. ISBN 0-471-35457-0.
150. White, John H. (1985) [1978]. The American Railroad Passenger Car 2. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. p. 518. ISBN 0801827477. OCLC 11469984.
151. Steam Power Plant Engineering, by George Frederick Gebhardt, published by J. Wiley & sons, Incorporated, 1917, p 791 Google Books scanned ref
152. The gasoline automobile, George William Hobbs b. 1887, Ben George Elliott, Earl Lester Consoliver, University of Wisconsin. University Extension Division, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1919 - 483 pages, pp 111-114 Google Books scanned ref
153. Pressure Lubricating Characteristics, by Paul Dumas, Motor age, Volume 42, Class Journal Co., 14 Sep 1922 Google Books scanned ref.
154. Victor Mair, "Polysyllabic characters in Chinese writing", Language Log, 2011 August 2
155. Thompson, A.; Taylor, B. N. (July 2008). "NIST Guide to SI Units – Rules and Style Conventions". National Institute of Standards and Technology. Retrieved 29 December 2009.
156. Williamson, Amelia A (March–April 2008). "Period or Comma? Decimal Styles over Time and Place" (PDF). Science Editor (Council of Science Editors) 31 (2): 42. Retrieved 19 May 2012.
157. "Avogadro Project". National Physical Laboratory. Retrieved 19 August 2010.
158. "What is a mise en pratique?". International Bureau of Weights and Measures. Retrieved 10 November 2012.
159. "Recommendations of the Consultative Committee for Mass and Related Quantities to the International Committee for Weights and Measures." (PDF). 12th Meeting of the CCM. Sèvres: Bureau International des Poids et Mesures. 26 March 2010. Retrieved 27 June 2012.
160. "Recommendations of the Consultative Committee for Amount of Substance – Metrology in Chemistry to the International Committee for Weights and Measures." (PDF). 16th Meeting of the CCQM. Sèvres: Bureau International des Poids et Mesures. 15–16 April 2010. Retrieved 27 June 2012.
161. "Recommendations of the Consultative Committee for Thermometry to the International Committee for Weights and Measures." (PDF). 25th Meeting of the CCT. Sèvres: Bureau International des Poids et Mesures. 6–7 May 2010. Retrieved 27 June 2012.
162. pg 221 – McGreevy

163. to: a b "International Recommendation R 52 – Hexagonal weights – Metrological and technical requirements" (PDF). International Organization of Legal Metrology. 2004. Retrieved 28 December 2012.
164. "Official BIPM definitions". Retrieved 26 November 2012.
165. "Essentials of the SI: Introduction". National Institute of Standards and Technology. Retrieved 26 November 2012.
166. "White Paper on Metrication (1972) – Summary and Conclusions" (PDF). London: Department of Trade and Industry Consumer and Competition Policy Directorate. para 22–23.
167. Dutta, M. (2008). "Chapter 3: Optimum Currency Areas: U.S. Dollar, Euro and Asian Money" (PDF). Rutgers University. Table 3.1. Retrieved 2 December 2012.
168. Page, Chester H; Vigoureux, Paul, eds. (20 May 1975). The International Bureau of Weights and Measures 1875–1975: NBS Special Publication 420. Washington, D.C.: National Bureau of Standards. p. 244.
169. "White Paper on Metrication (1972) – Summary and Conclusions" (PDF). London: Department of Trade and Industry Consumer and Competition Policy Directorate. para 19.
170. Cinchon, Deborah (1996). "APPENDIX B – Guyana and Belize: The Commonwealth of Nations". Country studies. Library of Congress. Retrieved 16 February 2013.
171. Fram, Nicholas (17 May 2006). Decolonization, the Commonwealth, and British Trade, 1945–2004 (PDF) (BA (Hons) thesis). Stanford University.
172. "White Paper on Metrication (1972) – Summary and Conclusions" (PDF). London: Department of Trade and Industry Consumer and Competition Policy Directorate. para 42–45.
173. "South Africa Metrication". South African Government. 15 September 1977. Retrieved 3 December 2012.
174. "Final Annual Report (1980–1981) of the (Australian) Metric Conversion Board (MCB)". Retrieved 3 December 2012.
175. to: a b "Final Report of the Metrication Board (1980)" (PDF). London: Department of Trade and Industry Consumer and Competition Policy Directorate.
176. "Weights and Measures Act". Retrieved 26 November 2012.
177. Weights and Measures Act, Retrieved 2012-09-18, Act current to 18 September 2012. "Canadian units (5) The Canadian units of measurement are as set out and defined in Schedule II, and the symbols and abbreviations therefor are as added pursuant to subparagraph 6(1)(b)(ii)."
178. "Roads go metric across country today". RTÉ News. 20 January 2005. p. 9. Retrieved 16 February 2013.
179. "National Plan to Improve Literacy and Numeracy in Schools: Submission to the Department of Education and Skills" (PDF). Irish Business and Employers Confederation. February 2011. p. 9. Retrieved 16 February 2013.
180. Barbrow, Louis E.; Judson, Lewis V. (March 1976) [First published October 1963]. "Weights and Measures Standards of the United States – A brief history, Special Publication 447". National Bureau of Standards. pp. 10–20. LCCN 76-600055.

181. "Appendix G : Weights and Measures". The World Factbook. Central Intelligence Agency. Retrieved 3 September 2011.
182. Porter, Darwin; Prince, Danforth (2006). Frommer's Puerto Rico (8th ed.). Wiley Publishing. p. 58. ISBN 978-0-471-78740-2.
183. "The United States and the Metric System" (PDF). Office of Weights and Measures/Metric Program. October 1997. NIST LC1136. Retrieved 23 August 2013.
184. Simone, Daniel V (December 1970). U.S. Metric Study Report – International Standards. National Bureau of Standards. Special Publication 345-1.
185. Rowlett, Russ (8 August 2000). "The Metric System in the United States". How Many? A Dictionary of Units of Measurement. Chapel Hill: University of North Carolina. Retrieved 21 January 2013. Henceforth it shall be the policy of the National Bureau of Standards to use the units of the International System (SI), as adopted by the 11th General Conference of Weights and Measures (October 1960), except when the use of these units would obviously impair communication or reduce the usefulness of a report.
186. Ford, Gerald R (23 December 1975). Wooley, John; Peters, Gerhard, eds. "Statement on Signing the Metric Conversion Act of 1975.". The American Presidency Project. Retrieved 21 August 2013.
187. "The Metric System in the U.S.". Event-Based Science Project. 2003. Retrieved 21 August 2013.
188. Martha Brockenbrough. "Whatever Happened to the Metric System?". MSN Encarta column. Archived from the original on 1 November 2009. Retrieved 21 January 2013.
189. Cass, Ronald A. (Winter 1991). "Velvet Fist in an Iron Glove: The Omnibus Trade and Competitiveness Act of 1988" (PDF). Regulation (Washington DC: Cato Institute): 50–56. Retrieved 21 January 2013.
190. "DYKT: Did You Know That". Lamar.colostate.edu. 5 June 2008. Retrieved 21 January 2013.
191. "Guide for Identification and Development of Metric Standards" (PDF). Office of the Under Secretary of Defense Acquisition, Technology & Logistics. December 2003. p. 3. SD-10. Retrieved 22 January 2013.
192. to: a b c Gentry, Elizabeth J. "Voluntary Metric Labeling" (PDF). National Institute of Standards and Technology. pp. 3–6. Retrieved 28 January 2013.
193. "Forum on Permissible Metric-Only Labeling". NIST. 4 October 2006. Retrieved 22 January 2013.
194. Frysinger, James R. (2010). "The Uniform Packaging and Labeling Regulation (UPLR)". Metric Methods. Retrieved 28 January 2013.
195. Greenslade, Joe (August 2012). "Why Specify ISO Standards For Metric Fasteners?". American Fastener Journal (Scotsdale, Arizona): 48–55. ISSN 1064-3834. Retrieved 16 August 2013. The decision by General Motors, FORD, and Chrysler to adopt the metric system of measurement in design impacted all industrialized countries in the world. The car manufacturers wanted to be able to source products anywhere in the world and have the components be compatible regardless of where the parts were made, purchased or assembled.
196. Reisman, Lisa (16 August 2011). "Not So Fast, Comac: C919 is DOA, But Boeing and Airbus Duopoly Dead Anyway". MetalMiner. Azul Partners. Retrieved 16 August 2013.

197. "Council Directive 71/354/EEC: On the approximation of the laws of the Member States relating to units of measurement". The Council of the European Communities. 18 October 1971. Retrieved 3 March 2012.
198. Gupta, S.V. (2004). "Verification of commercial weights" (PDF). Paris: International Organisation of Legal Metrology. p. 6. Expert Report – OIML E 3 (2004). Retrieved 16 August 2013.
199. The Council of the European Communities (21 December 1979). "Council Directive 80/181/EEC of 20 December 1979 on the approximation of the laws of the Member States relating to Unit of measurement and on the repeal of Directive 71/354/EEC". Retrieved 7 February 2009.
200. The Council of the European Communities (27 May 2009). "Council Directive 80/181/EEC of 20 December 1979 on the approximation of the laws of the Member States relating to Unit of measurement and on the repeal of Directive 71/354/EEC". Retrieved 14 September 2009.
201. Mandavilli, Sujay Rao. "Metrication in India". Metric usage and metrication in other countries. US Metric Association. Retrieved 3 December 2012.
202. Chakrabarti, Bhupati (10 February 2007). "Fifty years of the metric system in India and its adoption in our daily life" (PDF). Current Science (Bangalore: Current Science Association) 92 (3). Retrieved 20 November 2012.
203. Subramaniam, K; Bose, Arindam (14 July 2012). Measurement Units and Modes: The Indian Context (PDF). 12th International Congress on Mathematical Education (PDF). pp. 1973–1983. Retrieved 20 November 2012.
204. "Style Sheet". Mumbai: Economic and Political Weekly. Retrieved 31 January 2013.
205. "Redefining the kilogram". UK National Physical Laboratory. Retrieved 30 November 2014.
206. Newell, David B. "A more fundamental International System of Units" (PDF). Physics Today. Retrieved 30 November 2014.
207. Mills, Ian (September–October 2011). "Part II—Explicit-Constant Definitions for the Kilogram and for the Mole". Chemistry International 33 (5): 12–15. ISSN 0193-6484.
208. Mills, Ian (29 September 2010). "On the possible future revision of the International System of Units, the SI" (PDF). CCU. Retrieved 1 January 2011.
209. Mills, Ian (29 September 2010). "Draft Chapter 2 for SI Brochure, following redefinitions of the base units" (PDF). CCU. Retrieved 1 January 2011.
210. "Towards the "new SI"". International Bureau of Weights and Measures (BIPM). Retrieved 20 February 2011.
211. Resolution 1 – On the possible future revision of the International System of Units, the SI (PDF). 24th meeting of the General Conference on Weights and Measures. Sèvres, France. 17–21 October 2011. Retrieved 25 October 2011.
212. Henry D. Stover, Improvement in Wood-Planing Machines, U.S. Patent Reissue 1,190, May 21, 1861.
213. Henry D. Stover, Planing Machine, U.S. Patent 30,993, Dec. 18, 1860, 1861.
214. John DeLancy Watkins and Robert Bryson, Mowing Machines, U.S. Patent Reissue 1,904, July 23, 1861.
215. Rush S. Battles, Locomotive, U.S. Patent 455,154, June 30, 1891.
216. Walter Stillman, Bicycle, U.S. Patent 456,387, July 21, 1891.

217. Dudley D. Bukey, Horse-Power, U.S. Patent 631,198, Aug. 15, 1899.
218. Charles Clark, Marine Velocipede, [U.S. Patent 637,547], Nov. 21, 1899.
219. Synchronizers; graphic illustration of how they work". Retrieved 2007-07-18.
220. http://www.diehl.com/en/diehl-metall/products/synchronizer-rings.html Diehl Metall: Synchronizer Rings
221. http://www.widman.biz/uploads/Transaxle_oil.pdf
222. http://www.caltex.com.au/FPL%20PDS/Thuban%20GL5%20EP.pdf
223. "Porsche 911: The latest intel including renderings!". Germancarblog.com. 2011-07-04. Retrieved 2011-09-01.
224. "2012 Porsche 911 will feature a 7-speed manual transmission". Worldcarfans.com. Retrieved 2011-09-01.
225. 2014 Corvette Stingray: C7 - GT Car | Chevrolet
226. "2007 Tesla roadster". Supercars.net. 2006-07-19. Retrieved 2011-09-01.
227. "The Borg-Warner Overdrive Transmission Explained". FORDification.com. Retrieved 2012-04-22.
228. Driving a Miata with a stock short shifter
229. "Short Shifter - Performance - Tequipment 911 (Type 996) - Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG". Porsche.com. Retrieved 2009-10-25.
230. An Investigation into The Loss Mechanisms associated with a Pushing Metal V-Belt Continuously Variable Transmission, Sam Akehurst, 2001, PhD Thesis, University of Bath.
231. "U.S. Department of Energy vehicle fuel economy website". Fueleconomy.gov. Retrieved 2010-10-16.
232. An Overview of Current Automatic, Manual and Continuously Variable Transmission Efficiencies and Their Projected Future Improvements, Kluger and Long, SAE 1999-01-1259
233. "Why Dual Clutch Technology Will Be Big Business". Dctfacts.com. Retrieved 2010-02-07.

International System of Units

1. SI base units

Unit name	Unit symbol	Quantity name	Definition (incomplete)[n 1]	Dimension symbol
metre	m	length	• **Original** (1793): $\frac{1}{10\,000\,000}$ of the meridian through Paris between the North Pole and the Equator.[FG] • **Interim** (1960): 1 650 763.73 wavelengths in a vacuum of the radiation corresponding to the transition between the $2p^{10}$ and $5d^5$ quantum levels of the krypton-86 atom. • **Current** (1983): The distance travelled by light in vacuum in $\frac{1}{299\,792\,458}$ second.	L
kilogram[n 2]	kg	mass	• **Original** (1793): The **grave** was defined as being the weight [mass] of one cubic decimetre of pure water at its freezing point.[FG] • **Current** (1889): The mass of the international prototype kilogram.	M
second	s	time	• **Original** (Medieval): $\frac{1}{86\,400}$ of a day. • **Interim** (1956): $\frac{1}{31\,556\,925.9747}$ of the tropical year for 1900 January 0 at 12 hours ephemeris time. • **Current** (1967): The duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium 133 atom.	T
ampere	A	electric current	• **Original** (1881): A tenth of the electromagnetic CGS unit of current. The [CGS] electromagnetic unit of current is that current, flowing in an arc 1 cm long of a circle 1 cm in radius creates a field of one oersted at the centre.[39] IEC • **Current** (1946): The constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 m apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} newtons per metre of length.	I
kelvin	K	thermodynamic temperature	• **Original** (1743): The **centigrade scale** is obtained by assigning 0 °C to the freezing point of water and 100 °C to the boiling point of water. • **Interim** (1954): The triple point of water (0.01 °C) defined to be exactly 273.16 K.[n 3] • **Current** (1967): $\frac{1}{273.16}$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water	Θ
mole	mol	amount of substance	• **Original** (1900): The molecular weight of a substance in mass grams.[ICAW] • **Current** (1967): The amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon 12.[n 4]	N
candela	cd	luminous intensity	• **Original** (1946): The value of the new candle is such that the brightness of the full radiator at the temperature of solidification of platinum is 60 new candles per square centimetre. • **Current** (1979): The luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} hertz and that has a radiant intensity in that direction of $\frac{1}{683}$ watt per steradian.	J

2. Named units derived from SI base units

Name	Symbol	Quantity	Expressed in terms of other SI units	Expressed in terms of SI base units
radian	rad	angle		$m \cdot m^{-1}$
steradian	sr	solid angle		$m^2 \cdot m^{-2}$
hertz	Hz	frequency		s^{-1}
newton	N	force, weight		$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
pascal	Pa	pressure, stress	N/m^2	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
joule	J	energy, work, heat	$N \cdot m$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
watt	W	power, radiant flux	J/s	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
coulomb	C	electric charge or quantity of electricity		$s \cdot A$
volt	V	voltage (electrical potential difference), electromotive force	W/A	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
farad	F	electric capacitance	C/V	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4 \cdot A^2$
ohm	Ω	electric resistance, impedance, reactance	V/A	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
siemens	S	electrical conductance	A/V	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
weber	Wb	magnetic flux	$V \cdot s$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
tesla	T	magnetic field strength	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
henry	H	inductance	Wb/A	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
degree Celsius	°C	temperature relative to 273.15 K		K
lumen	lm	luminous flux	$cd \cdot sr$	cd
lux	lx	illuminance	lm/m^2	$m^{-2} \cdot cd$
becquerel	Bq	radioactivity (decays per unit time)		s^{-1}
gray	Gy	absorbed dose (of ionizing radiation)	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
sievert	Sv	equivalent dose (of ionizing radiation)	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
katal	kat	catalytic activity		$mol \cdot s^{-1}$

Notes
1. The radian and steradian, once given special status, are now considered dimensionless derived units.[33]:3
2. The ordering of this table is such that any derived unit is based only on base units or derived units that precede it in the table.

3. Standard prefixes for the SI units of measure

Multiples	Prefix name		deca	hecto	kilo	mega	giga	tera	peta	exa	zetta	yotta
	Prefix symbol		da	h	k	M	G	T	P	E	Z	Y
	Factor	10^0	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
Fractions	Prefix name		deci	centi	milli	micro	nano	pico	femto	atto	zepto	yocto
	Prefix symbol		d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y
	Factor	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}

UK Imperial units

4. Table of length units

Table of length units				
Unit	Plural	Relative value	Metric value	Notes
assbā إصبع		1/16 Arabic foot	~2.25 cm	A finger-length
cabda قبضة		1/4 Arabic foot	~9 cm	A palm-length
Arabic foot قدم عربية			~32 cm	
cubit		Cubit, traditionally 2 Arabic feet, later 1.5 Arabic feet		A cubit-length
orgye		6 Arabic feet	~1.92 m	A pace-length
qasab قصبة		12 Arabic feet	~3.84 m	A cane-length
seir		600 Arabic feet	~192 m	Also noted as a stadion, a stadium-length.
ghalva		720 Arabic feet	~230.4 m	
parasang		18,000 Arabic feet	~5.76 km	From Ancient Mesopotamian (Iraqi) parasang. Roughly analogous to an English league.
barid بريد		4 parasang	~23.04 km	
marhala مرحلة		8 parasang	~46.08 km	A village-length.

5. Table of length equivalent units

Unit	Relative to previous	Feet	Millimetres	Metres	Notes
thou (th)		1/12000	0.0254	0.0000254	Also 25.4 µm
inch (in)	1000 thou	1/12	25.4	0.0254	
foot (ft)	12 inches	1	304.8	0.3048	
yard (yd)	3 feet	3	914.4	0.9144	Defined as exactly 0.9144 metre by the International yard and pound agreement of 1959
chain (ch)	22 yards	66	20,116.8	20.1168	The distance between the two wickets on a cricket pitch
furlong (fur)	10 chains	660		201.168	220 yards
mile (mi)	8 furlongs	5,280		1,609.344	1,760 yards
league (lea)	3 miles	15,840		4,828.032	No longer an official unit in any nation.

4. Maritime units

fathom (ftm)	2.0266 yards	6.08	1,828.8	1.8288	The British Admiralty in practice used a fathom as 6 feet. This was despite its being 1/1000 of a nautical mile (i.e. 6.08 feet) until the adoption of the international nautical mile.[12]
cable	100 fathoms	608		185.3184	One tenth of a nautical mile. When in use it was approximated colloquially as 100 fathoms.
nautical mile	10 cables	6,080		1,853.184	Used for measuring distances at sea. Until the adoption of the international definition of 1,852 metres in 1970, the British nautical (Admiralty) mile was defined as 6,080 feet.[13]

5. Gunter's survey units (17th century onwards)

link	7.92 inches	66/100	201.168	0.201168	1/100 of a chain
rod	25 links	66/4	5,029.2	5.0292	The rod is also called *pole* or *perch* and equal to 5.5 yards
chain	4 rods	66		20.1168	100 links or 1/10 of a furlong

6. Area

Unit	Relation to units of length	Square feet	Square rods	Square miles	Square metres	Hectares	Notes
perch	1 rod × 1 rod	272.25	1	$1/102\,400$	25.292 852 64	0.002 529	Although the proper term is *square rod*, for centuries this unit has been called a *pole* or *perch* or, more properly, *square pole* or *square perch*.
rood	1 furlong × 1 rod[14]	10 890	40	$1/2560$	1 011.714 1056	0.1012	The rood is 1210 square yards.
acre	1 furlong × 1 chain	43 560	160	$1/640$	4 046.856 4224	0.4047	One acre is 4840 square yards
Note: All equivalences are exact except hectares, which are accurate to 4 significant figures.							

7. Table of volume units

Unit	Imperial ounces	Imperial pints	Millilitres	Cubic inches	US ounces	US pints
fluid ounce (fl oz)	1	$1/20$	28.413 0625	1.7339	0.960 76	0.060 047
gill (gi)	5	$1/4$	142.065 3125	8.6694	4.8038	0.300 24
pint (pt)	20	1	568.261 25	34.677	19.215	1.2009
quart (qt)	40	2	1 136.5225	69.355	38.430	2.4019
gallon (gal)	160	8	4 546.09	277.42	153.72	9.6076
Note: The millilitre equivalences are exact, but cubic-inch and US measures are correct to 5 significant figures.						

8. Table of British apothecaries' volume units

Unit	Symbols & abbreviations	Relative to previous	Exact metric value[note 1]
minim	ℿ, 𝓂, m, m., min		59.193 880 208$\overline{3}$ µl
fluid scruple	fl ℈, fl s	20 minims	1.183 877 604 16$\overline{6}$ ml
fluid drachm (fluid dram, fluidram)	ʒ, fl ʒ, fʒ, ƒ ʒ, fl dr	3 fluid scruples	3.551 632 8125 ml
fluid ounce	℥, fl ℥, f℥, ƒ ℥, fl oz	8 fluid drachms	28.413 0625 ml
pint	O, pt	20 fluid ounces	568.261 25 ml
gallon	C, gal	8 pints	4.54609 l
Note: 1. ^ The vinculum over numbers (e.g. $\overline{3}$) represents a repeating decimal.			

9. Table of mass units

Unit	Pounds	grams	kilograms	Notes
grain (gr)	1/7000	0.064 798 91		Exactly 64.798 91 milligrams.
drachm (dr)	1/256	1.771 845 195 3125		
ounce (oz)	1/16	28.349 523 125		
pound (lb)	1	453.592 37	0.453 592 37	Exactly 453.592 37 grams by definition.
stone (st)	14	6 350.293 18	6.350 293 18	A person's weight is often quoted in stone and pounds in English-speaking countries that use the avoirdupois system, with the exception of the United States and Canada, where it is usually quoted in pounds.
slug (slug)	32.174 048 56	14 593.902 94	14.593 902 94	Slug is US Customary unit of mass. Force = Mass • g. Pounds = Slugs • 32.174 (ft./s^2) [30]
quarter (qr/qtr)	28		12.700 586 36	One quarter is equal to two stone or a quarter of a hundredweight. The term *quarter* was also commonly used to refer to a quarter of a pound in a retail context.
hundredweight (cwt)	112		50.802 345 44	One imperial hundredweight is equal to eight stone. This is the long hundredweight as opposed to the short hundredweight of 100 pounds as used in the United States and Canada.[31]
ton (t)	2240		1 016.046 9088	As with the US and Canadian[31] systems, twenty hundredweights equal a ton. The imperial hundredweight is 12% greater than the US and Canadian equivalent. The imperial ton (or long ton) is 2,240 pounds, which is much closer to a metric tonne (about 2,204.6 pounds), compared to the short ton of 2,000 pounds (907.185 kg).

United States customary units

10.Units of length

Unit	Divisions	SI Equivalent
Exact relationships shown in **boldface**		
International		
1 *point* (p)		352.777 778 µm
1 *pica* (P)	**12 p**	4.233 333 mm
1 *inch* (in)	**6 P**	**25.4 mm**
1 *foot* (ft)	**12 in**	**0.304 8 m**[9]
1 *yard* (yd)	**3 ft**	**0.914 4 m**[9]
1 *mile* (mi)	**5 280 ft** or **1 760 yd**	**1.609 344 km**
US Survey		
1 link (li)	$^{33}/_{50}$ **ft** or 7.92 in	0.201 2 m
1 (survey) foot (ft)	$^{1200}/_{3937}$ **m**	0.304 800 61 m[9]
1 rod (rd)	**25 li** or **16.5 ft**	5.029 21 m
1 chain (ch)	**4 rd** or **66 ft**	20.116 84 m
1 furlong (fur)	**10 ch**	201.168 4 m
1 survey (or statute) mile (mi)	**8 fur**	1.609 347 km[9]
1 league (lea)	**3 mi**	4.828 042 km
International Nautical[9]		
1 fathom (ftm)	**2 yd**	**1.828 8 m**
1 cable (cb)	**120 ftm** or 1.091 fur	**219.456 m**
1 nautical mile (NM or nmi)	8.439 cb or 1.151 mi	**1.852 km**

11. Units of area

Unit	Divisions	SI Equivalent
Exact relationships shown in **boldface**		
1 square survey foot (sq ft or ft^2)	144 square inches	0.092 903 41 m^2
1 square chain (sq ch or ch^2)	**4 356 sq ft (survey)** or **16 sq rods**	404.687 3 m^2
1 acre	**43 560 sq ft (survey)** or **10 sq ch**	4 046.873 m^2
1 section	**640 acres** or **1 sq mile (survey)**	2.589 998 km^2
1 survey township (twp)	**36 sections** or **4 sq leagues**	93.239 93 km^2

12. Units of capacity and volume

Volume in general		
Unit	**Divisions**	**SI Equivalent**
1 cubic inch (cu in) or (in^3)		**16.387 064 mL**[13]
1 cubic foot (cu ft) or (ft^3)	**1 728 cu in**	28.316 85 L
1 cubic yard (cu yd) or (yd^3)	**27 cu ft**	764.554 857 984 L 0.764 554 857 984 m^3
1 acre-foot (acre ft)	**43 560 cu ft** 1 613.333 cu yd	1.233 482 ML 1 233.482 m^3

13. Fluid volume

Liquid volume		
Most common measures shown in *italic* font Exact conversions in **bold** font		
Unit	**Divisions**	**SI Equivalent**
1 minim (min)	~1 drop or 0.95 grain of water	**61.611 519 921 875 µL**
1 US fluid dram (fl dr)	**60 min**	**3.696 691 195 312 5 mL**
1 *teaspoon* (tsp)	**80 min**	**4.928 921 593 75 mL**
1 *tablespoon* (Tbsp)	**3 tsp** or **4 fl dr**	**14.786 764 781 25 mL**
1 *US fluid ounce* (fl oz)	**2 Tbsp** or 1.0408 oz av of water	**29.573 529 562 5 mL**
1 US shot (jig)	**3 Tbsp**	**44.360 294 343 75 mL**
1 US gill (gi)	**4 fl oz**	**118.294 118 25 mL**
1 *US cup* (cp)	**2 gi** or **8 fl oz**	**236.588 2365 mL**
1 (liquid) *US pint* (pt)	**2 cp** or 16.65 oz av of water	**473.176 473 mL**
1 (liquid) *US quart* (qt)	**2 pt**	**0.946 352 946 L**
1 (liquid) *US gallon* (gal)	**4 qt** or **231 cu in**	**3.785 411 784 L**
1 (liquid) barrel (bbl)	**31.5 gal** or **½ hogshead**	**119.240 471 196 L**
1 oil barrel (bbl)	**42 gal** or **⅔ hogshead**	**158.987 294 928 L**
1 hogshead	**63 gal** or **8.421 875 cu ft** or 524.7 lb of water	**238.480 942 392 L**

14. Dry volume

Dry volume		
Unit	**Divisions**	**SI Equivalent**
1 (dry) pint (pt)	33.60 cu in	0.550 610 5 L
1 (dry) quart (qt)	**2 pt**	1.101 221 L
1 (dry) gallon (gal)	**4 qt** or **268.802 5 cu in**	4.404 884 L
1 peck (pk)	**2 gal**	8.809 768 L
1 bushel (bu)	**4 pk** or 1.244 cu ft	35.239 07 L
1 (dry) barrel (bbl)	**7 056 cu in** or 3.281 bu	115.627 1 L

15. Units of mass

Conversions

Type	Unit	Divisions	SI equivalent
Avoirdupois	1 grain (gr)	$^{1}/_{7000}$ **lb**	**64.798 91 mg**
	1 dram (dr)	**27** $^{11}/_{32}$ **gr** or 8.859 carats	**1.771 845 195 312 5 g**
	1 ounce (oz)	**16 dr**	**28.349 523 125 g**
	1 pound (lb)	**16 oz**	**453.592 37 g**
	1 US hundredweight (cwt)	**100 lb**	**45.359 237 kg**
	1 long hundredweight	**112 lb**	**50.802 345 44 kg**
	1 ton (short ton)	**20 US cwt** or **2000 lb**	**907.184 74 kg**
	1 long ton	**20 long cwt** or **2240 lb**	**1016.046 908 8 kg**
Troy	1 grain (gr)	$^{1}/_{7000}$ **lb av** or $^{1}/_{5760}$ **lb t**	**64.798 91 mg**
	1 pennyweight (dwt)	**24 gr** or 7.776 carats	**1.555 173 84 g**
	1 troy ounce (oz t)	**20 dwt**	**31.103 476 8 g**
	1 troy pound (lb t)	**12 oz t** or 13.17 oz av	**373.241 721 6 g**
Most common measures shown in *italics* Exact conversions shown in **bold**			

16. Cooking measures

Measure	Australia	Canada	UK	US	FDA[17]
Teaspoon	5 mL	5 mL	4.74 mL	4.93 mL	5 mL
Dessertspoon	10 mL	—	9.47 mL	—	—
Tablespoon	20 mL	15 mL	14.21 mL	14.79 mL	15 mL
Fluid ounce	—	—	28.41 mL	29.57 mL	30 mL
Cup	250 mL	250 mL	284.13 mL	236.59 mL	240 mL
Pint	—	—	568.26 mL	473.18 mL	—
Quart	—	—	1136.52 mL	946.35 mL	—
Gallon	—	—	4546.09 mL	3785.41 mL	—

17. Other Units

1	1 board-foot = 1 ft × 1 ft × 1 in = 2.360 dm^3
2	1 British thermal unit (Btu) ≈ 1055 J
3	1 calorie (cal) = 4.184 J
4	1 food calorie (kilocalorie, large calorie) (kcal, Cal) = 4.184 kJ
5	1 foot-pound (energy) ≈ 1.356 J
6	1 hand = 10.16 cm
7	1 horsepower ≈ 745.7 W
8	1 *R*-value ($ft^2 \cdot °F \cdot h/Btu$) ≈ 0.1761 R_{SI} ($K \cdot m^2/W$)
9	1 slug = 1 $lb_f \cdot s^2/ft$
10	1 U (rack unit) = 1.75 in