الباب الثاني
2

محركات الاحتراق الداخلي

مفاهيم أساسية ـ مواصفات ـ تصنيف

COMBUSTION ENGINES INTERNAL
DEFINITIONS DESCRIPTIONS
CLASSIFICATION

obeikandl.com

تمهيد

يتناول هذا الباب المفاهيم والتعاريف الأساسية لمحركات الإحتراق الداخلي مثل القوة . الطاقة . الضغط . درجة الحرارة . إزاحة المكبس . نسبة الإنضغاط .... الخ ، مع ذكر معادلات كل منها ، كما زود بالمنحنيات والرسومات البيانية والأمثلة المحلولة.

ويتعرض للمواصفات التي تتميز بها المحركات المختلفة من حيث دورة التشغيل (ذات الشوطين أو الأربعة أشواط) . دورة الاحتراق مثل محركات البنزين ذات دورة الحجم الثابت أو محركات الديزل ذات دورة الضغط الثابت . الوقود المستخدم وطريقة دخوله (عن طريق المغذى أو بالحقن).

كما يعرض محرك فانكل ذو العضو الدوار والتوربنات الغازية واستخداماتها ومميزات وعيوب كل منها.

obeikandl.com

الفصل الأول

مفاهيم وتعاريف أساسية

يجب التعرف على بعض المفاهم والتعاريف الأساسية ، ومبدأ عمل محركات الاحتراق الداخلي ، والتي تنمى قدرات العاملين وتساعدهم في هذا المجال.

كما ينبغي التعرف على بعض المعادلات التي تساعد في الحسابات النظرية والعملية الخاصة بقدرة وكفاءة المحركات.

القـوة : Force

هي أساس توليد القدرة والطاقة ، ولها مصدر معين ، وهى تؤثر على جسم معين ، مثل قوة الرياح على الشراع.

مثـال :

أوجد مقدار القوة F التي تتطلب رفع كتلة قدرها 200 kg ؟

الحـل

$$F = m . g$$

حيث m ... كتلة الجسم (Kg).

g ... التعجيل الأرضى وقيمته $9.81\frac{M}{S^2}$

فتصبح F كما فى المعادلة كالآتى :-

$$F = 200\ kg \times 9.81\frac{M}{S^2}$$

$$F = 1962\ N$$

الشغل : Work

هو مقدار القوة مضروب في الإزاحة.

مثـال :

obeikandl.com

أوجد الشغل المبذول في رفع جسم وزنه 1962 N والذي يبذله عاملان ؟

الحـل :

يمكن الحصول على الشغل المبذول من خلال المعادلة التالية :-

الشغل = القوة × الإزاحة

$$W = F \cdot S$$

حيث W ... الشغل ووحدة قياسة هو الجول (J)

F ... القوة ووحدة قياسها هي نيوتن(N)

S ... الإزاحة ووحدة قياسها هي المتر (M)

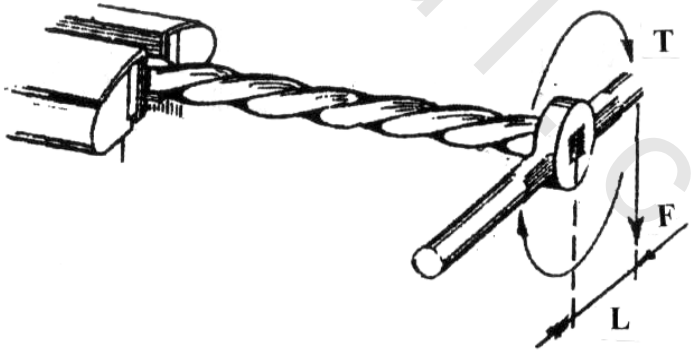
∴ W تكون كما هي موضحة بالعلاقة التالية :-

$$w = F \cdot S$$

$$= 1962\ N \times 1.5\ m = 2943\ j$$

العزم : Torque

يطلق مصطلح العزم على عملية فتل (برم) جسم معين أثناء دورانه باستخدام قوة كما هو موضح بشكل 2 – 1 ، أو عند دوران مفك أو مفتاح عند ربط صامولة ، حيث تعتبر اليد هي مصدر القوة ، وطول ذراع المفتاح هو ذراع القوة.



شكل 2 – 1
العـــزم

obeikandl.com

ويمكن الحصول على قيمة العزم من خلال حاصل ضرب القوة في طول ذراع المفتاح المستخدم.

العزم = القوة × طول ذراع المفتاح

$$T = F . L$$

حيث T ... العزم ووحدة قياسه هو (N.M).

F ... القوة ووحدة قياسها هى نيوتن (N).

L ... طول الذراع ووحدة قياسه هو (M).

إن حاصل ضرب القوة في طول ذراع المفتاح يعطى العزم، الذي يقاس بوحدة القوة مضروبة في وحدة المسافة (N × m) بشرط أن يكون خط تأثير القوة عمودي على ذراع نقل الحركة.

القدرة : Power

القدرة هي معدل الشغل المبذول على وحدة الزمن.

مثال:

أوجد القدرة اللازمة لشغل مبذول في رفع جسم وزنه 1962 N (كما سبق في مثال سابق) والذي تطلب زمناً قدرة t وليكن 5 ثانية ؟

الحل :

القدرة = الشغل / الزمن - Power = Work / Time

القدرة = $\frac{1962 \times 1.5}{5}$ = 588.5 (W)

يلاحظ أن القدرة تقاس بوحدة الواط w ، وهناك وحدة أكبر هى الكيلو واط (kW) ، أي كل كليو واط يعادل 1000 واط ، كما توجد وحدة أخرى لقياس القدرة هى الحصان (Horse Power) .... (hp) وأن الكيلو واط الواحد = 1.34 hp

الطاقة : Energy

هي سعة أو قابلية بذل الشغل ، و تقاس بكمية الشغل المبذول ووحدة قياسها هي الجول (joule) وكيلو جول ، أما الوحدة الأكثر استخداماً فهي (كيلو واط ساعة)..وهي تمثل الطاقة المبذولة عندما تعطي قدرة مقدارها كيلو واط لمدة ساعة .. وعندما تكون القدرة p = 588.5 w

ويمكن الحصول علي الطاقة من المعادلة التالية :-

الطاقة = القدرة × الزمن

= 588.5 w × (60 دقيقة × 60 ثانية)

= 588.5 $\frac{\text{جول}}{\text{ثانية}}$ × 3600 ثانية

= 2118600 جول أو 2118.6 kj

الضغط : Pressure

يعبر عن الضغط بمقدار القوة المؤثرة على وحدة المسافة . ووحدة الضغط هى نيوتن/ متر^2 (N/m^2) ويرمز للضغط بالرمز (p) ، ويمكن أيضاً قياس الضغط بوحدات $\frac{kg}{cm^2}$

1 نيوتن / متر^2 يعادل باسكال (Pascal) وتختصر بالرمز (Pa).

الضغط الجوى يعادل 1.03×10^5 Pa ، كما توجد وحدة قياس أخرى هى البار (Bar) ، وكل 1 (بار) يعادل 10^5 باسكال أى ..

1 بار (bar) = 10^5نيوتن / متر^2

الأبخـرة والغازات

الأبخرة هي سوائل في حالة غازية مثل بخار الماء حيث يمكن الاستفادة منه و في درجة حرارة أقرب إلى درجة تبخره (درجة الغليان) ، وعلى ذلك فعندما تبرد هذه الأبخرة أثناء تمددها في محرك بخاري أو توربين عندئذ تتحول إلى سائل، باختلاف الغازات كالهواء أو الأكسوجين أو الأيدروجين التي لا تتغير حالتها الغازية إذا بردت إلى

obeikandl.com

درجات حرارة منخفضة جداً .

مما سبق يتضح أن الأبخرة تختلف عن الغازات ، حيث أن الأولى عند تسخينها أو تبريدها تكون عرضة إلى استمرار تبخرها أو تكثفها ، وذلك نتيجة لاحتوائها على قطرات صغيرة من السائل الذي تبخرت منه .

وعندما تتبخر الأبخرة تبخراً تماماً تسمى بالأبخرة الجافة ، وعند زيادة درجة حرارة هذه الأبخرة (الأبخرة الجافة) عندئذ تسمى بالأبخرة المحمصة . وفى هذه الحالة تكون مطابقة لجميع خواص الغازات.

طرق تسخين وتمدد الغازات :

توجد عدة طرق لتسخين الغازات وتمددها نذكر منها الآتي :-

1-الحجم الثابت:

إذا سخن غاز في حيز مغلق فأنه يظل عند حجم ثابت ، ويصاحب التسخين ارتفاع في درجة حرارة الغاز ، وبما أنه لا يوجد زيادة في حجم الغاز فلا يبذل شغلاً.

2- الضغط الثابت

إذا سخن الغاز في أسطوانة تحتوى على كباس متحرك ، وكانت مقاومة الكباس ضد الغاز ثابتة ، فإن الغاز يتمدد عند ضغط ثابت ، ويتسبب عن ذلك زيادة في حجم ودرجة حرارة الغاز، ويبذل شغلاً نتيجة لزيادة حجمه.

3- تمدد القطع الزائد

في هذه الحالة يتمدد الغاز، ويتغير حجمه وضغطه معاً ، بحيث يكون حاصل ضرب (الحجم × الضغط) يظل ثابتاً أثناء انتشار الغاز . ولو رسم منحنى بياني يبين العلاقة يبين الحجم والضغط لكان الشكل الناتج عبارة عن قطع زائد ، وهذا هو سبب هذه التسمية.

4- الحرارة الثابتة (الانتشار والأنضغاط الأيسوثر مالي):

إذا سخن الغاز واستمر درجة حرارته ثابتة، ففي هذه الحالة يتمدد الغاز باذلا شغلا خارجياً معادلا لكمية الحرارة التي أكتسبها الغاز . ويسمى تمدد الغاز حينما تكون درجة الحرارة ثابتة لا تتغير بالتمدد الأيسوثرمالي.

5- الانتشار والأنضغاط الأدياتيكى:

عندما يتمدد الغاز باذلا شغلا خارجيا بحيث لا يكتسب أو يفقد حرارة أثناء انتشاره، فإن الانتشار يطلق عليه (أدياباتيكى) ، ويمكن حدوث ذلك عملياً باعتبار أي غاز في إسطوانه مصنوعة من مادة عازلة تماماً للحرارة وبها كباس يتحرك بسرعة عظيمة ، بحيث أن الغاز لا يكتسب أو يفقد أي جزء من حرارته أثناء انتشاره أو إنضغاطه في جدران الأسطوانة. وفى هذه الحالة يبذل الغاز شغلا على الكباس أثناء تمددة وهذا هو ما يحدث في إسطوانة المحرك الحراري .

كما يحدث التمدد الأدياباتيكي في بوق التوربين البخاري حيث أن البخار لا يكتسب أو يفقد حرارة أثناء انتشاره في البوق ، بينما يبذل شغلا بالعمل على زيادة طاقة الحركة بالنسبة لزيادة سرعته أثناء مروره بالبوق .

ويعتبر الانتشار والأنضغاط الأدياباتيكى هام جداً من الناحية العملية ، ففي هذا النوع من التمدد والأنضغاط لا يكتسب الغاز حرارة أثناء انتشاره ، والشغل المبذول بواسطته يكون بتأثير طاقته الداخلية ، وبذلك تنخفض درجة حرارة الغاز أثناء انتشاره ، وترتفع درجة حرارته أثناء إنضغاطه انضغاطاً دياباتيكياً.

خواص الغازات :

عندما تنفجر مادة ، فإنها تتحول إلى صورة غازية أو بخارية ، ولعل أهم خواص الغاز هو خاصية مرونته ، فلو وضع حجم معين من سائل في وعاء ، فسوف يشغل حجمه بالضبط لا أكثر ولا أقل ، ولكن عندما يدخل غاز في إناء فسوف يشغل كافة أرجاء الإناء في الحال مهما كان كبيراً ، وبذلك يمكن القول بأن السوائل عملياً غير قابلة للانضغاط أو التمدد ، ولكن الغازات قابلة للأنضغاط إلى أحجام أقل أو التمدد إلى أحجام أكبر

ولنفرض وجود كمية من الغاز محصورة داخل إسطوانه بها كباس متحرك ، فعندما ندفع الكباس في داخل الأسطوانة فسوف ينضغط الغاز إلى حجم أقل ، وعندما نجذب الكباس للخارج فسوف يتمدد الغاز إلى حجم أكبر ، ويراعى عندئذ أن التغير الذي يحدث في حجم الغاز يصاحبه أيضاً تغير في ضغط الغاز ودرجة حرارته.

ونجد أن هناك علاقة عامة تربط هذه التغيرات الثلاثة للغاز وهى (الحجم والضغط ودرجة الحرارة) ، وتعرف القواعد التي تحدد العلاقة بين تلك المتغيرات باسم قوانين الغازات ، ولا بد عند بحثها يراعى تحديد الكميات المتغيرة بقيمتها المطلقة مثل درجة الحرارة المطلقة أو الضغط المطلق.

قوانين الغازات

تعرف القواعد التي تنظم العلاقة بين خواص الغاز واختلافها تبعاً لما يقع له من تغير باسم قوانين الغازات ، وهناك ثلاثة قواعد تبحث في العلاقة بين خاصتين من خواص الغازات إذا ثبتت الخاصية الثالثة ، وتعرف القاعدة التي تبحث في حالة خواص الغازات إذا ثبتت درجة حرارته باسم قانون بويل.

1- **قانون بويل :** Boyle's Law

يتناسب التغير في حجم الغاز تناسباً عكسياً مع التغير في ضغطه المطلق إذا ثبتت درجة الحرارة أثناء هذا التغيير .. أي أنه إذا كان :-

t ..... درجة الحرارة = ثابت

V1 ..... الحجم الأبتدائى

V2 ..... الحجم النهائى

P1 ..... الضغط الأبتدائى

P2 ..... الضغط النهائى

فإن ..... $\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}$

أو ..... $V_2 \cdot P_2 = V_1 \cdot p_1$

مثـال :

إذا ضغط هواء بحيث أنخفض حجمه من 150 لتر إلى 12 لتر ، وكان التبريد مؤثراً بحيث لا تتغير درجة الحرارة أثناء الضغط ، أوجد الضغط النهائي إذا كان ضغطة المطلق في البداية هو 1.033 bar ؟

الحـل :

$$P_2 = \frac{b_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$= \frac{1.033 \times 150}{12} = 12.8 \text{ bar} \quad \text{..... ضغط مطلق}$$

2- **قانون شارل :** Charle's law

(أ) عند ثبوت حجم الغاز فان ضغطه المطلق يتناسب تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة .. أي انه إذا كان

V..... حجم الغاز = ثابت

P_1 ..... **الضغط الابتدائي**

P_2 ..... **الضغط النهائي**

t_1 ..... **درجة الحرارة الابتدائية**

t_2 ..... **درجة الحرارة النهائية**

$$\therefore \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{t_1}{t_2}$$

مثـال :

أوجد الضغط النهائى الذي يملأ أسطوانة هواء الإقلاع لأحد محركات الديزل تحت ضغط 30 Bar (مطلق) ، درجة حرارته $70^o c$ ، عندما تنخفض درجة الحرارة إلى $15\ ^\circ C$ ؟

obeikandl.com

الحل :

K = كلفن = 273 C^o

$t_1 = 70 + 273 = 343^o$ K

$t_2 = 15 + 273 = 288^o$ K

$\therefore p_2 = \frac{٣٠ \times ٢٨٨}{٣٤٣} = ٢٥.٢$ bar

(ب) يتناسب حجم الغاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة إذا تمدد أو إنكمش تحت ضغط ثابت أي إنه إذا كان

أ ... ضغط الغاز = ثابت

$$\frac{V_2}{t_2} = \frac{v_1}{t_1}$$

مثال :

يطلق محرك ديزل غازات العادم خلال غلاية ماء مبرد الغازات تحت ضغط ثابت ، فإذا كان حجم الغازات عند دخولها للغلاية هي 32.4 m^3 في الدقيقة ، ودرجة حرارتها عند الدخول320 ^{o} c وعند الخروج200 ^{o} c. أوجد حجمها النهائي عند الخروج ؟

الحل :

$t_1 = 320 + 273 = 593^o$K كلفن

$t_2 = 200 + 273 = 473^o$ K كلفن

$$\mathbf{v2} = \frac{V_1 \cdot t_2}{t_1}$$

$$= \frac{32.4 \times 473}{593} = 25.75 m^3$$

obeikandl.com

3- **القانون العام للغازات** :

تنطبق القوانين النظرية أساساً على الغاز المثالي ، ولا تتبع الغازات الفعلية لهذه القوانين بكل دقة ، إنما يقترب سلوكها العملي إلى حد كبير من هذه القوانين .

وترتبط خواص الغازات الثلاثة التي يتم قياسها مباشرة وهى الحجم والضغط المطلق ، ودرجة الحرارة المطلقة بالقانون العام للغازات التالي- :

$$P.V = M.R.T$$

حيث P ..... **الضغط المطلق للغاز ووحدته** bar

V ..... **حجم الغازات ووحدته** m^3

M ..... **كتلة الغاز ووحدتها** Kg

R ..... **الثابت العام للغازات** = 0.287 KJ/Kg

T ..... **درجة الحرارة المطلقة ووحدتها كلفن** K

مثـال :

اسطوانة محرك ذات حجم $1.8\ m^3$ وضغط الغاز هو 0.35 bar ودرجة حرارته $80^{\circ}C$. أوجد كتله الغاز المحصور داخل الأسطوانة ؟

الحـل :

$$P.V = M.R.T$$

$$M = \frac{p.v}{R.T}$$

$$M = \frac{(1.033+0.35)X1.8}{0.287X(80+273)} = 0.261Kg$$

تعريف النقطتين الميتتين العليا والسفلى :

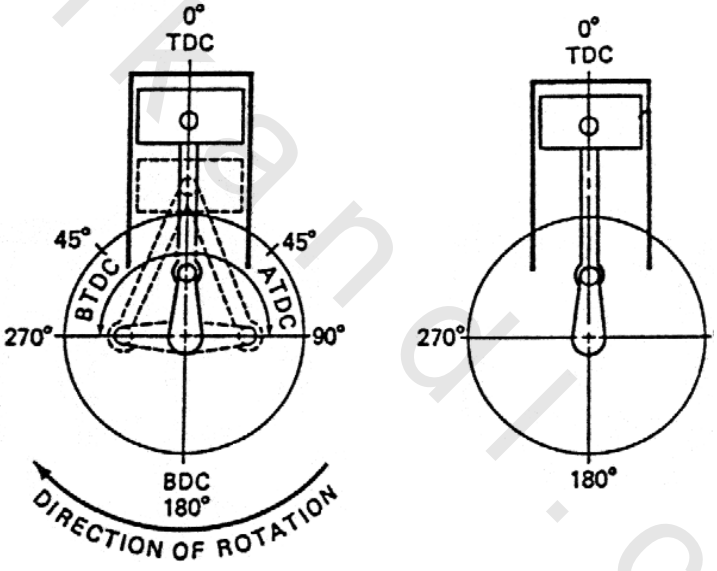
النقطة الميتة العليا (Top dead center) ويرمز لها بالرمز (T.D.C) ،

obeikandl.com

والنقطة الميتة السفلي (Bottom dead center) ويرمز لها بالرمز. (B.D.C)

يستخدم هذين المصطلحين في التعبير عن موقع المكبس أثناء تحركه الحركة الترددية إلى أعلى والى أسفل كآلاتي :-

1. موقع المكبس أثناء تحركه داخل الاسطوانة وارتفاعه إلى أعلى نقطة ، وأساس عمل عمود المرفق وموقعه أيضا كما هو موضح بشكل 2 – 2 ، حيث يكون الخط أو المحور المار بمركز المكبس يمر على طول ذراع التوصيل ويمر بمركز عمود المرفق ، أي على استقامة واحدة ، ويعرف موقعه في هذه الحالة بالرمز (T.D.C) ويلاحظ أن هذه النقطة تقع على قمة الدائرة أي عند (O^o) .

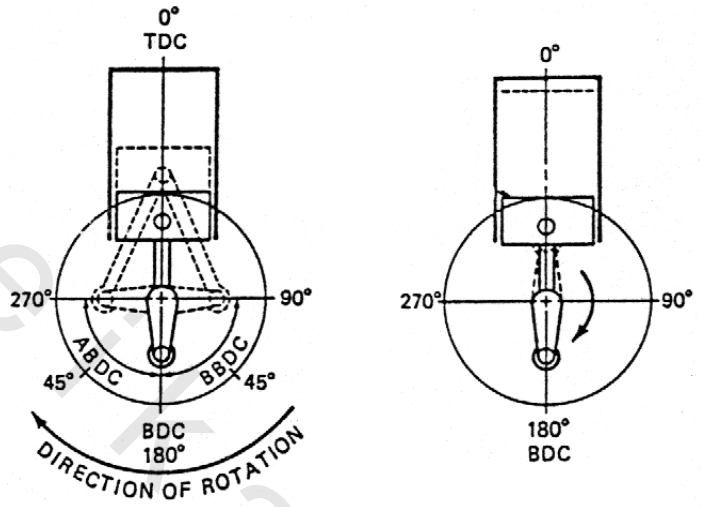


(ب) (أ)

شكل 2 – 2
المكبس عند النقطة الميتة العليا
(أ) المكبس عند النقطة الميتة العليا. (ب) اتجاه دوران عمود المرفق.

2. عند دوران عمود المرفق 180 ° يكون المكبس قد تحرك داخل الاسطوانة إلى أسفل للوصول إلى أدنى موقع له ، حيث يكون الخط المار من مركز المكبس يمر

بذراع التوصيل ومركز عمود المرفق على استقامة واحدة كما هو موضح بشكل 2 – 3 ، ويعرف موقعه في هذه الحالة بالرمز. (B..D.C)



(ب) (أ)

شكل 2 – 3
المكبس عند النقطة الميتة السفلي

(أ) المكبس عند النقطة الميتة السفلي.

(ب) اتجاه دوران عمود المرفق .

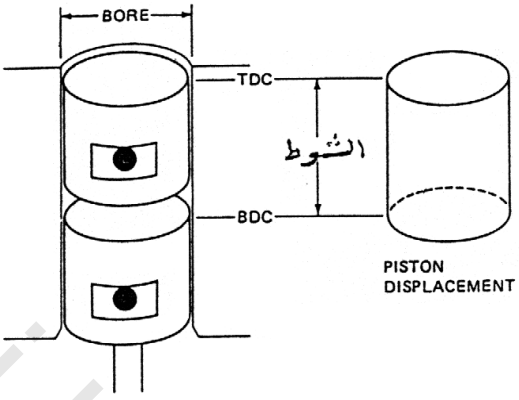
تعريف إزاحة المكبس: piston displacement

هي حجم الهواء والوقود الذي يدفعه المكبس في شوط كامل واحد ، وهو المصطلح الذي يصف حجم المحرك ويعبر عنه بالمليمتر المكعب (mm^3) أو باللتر (L) .

ويمكن حساب إزاحة المكبس من خلال الأبعاد الأساسية ، قطر اسطوانة المحرك (bore) بالمليمتر (m m) ومساحة الاسطوانة بالمليمتر المربع ($m\ m^2$) كما هو موضح بشكل 2 – 4 .

كما يتم التعرف على المسافة التي يقطعها المكبس من النقطة الميتة السفلي

(B.D.C) إلى النقطة الميتة العليا (T.D.C) بالمليمتر ، وتسمى هذه المسافة بالشوط .



شكل 2 – 4
إزاحـة الكبس

مثـال :

اسطوانة بمحرك قطرها 69.85 mm ومسافة الشوط 57.15 mm أوجد حجم الاسطوانة ؟

الحـل :

يمكن الحصول إلى حجم الاسطوانة من المعادلة الآتية :-

$$V = A \cdot h$$

حيث V ..... حجم الاسطوانة بالمليمتر المكعب. ($m\ m^3$)

A ..... مساحة الاسطوانة بالمليمتر المربع. ($m\ m^2$)

h ..... شوط المكبس بالمليمتر. (m m)

كما يمكن الحصول على إزاحة المكبس (p d) من خلال العلاقة التالية :-

حيث pd ..... إزاحة المكبس بالسنتيمتر المكعب (cm^3)

$$Pd = \frac{\Pi d}{4} \times h \times 1$$

باعتبار أن المحرك ذو اسطوانة واحدة

obeikandi.com

$$\therefore Pd = \frac{\prod X(69.85)^2 X57.15 X1}{4}$$

$Pd = 219\ cm^3$

وفى حالة المحرك ذو الأربعة اسطوانات، فإن الإزاحة ستكون :-

$Pd = v.\ h.\ 4$

$Pd = 219 \times 4 = 876\ cm^3$

نسبة الانضغاط: Compression ratio

تعرف بأنها النسبة ما بين الحجم الكلى (TV) للأسطوانة عند النقطة الميتة السفلي (B . D. C)، إلى حجم الأسطوانة عندما يكون المكبس عند النقطة الميتة العليا (T.D.C)ويسمى بحجم الخلوص .(CIV)

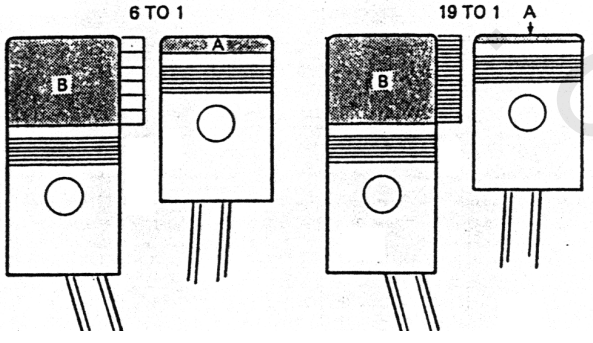
ويوضح شكل 2 – 5 الحجم الكلى للأسطوانة (TV) الذي يرمز له بالرمز B ، ويرمز لحجم الخلوص (CIV) بالرمز A .

ويمكن الحصول على نسبة الأنضغاط (r_c) من خلال العلاقة التالية :-

$$r_c = \frac{TV}{CIV}$$

والحجم الكلى للأسطوانة = حجم الإزاحة + حجم الخلوص

$TV = PdV + CIV$



a **b**

شكل 2 – 5
حجم الأسطوانة عند النقطتين (الميتة السفلي والميتة العليا)

ولو فرض أن الحجم الكلى للأسطوانة هو B وحجم الخلوص هو A (كما هو موضح بالشكل السابق 2 – 5) فإن نسبة الأنضغاط(r_c) تكون كالآتي :-

$$r_c = \frac{TV}{CIV} = \frac{B}{A}$$

أي أن نسبة الأنضغاط (r_c) في الحالة a كما هو موضح بالشكل السابق هي 1 : 6 ، أما نسبة الأنضغاط (r_c) في الحالة b هي 1 : 19 .

مثال :

إذا كانت إزاحة المكبس Pdv هي $220.48\ cm^3$ وكان حجم الخلوص CIV هو ($44.06\ cm^3$)أوجد نسبة الأنضغاط (r_c) ؟

الحل :

$$r_c = \frac{Pdv + CIV}{CIV}$$

$$r_c = \frac{٢٢٠.٤٨ + ٤٤.٠٦}{٤٤.٠٦}$$

r_c = 6 : 1

obeikandl.com

الفصل الثاني

مواصفات وأنواع محركات الاحتراق الداخلي

DESCRIPTION AND TYPES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

تمهيد

يناقش هذا الفصل مواصفات محركات الاحتراق الداخلي .. من حيث دورة التشغيل . عدد الأسطوانات . نظام دورة الاحتراق . ترتيب الأسطوانات . الوقود المستخدم – طريقة توصيل الوقود إلى الأسطوانات .

كما يتناول أنواع محركات الاحتراق الداخلي من حيث الوقود المستخدم وطريقة الاشتعال داخل الأسطوانة .. كمحرك البنزين (محرك الاحتراق بالشرارة) . محرك الديزل (محرك الاحتراق بالضغط) . محرك فانكل ذو العضو الدوار – والتوربين ألغازي ، ومميزات وعيوب كل منهم.

obeikandi.com

وحدات ورموز ومواصفات المحرك

الوحدات والرموز المستخدمة في محركات الاحتراق الداخلي بجدول 2 – 1 ، أما المواصفات فهي الصفات التي يتميز بها المحرك ويعرف بالنسبة لغيره ، وتحتاج المصانع المنتجة لمحركات الاحتراق الداخلي من عملائها لهذه المواصفات قبل البدء في تصنيع الكميات المطلوبة ، لكي تكون المحركات مطابقة للأغراض المطلوبة من أجلها ، وتتخلص هذه المواصفات في الآتي :-

1- دورة التشغيل : أما أن تكون محركات ذات شوطين ،أو محركات ذات أربعة أشواط.

2- عدد الأسطوانات : أما محركات ذات أسطوانة واحدة ، أو محركات ذات أسطوانتين ، أو محركات ذات أربعة أسطوانات ..... وهكذا.

3- دورة الاحتراق : أما محركات تعمل على نظام دورة أوتو،أي دورة الحجم الثابت ، أو محركات تعمل على نظام دورة ديزل ، أي دورة الضغط الثابت.

4- ترتيب الأسطوانات : أما محركات رأسية الوضع ، أو محركات أفقية الوضع ، مفردة التأثير ، أو مزدوجة التأثير.

5- الاستعمال : أما متنقلة مثل المحركات المستعملة في السيارات – الجرارات البواخر – الطائرات ، أو ثابتة كالمحركات المستعملة في محطات القوى الكهربائية .... وما شابهها .

6- الوقود المستعمل : غاز – زيت – بنزين – نفط ..... الخ ، علما بأنه يرجع بأن نوع الوقود المستعمل ، هو من أهم العوامل التي تميز محركات الاحتراق الداخلي عن بعضها البعض .

7- طريقة دخول الوقود : بالمغذى – بالحقن الجاف – بالحقن الهوائي.

obeikandl.com

جدول 2 – 1

الوحدات والرموز المستخدمة في المحركات

ت	الكمية	الرمز	الوحدة	ت	الكمية	الرمز	الوحدة
1	الشغل	W	Nm	18	شوط الكباس	S	mm
2	القدرة	P	K.W	19	القوة	F	N
3	عزم الدوران	M	N.m	20	القدرة الفعالة	Peff	Kw
4	سرعة الدوران	N	r.p.m	21	وزن المحرك	Kg	Kg
5	القدرة البيانية	Pi	Kw	22	درجة الحرارة	T	c^o
6	الضغط P	bar	24	23	درجة الحرارة الأقصى	T max	c^o
7	ضغط السحب	PS	bar	24	زمن الفتح للمصمام	T	S
8	الضغط البياني للكباس	PI	Bar	25			
9	الضغط الفعال للكباس	P eff	Bar	25	حيز الاحتراق	V cm	cm^3
				26	حيز الانضغاط	V c	cm^3
10	الضغط الأقصى للاحتراق	P max	Bar	27	كمية الحرارة	Q	KJ
				28	الكفاءة	η	–
11	الضغط النهائي للأنضغاط	Pc	Bar	29	الكفاءة البيانية	η_1	–
				30	الكفاءة الميكانيكية الكلية	η_m	–
12	حجم الشوط الكلي	Vs	cm^3				
13	السرعة	V	M/s	31	الكفاءة الفعلية	η_{eff}	–
14	السرعة القصوى للكباس	V max	M/s	32	قطر تجويف الأسطوانة	C/	mm
15	السرعة المتوسطة للكباس	V m	M/s	33	مساحة مقطع الأسطوانة	A	cm^3
16	نصف القطر	r	mm	34	عدد الأسطوانات	Z	–
17	حيز الشوط للأسطوانة	Vyc	cm^3	35	مساحة المكبس	A	cm^3

تصميم المحركات رباعية الأشواط :

obeikandl.com

تكتفي المركبات الآلية صغيرة القدرة مثل الدرجات النارية الصغيرة بمحرك ذي أسطوانة واحدة ، وتعمل هذه المحركات عادة تبعاً لدورة ثنائية الأشواط. وتستعمل المحركات أحادية الأسطوانة لدورة رباعية الأشواط في الجرارات ، أما في القدرات الكبيرة فتستعمل محركات متعددة الأسطوانات . وبرفع عدد الأسطوانات تنخفض كتل الموازنة بعمود المرفق ، وتتحسن الكفاية الحجية وسرعة الاحتراق ، كما تؤدى إلى إمكانيات للتبريد أفضل .

تنقسم المحركات تبعاً لترتيب أسطواناتها كما يلي :-

1- محركات مستقيمة : (In Line Motors) وترتيب فيها الأسطوانات في صف واحد.
2- محركات متقابلة الأسطوانات : (Opposed Cylinder Motors) وترتيب فيها الأسطوانات بحيث يكون كل زوج فيها في وضع متقابل.
3- محركات على شكل حرفV : (V-Motors) وترتب فيها الأسطوانات بحيث تصنع فيما بينها (بين محاورها) زاوية قدرها 60^0 أو 90^0 .

المحرك أحادى الأسطوانة :

يستعمل المحرك أحادى الأسطوانة الموضح بشكل 2 – 6 في الدرجات النارية الصغيرة أو عند الحاجة إلى قدرات صغيرة.

مميزات محرك أحادى الأسطوانة :

1- تصميم بسيط .
2- رخيص الثمن نتيجة لانخفاض عدد أجزائه.

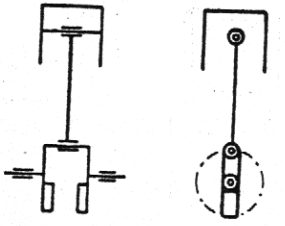
عيوب محرك أحادى الأسطوانة :

1- قدرته المحدودة.
2- دورانه المضطرب.
3- ينجز شوط قدرة واحد لكل دورتين من دورات عمود المرفق.
4- البعد الزاوي للاشتعال (البعد بين شرارتين متتاليتين) 720^o .

openkandil.com

5- كبر أثقال الموازنة

6- كبر كتلة الحافة اللازمة لموازنة المحرك.



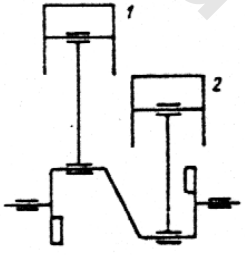
الأسطوانة	الأشواط			
أسطوانة واحدة	الشغل	العادم	السحب	الانضغاط
زاوية عمود المرفق	0°	180°	360°	720°

شكل 2 – 6

المحرك أحادى الأسطوانة

المحرك المستقيم ثنائي الأسطوانات :

المحرك المستقيم الثنائي الأسطوانات هو محرك ذو عمود مرفق ثنائي الحدفة الموضح بشكل 2 – 7 يمتاز هذا المحرك بالتوازن الجيد للكتل ، أما عيوبه فهو عدم انتظام الدوران ، ويعقب كل شوطين شغل شوطين خاليين ، البعد الزاوي بين كل شرارتين بالزاوية هو°180 ،°540 .



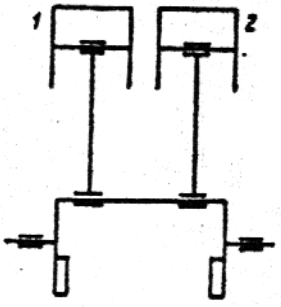
الأسطوانة	الشغل	العادم	السحب	الانضغاط
أسطوانة واحدة	الانضغاط	الشغل	العادم	السحب
زاوية عمود المرفق	0°	180°	540°	720°

شكل 2 – 7

المحرك المستقيم ثنائي الأسطوانات

obeikandl.com

كما يوجد محرك مستقيم ذو أسطوانتين وعمود مرفق بحذفه واحدة كما هو موضح بشكل 2 – 8 دوران المحرك منتظم ، البعد الزاوي بين كل شرارتين بالزاوية المرفقة °360 ، إلا أن عيبه يكمن في حاجته إلى كتل موازنة كبيرة.

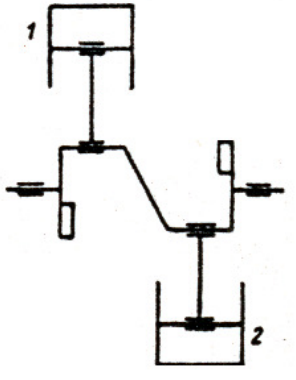


الأسطوانة الأولى	الشغل	العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة الثانية	السحب	الانضغاط	الشغل	العادم
زواية المرفق	0°	360°	560°	720°

شكل 2 – 8
محرك مستقيم ذو أسطوانتين وعمود مرفق بحذفه واحدة

المحرك ذو الأسطوانتين المتقابلتين :

يتميز المحرك ذو الأسطوانتين المتقابلتين الموضح بشكل 2 – 9 بانتظام دوراته وجودة توازن كتله .. لذلك تصمم المحركات ثنائية الأسطوانات غالبا كمحركات متقابلة الأسطوانات.



obeikandi.com

الأسطوانة الأولى	الشغل		العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة الثانية	السحب		الانضغاط	الشغل	العادم
زاوية المرفق	0°	180°	360°	540°	720°

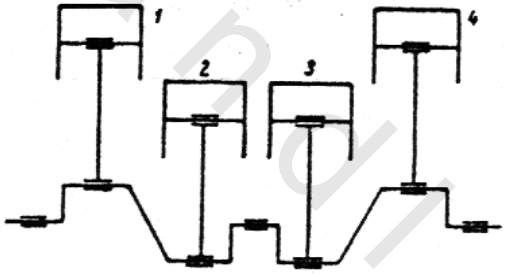
شكل 2 – 9
المحرك ذو الأسطوانتين المتقابلتين

المحرك المستقيم رباعي الأشواط :

تحدد حدافات عمود المرفق تتابع الأشغال في هذا المحرك ، والنسبة للترتيب الموضح بشكل 2 – 10 فإن الاشتعال يمكن أن يتم وفقا لأحد التتابعين التاليين :-

(1 – 3 – 4 – 2) أو (1 – 2 – 4 – 3)

يؤدى هذا الترتيب إلى دوران هادئ للمحرك (البعد الزاوي بين كل شرارتين بالزاويا المرفقة 180^o) ، كما يؤدى إلى توازن جيد للكتل .. لذلك يعتبر هذا المحرك من اكثر التصميمات انتشارا.



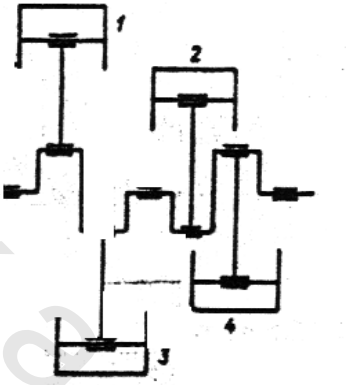
الأسطوانة الأولى	الشغل		العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة الثانية	السحب		الانضغاط	الشغل	العادم
الأسطوانة الثالثة	الانضغاط		الشغل	العادم	السحب
الأسطوانة الرابعة	السحب		العادم	الشغل	الانضغاط
زاوية المرفق	0°	180°	360°	540°	720°

شكل 2 – 10
المحرك المستقيم رباعى الأشواط

obeikandl.com

المحرك رباعي الأسطوانات المتقابلة :

تتابع الاشتعال لهذا المحرك هو (3 – 4 – 2 – 1) شكل 2 – 11 ، ويتميز هذا المحرك بهدوء دورانه ، (زمن التوقيت الزاوي بين كل شرارتين بالزاويا المرفقية هو 180^o) ، كما أن توازن الكتل به جيد ، ويناسب هذا الترتيب من تصميم محرك قصير التبريد بالهواء.



الأسطوانة الأولى	الشغل		العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة الثانية	السحب		السحب	الشغل	العادم
الأسطوانة الثالثة	السحب		الانضغاط	الشغل	العادم
الأسطوانة الرابعة	الانضغاط		الشغل	العادم	السحب
زواية المرفق	0°	180°	360°	540°	720°

شكل 2 –11
محرك رباعى الأسطوانات المتقابلة

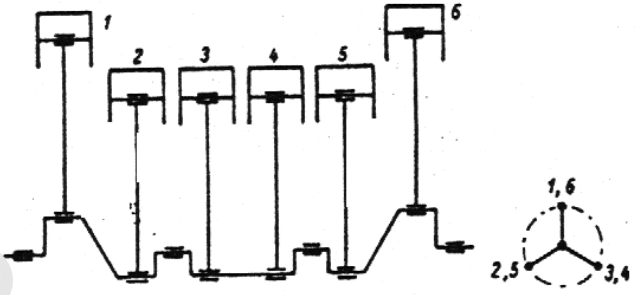
المحرك المستقيم سداسي الأسطوانات :

تصمم المحركات التي تزيد سعتها عن 21 عادة بست (6) أسطوانات ، وترتب هذه الأسطوانات في خط مستقيم ، بينما تكون حذفات عمود المرفق مزاحة عن بعضها البعض بزاوية قدرها 120^o شكل 2 – 12 أما تتابع الاشتعال المألوف في هذه المحركات فهو :–

(4 – 2 – 6 – 3 – 5 – 1) ، وتمتاز هذه المحركات بهدوء دورانها .

obeikandl.com

يبلغ البعد الزاوي بين كل إشعالين متتالين 120° (زاوية مرفقية) ، ويكون دوران المحرك لهذا السبب منتظما وهادئاً جداً ، وعيب هذا التصميم هو كبر طول المحرك.



الأسطوانة الأولى	الشغل	العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة الثانية	العادم	السحب	الانضغاط	الشغل	العادم
الأسطوانة الثالثة	السحب	الانضغاط	الشغل	العادم	السحب
الأسطوانة الرابعة	الشغل	العادم	السحب	الانضغاط	الشغل
الأسطوانة الخامسة	الانضغاط	الشغل	العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة السادسة	السحب	الانضغاط	الشغل	العادم
زاوية المرفق	**360^{0} 0^{0} 240^{0} 120^{0} 480^{0} 600^{0} 720^{0} 60^{0} -180^{0} 300^{0} 420 540^{0} 650^{0}**			

شكل 2 – 12
المحرك المستقيم سداسي الأسطوانات

المحرك حرف V ذو الثماني أسطوانات :

تستعمل المحركات ذات الثمانية أسطوانات عند الحاجة إلى قدرات كبيرة ، ومن الطبيعي أن تكون هذه المحركات طويلة جداً في حالة صناعية أسطوانتها في صف واحد . لذلك فهي تصمم هذه المحركات على شكل حرف V ، وتوضع كل أربعة أسطوانات في صف . تبلغ الزاوية بين صفي الأسطوانات من 60° إلى 90° ويكون

لهذا المحرك عمود مرفق واحد ، ويركب على كل حذفة من حذافات ذراع التوصيل ، وتكون هذه الحذفات التي تقع في مستوى واحد مزاحة بزاوية قدرها 180° .

وقد بدأ منذ بضع سنوات إنتاج محركات على شكل حرف V ذات الأربع والست أسطوانات.

أنواع محركات الاحتراق الداخلي :

تعتبر محركات الاحتراق الداخلية من أهم مصادر توليد القوى ، حيث تتحول بواسطتها الطاقة الحرارية الناتجة عن إحتراق أي نوع من أنواع الوقود إلى شغل ميكانيكي يستفاد به في إدارة الآلات المختلفة المستخدمة في إنتاج المصنوعات النافعة ، مما يعود على البشرية بالخير العظيم .

ويمكن تقسيم محركات الاحتراق الداخلي إلى الأنواع الآتية :-

1- محركات الاحتراق بالشرارة ... (محركات البنزين) .....
Spark ignitions engines .....

2- محركات الاحتراق بالضغط .. (محركات الديزل) .....
Compression ignitions engine .....

3- محرك فانكل ذو القرص الدوار ..... Wangle engine

4- التوربين الغازي ..... The Gas Turbine

تصنيف محركات الاحتراق الداخلي :

تصنف محركات الاحتراق الداخلي من حيث الأشواط إلى الأتي :-

- **محركات رباعية الأشواط :**

هي التي يتم فيها دورة التشغيل في أربعة أشواط للمكبس ، أي أنه يوجد شوط فعال واحد في كل دورتين من دورات عمود المرفق .

- **محركات ثنائية الأشواط :**

هي التي يتم فيها دورة التشغيل في شوطين للمكبس ، أي أنه يوجد شوط

obeikandl.com

فعال فقط في كل دورة واحدة من دورات عمود المرفق.

محرك البنزين

Petrol engine

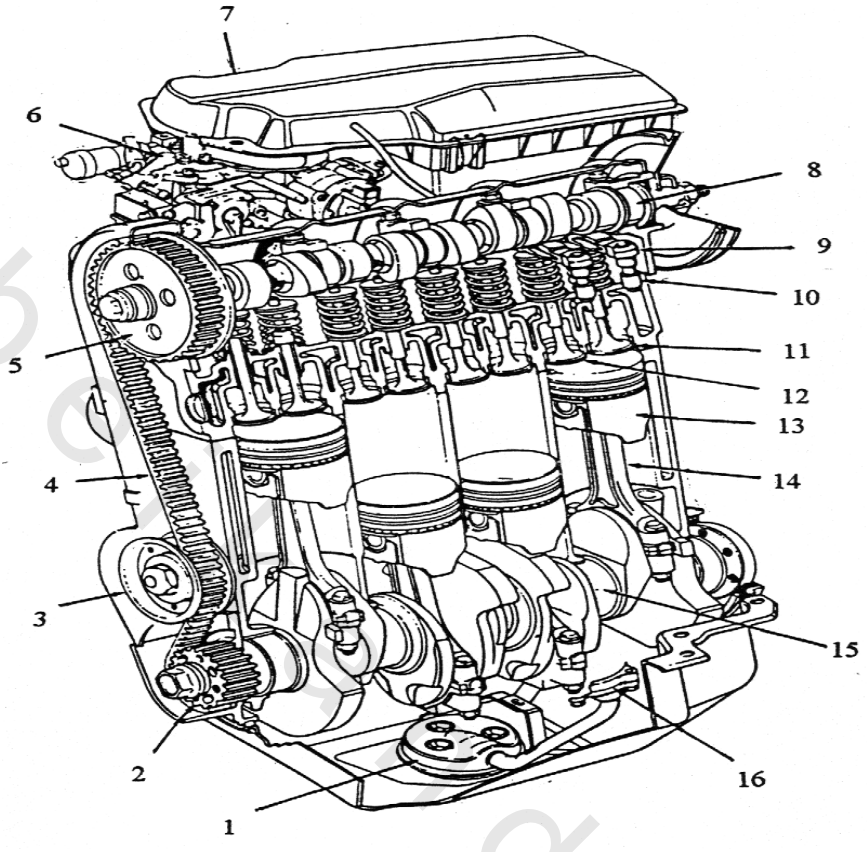
تعتمد محركات البنزين بصفة عامة (رباعية أو ثنائية الأشواط) والمعروفة بمحركات أوتو أو بمحركات الاحتراق بالشرارة على خلط الوقود السائل (البنزين) بالهواء من خلال منظومة ميكانيكية تسمى بالمغذى أو المكرين (Carburettor) ، حيث يصل المخلوط المكون من البنزين والهواء إلى أسطوانات المحرك ، ويتم اشتعال المخلوط بعد ضغطه عن طريق شرارة كهربائية من شمعات الاشتعال ، التي تؤثر على المكبس للحصول على أشواط فعاله .

نسبة الإنضغاط في هذه الحالة تكون محدودة ، حيث يكون الأنضغاط كافياً لارتفاع حرارة الوقود الذي يؤدى إلى سهولة اشتعاله .

يتحول جزء من الطاقة المتولدة إلى طاقة حركة ، بينما يفقد الجزء الباقي على هيئة طاقة حرارية في التبريد والعادم .

شكل 2 – 13 يوضح محرك بنزين ذو أربعة اسطوانات .

Obeikandi.com



شكل 2 – 13 محرك بنزين ذو أربعة أسطوانات

1. مصفى للزيت ... Oil Pickup
2. ترس عمود المرفق Crankshaft Sprock
3. شداد سير التوقيت.... Timing Belt Tension
4. سير التوقيت.... Timing B
5. ترس عمود الحد بات... Cams Sprocke
6. المغذى .. (المكربن) .....Carburetor
7. منقى الهواء ... Air Clean
8. عمود الحدبات..... Camshaft
9. ذراع التأرجح... Rocker Arm
10. منظم هيدروليكي... Hydraulic Adjuste
11. صمام الدخول ... Intake Valve
12. صمام العادم.... Exhaust Valve
13. المكبس... Piston
14. ذراع التوصيل... Connecting Rod
15. عمود المرفق ... Crankshaft
16. مضخة الزيت... Oil Rump

obeikandl.com

محرك البنزين رباعي الأشواط

FOUR – STROKE PETROL ENGINE

يخلط الوقود والهواء في جميع محركات أوتو (محركات البنزين) ، حيث يذرى جزئيا عن طريق المغذى Carbureto ثم يسحب إلى داخل الأسطوانة ، وذلك عند تحرك الكباس إلى أسفل تشتعل الشحنة عن طريق شرارة كهربائية .

ودورة التشغيل في المحرك الرباعي (ذي الأربعة أشواط) ، تحتاج إلى لفتين كاملتين من عمود المرفق ، وهى المسافة التي يقطعها الكباس من النقطة الميتة العليا T.D.Cإلي النقطة الميتة السفلي B.D.C والعكس ، وفى كل شوط يتحرك بتحرك عمود المرفق حركة دائرية قدرها نصف لغة أي 180°.

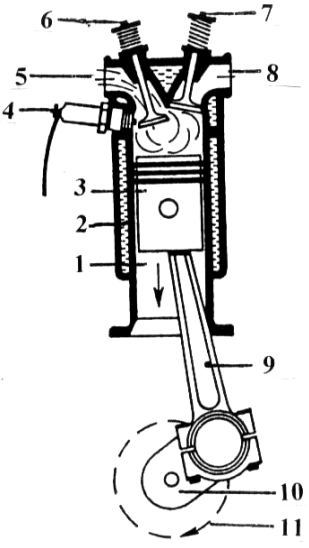
الأشواط الأربعة اللازمة لدورة واحدة لتشغيل محرك البنزين الرباعي هي كالأتي:-

1- **شوط السحب :** Induction Stroke

يتحرك الكباس من T.D.C إلى اسفل شكل 2 – 14 ، حيث يكون صمام السحب (الشفط) مفتوحاً عن طريق عمود الحدبات ، بينما يكون صمام العادم مغلق بتأثير نابض لولبي (ياي) ، ويغلق صمام السحب بمجرد وصول الكباس إلى B.D.C وبذلك ينتهي الشوط الأول . وفى هذه الحالة يكون عمود المرفق قد أتم نصف لغة أي 180°

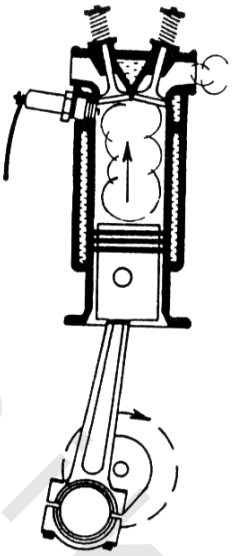
2- **شوط الانضغاط**: Compression Stroke

يتحرك الكباس إلى أعلى من B.D.C إلى T.D.C ، بينما يكون الصمامين (السحب والعادم) ، مغلقين كما هو موضح بشكل 2 – 15 ، حيث يضغط الشحنة (خليط الوقود والهواء) ليرتفع ضغطها وينخفض حجمها ، وحينئذ يكون عمود المرفق قد أتم لغة كاملة أي 360°.



شكل 2 – 14

شوط سحب



شكل – 15

شوط إنضغاط

1. الأسطوانة **2. ماء التبريد**
3. الكباس **4. شمعة الاشتعال**
5. ممر السحب **6. صمام السحب**
7. صمام العادم **8. ممر العادم**
9. ذراع التوصيل **10. عمود المرفق**
11. الحركة الدائرية لعمود المرفق في اتجاه عقارب الساعة

3- **شوط القدرة :** Power Stroke

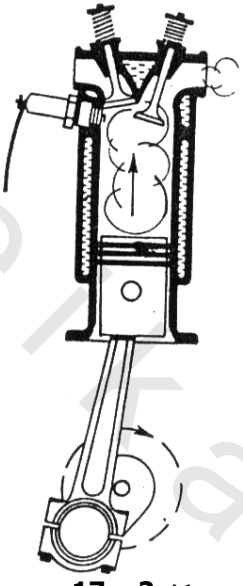
يتم الاشتعال قبل لحظات (بحوالي 10° من عمود المرفق) من وصول الكباس إلى T.D.C عن طريق شرارة كهربائية ، حيث يحترق الخليط ويرتفع ضغطه مع بقاء حجم الشحنة ثابتاً ، حيث تتمدد الغازات بفعل حرارة الاحتراق فيندفع الكباس إلى أسفل كما هو موضح بشكل 2 – 16 بينما يظل الصمامين (السحب والعادم ، مغلقين) . وحينئذ يكون عمود المرفق قد أتم لغة ونصف أي 540°. ويعتبر هذا الشوط الفعال ويسمى بشوط الشغل أو شوط الانتشار.

4– **شوط العادم**: Exhaust Stroke

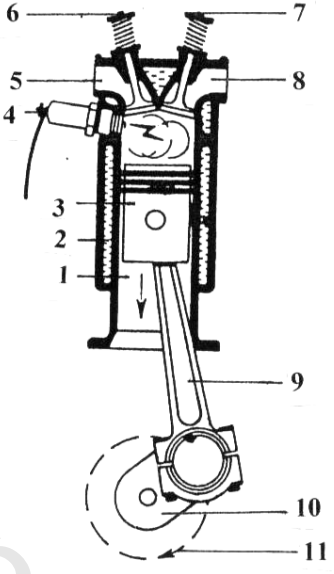
يفتح صمام العادم عند تحرك الكباس من B.D.C إلى أعلى شكل 2 – 17 دافعا

obeikandi.com

أمامه الغازات المحترقة لطردها إلى خارج الأسطوانة ، وبمجرد وصول الكباس إلى T.D.C، يغلق صمام العادم. وحينئذ يكون عمود المرفق قد أتم لغتين كاملتين 720° (بأربعة أشواط) ، أي دورة كاملة من دورات المحرك رباعى الأشواط.



شكل 2 – 17
شــوط العادم



شكل 2 – 16
شــوط القدرة

محرك البنزين ثنائي الأشواط

Two – Stroke Petrol Engine

تستخدم محركات أوتو الثنائية (محركات البنزين الثنائية الأشواط) في المحركات الصغيرة ذات الأسطوانة الواحدة أو الأسطوانة الواحدة أو الأسطوانتين ، مثل الدراجات النارية ، وذلك لبساطة إنشائها والانتظام في تشغيلها.

تزييت محرك البنزين ثنائي الأشواط :

يتم تزييت الأجزاء المتحركة في محرك البنزين ثنائي الأشواط عن طريق مزج كمية قليلة من الزيت مع البنزين ، والنسبة النموذجية لهذا الخليط هي1 : 20.

فكرة محرك البنزين ثنائي الأشواط :

بنيت الفكرة الأساسية لمحركات البنزين ثنائية الأشواط على عدم وجود صمامات بها ، حيث استبدلت الصمامات الموجودة بالمحركات الرباعية الأشواط بفتحات في جدار الأسطوانات بالمحركات ثنائية الأشواط تكشفها الكباسات أو تغطيها .

تتم دورة شغل واحدة لكل دورة واحدة فقط لعمود المرفق (360°) في المحرك ثنائي الأشواط، بينما تتم دورتان لعمود المرفق (360° x2) لاتمام دورة شغل واحدة في المحرك رباعي الأشواط.

الأجزاء الأساسية في محرك أوتو ثنائي الأشواط :

يتكون محرك أوتو (البنزين) ثنائي الأشواط الموضح بشكل 2 – 18 من الأجزاء الأساسية التالية :-

1. **علبة المرفق :** The Oil Case

هي علبة محكمة الإغلاق ، يوجد بها فتحة متصلة بمجرى التوصيل وذلك لتوصيل الوقود والهواء إلى غرفة الاحتراق.

2. **مجرى التوصيل :** Main Fold

متصلة ما بين علبة المرفق الأسطوانة ، لتوصيل المخلوط المكون من الوقود والهواء من علبة المرفق إلى غرفة الاحتراق بالأسطوانة

3. **الكباس** The Piston

يعمل الكباس بوظيفتين هما :-

(أ) له تأثير الكباس العادي في دفع الوقود إلى النقطة الميتة العليا وضغطه.

(ب)تأثير الكباس في محركات الدورة الثنائية كتأثير الصمامات المنزلقة البسيطة في المحركات البخارية ، من حيث التحكم في دخول الشحنة وتصريف غازات العادم.

كما يقوم رأس الكباس ذو البروز بتوجيه مسار الشحنة (المخلوط المكون من الوقود والهواء) إلى أعلى أثناء دخوله إلى الاسطوانة ، وتوجيه مسار العادم إلى فتحة الخروج .

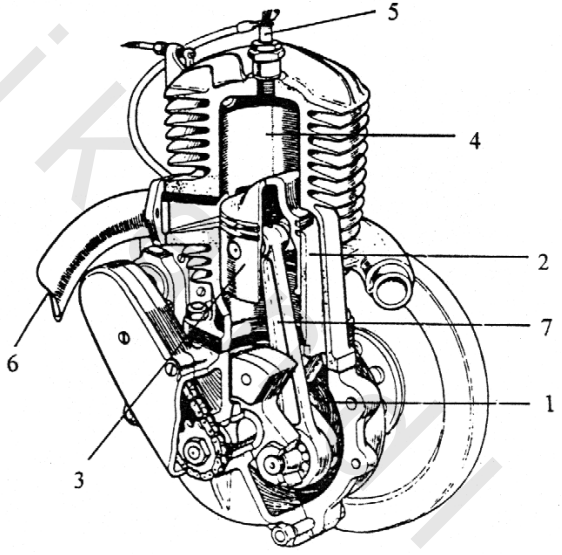
openkanal.com

4. **الأسطوانة :** The cylinder

لا يوجد بها صمامات ، بل هي مجهزة بفتحات في وسطها تقريب ، حيث يتم التحكم في فتح وغلق هذه الفتحات (لدخول الشحنة وخروج العادم) عن طريق حركة الكباس.

5. **شمعة الاشتعال :** Sparkplug

توجد بالجزء العلوي من الأسطوانة ، والغرض منها هو الحصول على شرارة كهربائية ، لاشتعال الخليط المكون البنزين والهواء عند النقطة الميتة العليا.



شكل 2 – 18
محرك بنزين ثنائي الأشواط

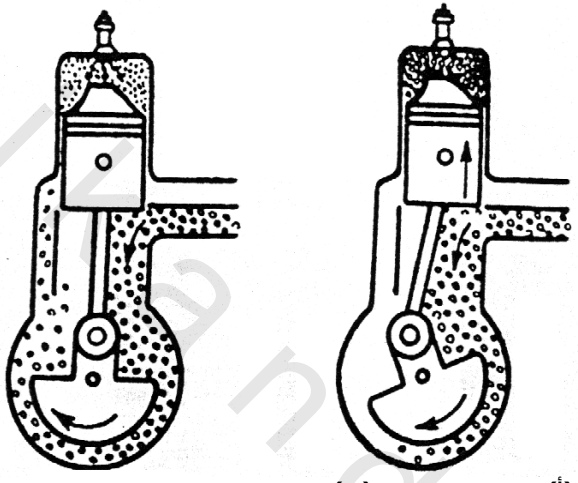
1. علبة المرفق
2. مجرى التوصيل (فتحة دخول الهواء).
3. الكباس.
4. الأسطوانة .
5. شمعة الاشتعال.
6. فتحة خروج العادم.
7. ذراع التوصيل.

أشواط دورة أوتو الثنائية :

الشوطان اللازمان في دورة أوتو الثنائية لإتمام شوط شغل واحدة من خلال دوران عمود المرفق دورة واحدة فقط هما كالأتي :-

الشوط الأول :

عندما يتحول الكباس من أسفل إلى أعلى في اتجاه النقطة الميتة العليا ، ضاغطاً الخليط في حيز الاحتراق ، يكشف جزءه الأسفل فتحة السحب قبل الوصول إلى النقطة الميتة العليا بقليل كما هو موضح بشكل 2 – 19 (أ) ، وحينئذ يدخل الوقود والهواء إلى علبة المرفق المحكمة، وفى هذه الحالة يكون عمود المرفق قد دار نصف لغة شكل 2 – 19 (ب).



(ب) (أ)

شكل 2 – 19

الشوط الأول لدورة أوتو الثنائية

(أ) الإنضغاط في حيز الإحتراق.

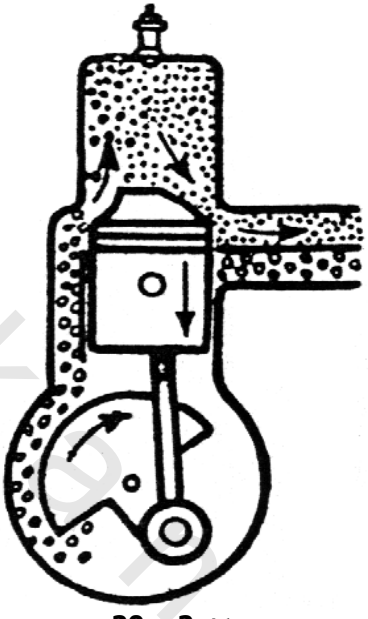
(ب) الإشتعال.

الشوط الثاني :

يتم الاشتعال قبل النقطة الميتة العليا بقليل ، ويدفع ضغط حريق الغازات الكباس إلى أسفل ليتم عمله حيث يغطى فتحة السحب ، وينضغط خليط الوقود والهواء داخل علبة المرفق إنضغاطاً متقدماً .

وقبل الوصول إلى النقطة الميتة السفلي بقليل ، يكشف الجزء العلوي من الكباس فتحة خروج العادم، لتخرج الغازات المحترقة ، كما يكشف في الوقت نفسه مجرى

التوصيل ، حيث يتجه خليط الوقود الهواء من علبة المرفق عن طريق مجرى التوصيل إلى غرفة الاحتراق ، كاسحاً أمامه ما تبقى من الغازات المحترقة لتخرج من فتحة خروج العادم كما هو موضح بشكل 2 – 20 .



شكل 2 – 20
الشوط الثاني لدورة أوتو الثنائية

محرك الديزل

Diesel engine

محرك الديزل الموضح بشكل 2 – 21 يعرف بمحرك الاحتراق بالضغط ، وذلك بسبب الضغوط المستخدمة في ارتفاع درجة حرارة الهواء والتي تصل إلى درجة عالية تكفى لإشعال الوقود ذاتياً.

يتم حقن وقود الديزل عن طريق رشاش متصل بالأسطوانة بعد توريده من مضخة حقن الوقود قبل وصول المكبس إلي النقطة الميتة العليا (Top dead Center) ، حيث تكون درجة حرارة الهواء المضغوط داخل الأسطوانة كافياً لإشعال الوقود ذاتيا ، الأمر

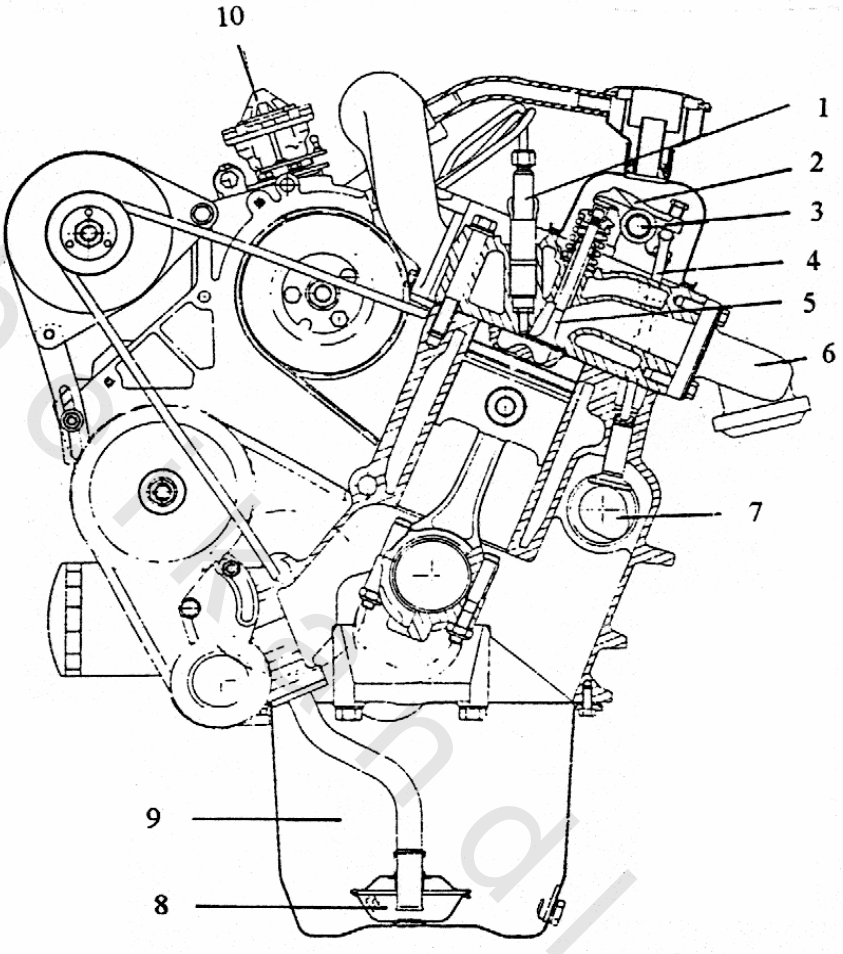
الذي يؤثر على حركة المكبس وبالتالي الحصول على أشواط فعاله .

يتشابه محرك الديزل مع محرك البنزين من حيث تركيب الأجزاء الرئيسية (الأسطوانة – المكبس – ذراع التوصيل – المرفق) إلا أنهما يختلفا من حيث نسبة الإنضغاط ، وطريقة توصيل الهواء والوقود إلى الأسطوانة .

إرتفاع نسبة الإنضغاط تؤدى إلى زيادة كفاءة الوقود الحرارية ، وبالتالي ارتفاع قدرة المحرك الميكانيكية ، وقد أمكن رفع نسبة الإنضغاط في هذه المحركات إلى 1: 22 دون أي خطر من الاشتعال المسبق أثناء إنضغاط شحنه الهواء الخالص والذي يضغط حتى 320 نيوتن / سنتمتر مربع ، مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارته إلى حوالي 600 درجة مئوية ، أي إلى درجة أعلى من درجة اشتعال الوقود ، وتكفى إلى اشتعاله ذاتيا دون استخدام شرارة كهربائية ، لذلك يعرف محرك ديزل بمحرك الاشتعال بالضغط أو بمحرك الاشتعال الذاتي .

تتميز محركات الديزل بارتفاع جودتها واقتصادها في الوقود وإمكانية استخدام أنواع مختلفة من الوقود السائل.

obeikandl.com



شكل 2 – 21
محرك ديزل رباعي الأشواط

1– رشاش الوقود.....ule injector
2– ذراع التأرجح..... Rocer arm
3–عمود التأرجح..... Rocer shaft
4– عمود الدفع..... Push rod
5–صمام العادم..... Exhaust valve
6– مجرى العادم.... Exhaust manifold
7–عمود الحسابات..... Camshaft
8– مرشح الزيت..... Oil Filter
9–خزان الزيت..... Oil panle
10– مضخة الوقو. Fuel iniection Pump

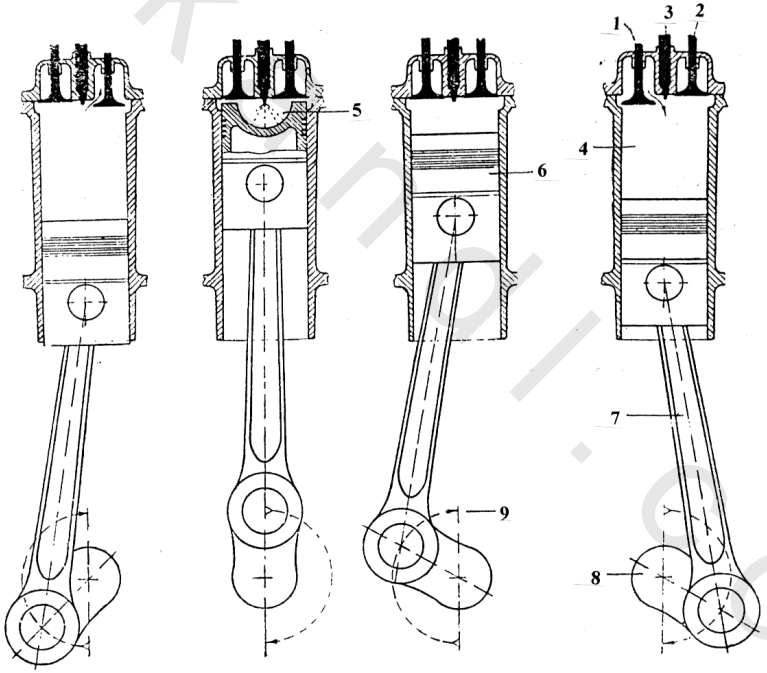
محرك ديزل رباعي الأشواط

Four – Stroke Disel Engine

لا يختلف أداء محرك ديزل رباعي الأشواط عن محرك أوتو الأسطوانات ، ألا من حيث طريقة وصول الوقود والهواء والاشتعال داخل الأسطوانة

شكل 2 – 22 يوضح الأوضاع المختلفة لأشواط محرك ديزل رباعي الأشواط ذي اسطوانة واحدة ، علما بأن جميع محركات ديزل متعددة الأسطوانات ، تتشابه في طريقة تشغيلها . وبدراسة الأوضاع المختلفة لعمود المرفق والكباس والصمامات ، يمكن التوصل إلى طريقة تشغيل المحرك .

فيما يلي عرض تفصيلي لكل ما يحدث في كل شوط على حدة.



شكل 2 – 22

الأوضاع المختلفة لأشواط محرك ديزل رباعي الأشواط ذي أسطوانة واحدة

(أ) شوط السحب
(ب) شوط الضغط
(ج) شوط القدرة
(ء) شوط العادم
1- صمام السحب
2 - صمام العادم

obeikandi.com

3- رشاش حقن الوقود **4- الأسطوانة**
5- غرفة الاحتراق **6- الكباس**
7- عمود التوصيل **8- عمود المرفق**
9- الحركة الدائرية للمرفق في نفس إتجاة حركة عقارب الساعة.

(أ) شوط السحب : The Induction Stroke

يفتح صمام السحب عند تحرك الكباس من T.D.C إلى B.D.C ، بينما يكون صمام العادم مغلق ، وبالتالي يحدث تخلخل (تفريغ) داخل الأسطوانة ، حيث يزداد الحجم وينخفض الضغط عن الضغط الجوى ، ومن خلال فرق الضغطيين يندفع الهواء الجوى إلى داخل الأسطوانة.

وعندما يصل المكبس إلى نهاية مشواره الأسفل B.D.C ، يكون قد تحرك عمود المرفق حركة دائرية قدرها 180° أي نصف لغة ، ويغلق صمام السحب ، وتكون الاسطوانة قد امتلأت بالهواء.

(ب) شوط الضغط : The Compression Stroke

يتحرك الكباس إلى أعلى من B.D.C إلى T.D.C ، ضاغطاً أمامه الهواء داخل الأسطوانة ، بينما يكون كل من صمامي السحب والعادم مغلقان، إلى أن يصل الكباس إلى حيز الخلوص (غرفة الاحتراق) ، وبذلك ينخفض حجم الهواء ليصل إلى 6 % من حجمه الأصلي تقريباً، وبالتالي يرتفع ضغطة ليصل إلى ($300\text{-}400N/cm^2$) وعلية ترتفع درجة حرارته لإشعال الوقود ذاتيا ، حيث يصل درجة حرارة الهواء المضغوط إلى حوالي $900\ C^{\circ}$.

وفى هذه الحالة يكون عمود المرفق قد تحرك حركة دائرية قدرها 360° أي لغة كاملة.

(ج) شوط القدرة : The power Stroke

شوط القدرة – شوط التشغيل – شوط التمدد – الشوط الفعال .. كلها مسميات مترادفة تؤدى إلى نفس المعنى . يبدأ هذا الشوط من T.D.C إليB.D.C ، حيث يكون

Obeikandi.com

كل من صمامي السحب والعادم مغلقان، بينما يحقن الوقود تحت ضغط عالي (بضغط أعلى من ضغط الهواء المضغوط داخل الأسطوانة) عن طريق الرشاش المزود بمنفس متعدد الثقوب ، الذي ينتج عنه تذرية وتوزيع دقيق للوقود، ليتناثر على هيئة رزاز وينشر بالهواء المضغوط والساخن بدرجة حرارة مرتفعة ، فيشتعل الخليط تلقائياً (ذاتياً) ، حيث يتم احتراق الوقود داخل الاسطوانة على مرحلتين هما :-

المرحلة الأولى : The First Stage

في نهاية مشوار المكبس عند T.D.C ، يشتعل الوقود المحقون داخل الاسطوانة تحت حجم ثابت بمجرد امتزاجه بالهواء الساخن ، حيث يرتفع ضغطة مباشرة ليصل إلى حوالي $600\ N/cm^2$

المرحلة الثانية : The Second Stage

يستمر الحقن في حيز بسيط جداً من بداية حركة مشوار الكباس من T.D.C إلى B.D.C ليتم الاحتراق تحت ضغط ثابت ، حيث يتعادل مع الانخفاض في الضغط من خلال زيادة الغازات الناتجة من الاحتراق مع الانخفاض في الضغط ، حيث حركة الكباس إلى اسفل وبالتالي زيادة حجم الانتشار داخل الاسطوانة ، مما يسمح بتمدد الغازات وانخفاض ضغطها.

تنتشر الغازات الناتجة عن الاحتراق بعد توقف حقن الوقود ، ومع اكتمال الاحتراق ، يندفع الكباس بقوة عظيمة إلى B.D.C ، ويسمى هذا الاندفاع بشوط القدرة أو بالشوط الفعال.

في نهاية هذا الشوط يكون قد تحرك عمود المرفق حركة دائرية قدرها لفة ونصف أي .. $540^\circ = 180^\circ + 360^\circ$

(د) شوط العادم : The exhaust Stroke

يفتح صمام العادم قرب نهاية شوط القدرة ، لتتصرف الغازات التي بداخل الأسطوانة ، وتبقى الأسطوانة مملوءة بالغازات الراكدة التي يجب التخلص منها بطردها

obeikandi.com

إلى الخارج .

فعندما يتحرك الكباس صاعداً إلى أعلى من B.D.C إلى T.D.C يعمل على دفع الغازات الراكدة وطردها إلى الخارج من خلال صمام العادم المفتوح ، وعندما يصل الكباس إلى T.D.C ، تكون الغازات قد طردت خارج الاسطوانة ، وبذلك يكون قد تم شوط العادم .

وبانتهاء شوط العادم يكون عمود المرفق قد تحرك حركة دائرية قدرها (2 × 360° X) أي 720° ، أي لغتين كاملتين.

يفتح صمام السحب مرة أخرى ويعود إلى الوضع الموضح بالشكل السابق (أ) للاستعداد لبدء دورة حرارية أخرى ..... وهكذا.

obeikandl.com

محركات ديزل ثنائية الأشواط

Two – stroke diesel engines

لا يختلف محرك ديزل ثنائي الأشواط عن محرك أوتو ثنائي الأشواط ، ألا من حيث دخول الوقود و الهواء وطريقة الاشتعال داخل الاسطوانة .

بنيت فكرة محركات ديزل ثنائية الأشواط على إتمام الدورة الحرارية في شوطين فقط من أشواط الكباس ، أو بمعنى 1آخر في لغة واحدة فقط لعمود المرفق.

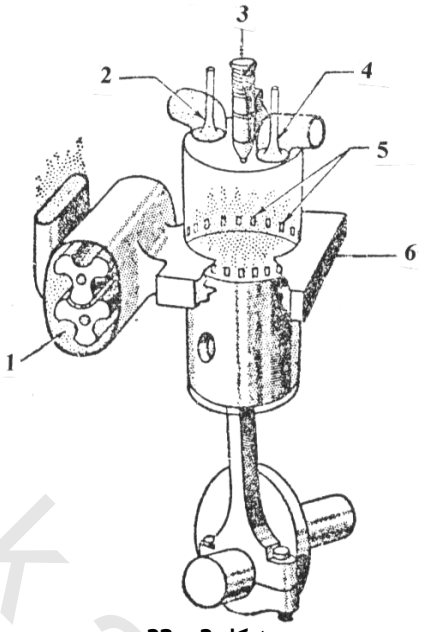
وبناء على ذلك فإن المحرك الثنائي الأشواط ذو السرعة المساوية للمحرك رباعي الأشواط في عدد اللغات في الدقيقة ، له ضعف عدد أشواط التشغيل ، ومن ثم يمكن الحصول منه على قدرة أكبر.

تستخدم مضخة ترسيه لسحب الهواء من الجو ودفعة إلى داخل الاسطوانة بضغط منخفض ، حيث تعمل الفجوات المحصورة بين أسنان الترسين على امتداد الجدار الداخلي لجسم المضخة على سحب الهواء الجوى ودفعة نحو المحرك بالضغط المطلوب.

كما يوجد صمامان في رأسي الأسطوانة (كما هو الحال في المحركات الرباعية تماماً) ، ولكنهما في هذه الحالة عبارة عن صمامين عادم ، بدلا من أن يكون أحدهما صمام عادم والآخر صمام سحب.

شكل 2 . 23 يوضح محرك ديزل ثنائي الأشواط (ذو اسطوانة واحدة) ، ومن خلال التعرف على الترتيب العام لأجزائه ودورته الحرارية ، يمكن تطبيق ذلك على المحرك المتعدد الاسطوانات.

openkandil.com



شكل 2 – 23
محرك ديزل ثنائي الأشواط ذو أسطوانة واحدة

1. مضخة ترسية.

2. صمام عادم.

3. الرشاش

4. صمام عادم.

5. فتحات بجدار الاسطوانة.

6. قميص متصل بمضخة الهواء مباشرة.

أشواط دورة ديزل الثنائية:

الشوطان اللازمان في دورة ديزل الثنائية لإتمام شوط فعال واحد ، من خلال دوران عمود المرفق دورة واحدة فقط هما كالآتي:-

الشوط الأول :

نتخيل أن وضع الكباس في أسفل الاسطوانة عند B.D.C كما هو موضح بشكل 2 – 24 (أ) وعلى وشك الصعود إلى أعلى ، تكون كل فتحات دخول الهواء وصمامات

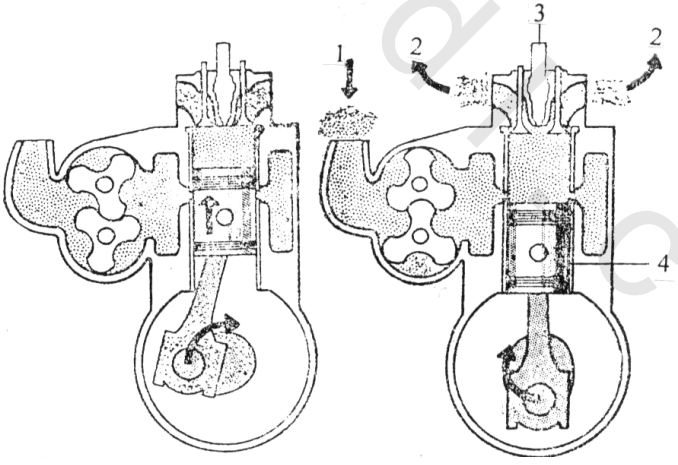
obeikandl.com

العادم مفتوحتان ، بذلك يندفع الهواء من المضخة الترسية إلى الاسطوانة عن طريق الفتحات المتجاورة في جدار الاسطوانة . ويعمل الهواء المضغوط بضغط منخفض على دفع غازات العادم المتخلفة من الدورة السابقة خارج الأسطوانة عن طريق صمامي العادم.

وعندما يتحرك الكباس إلى أعلى قاطعا ما يقرب من ربع الشوط كما هو موضح بشكل 2 – 24 (ب) ، يغلق صمامي العادم كما تغلق فتحات دخول الهواء، حيث يكون الكباس قد غطاها ، في هذه الحالة تكون غازات العادم قد طردت جميعها ، وملئت الأسطوانة بالهواء النقي.

يرتفع الكباس إلى أعلى حيث يعمل على حصر الهواء في حيز صغير عند قمة الأسطوانة.

وقبل وصول الكباس إلى T.D.C يحقن الوقود من الرشاش المزود بمنفس متعدد الثقوب ليناثر الوقود على هيئة رزاز وينتشر مع الهواء المضغوط الساخن فيحترق . في هذه الحالة يكون عمود المرفق قد دار نصف لغة 180°.



شكل 2 – 24
الشوط الأول لدورة ديزل الثنائية
1. دخول الهواء الجوى إلى المضخة الترسية.
2. خروج غازات العادم.

obeikandl.com

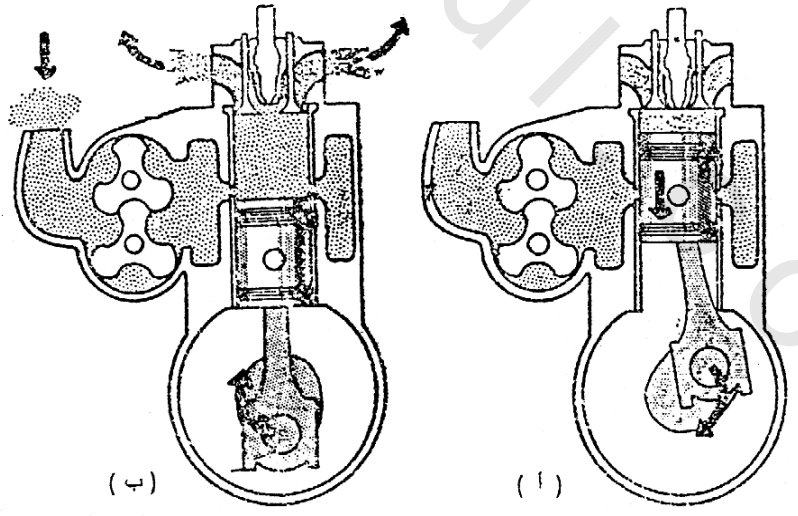
3. الرشاش.
4. المكبس عند النقطة الميتة السفلي.

الشوط الثاني:

تتمدد الغازات نتيجة لاحتراق الهواء الساخن والوقود ، ويدفع ضغط حريق الغازات الكباس إلى أسفل في شوط القدرة (الشوط الفعال) كما هو موضح بشكل 2 – 25 (أ).

وعندما يتحرك الكباس إلى أسفل قاطعاً ما يقرب من $\frac{3}{4}$ الشوط تقريباً ، تفتح صمامات العادم ، لبدء تصريف الغازات المحترقة التي ما زالت ذات ضغط مرتفع قليلا ، حيث تخرج غازات العادم إلى الجو من خلال فرق الضغطين (الضغط داخل الاسطوانة والضغط الجوى).

وعندما يتحرك الكباس إلى أسفل أكثر ، تظهر فتحات دخول الهواء تدريجياً ، ليندفع الهواء النقي المضغوط إلى داخل الأسطوانة شكل 2 – 25 (ب) ونتيجة لذلك تكسح الغازات المحترقة كلية عن طريق صمامي العادم ، وعندما يصل الكباس إلى B.D.C تكون قد اكتملت الدورة الحرارية للمحرك . وفى هذه الحالة يكون عمود المرفق قد تحرك حركة دائرية قدرها 360Ķ أى لفة كاملة . ويبدأ تحرك الكباس إلى أعلى تدريجياً في دورة حرارية أخرى ..... وهكذا.



شكل 2 – 25
الشوط الثاني لدورة ديزل الثنائية

حقن الوقود في محركات الديزل

ينبغي الحصول على أدق توزيع للوقود عند انتشاره مع الهواء الساخن داخل الاسطوانة ، يمكن تحقيق ذلك بعدة طرق مختلفة.

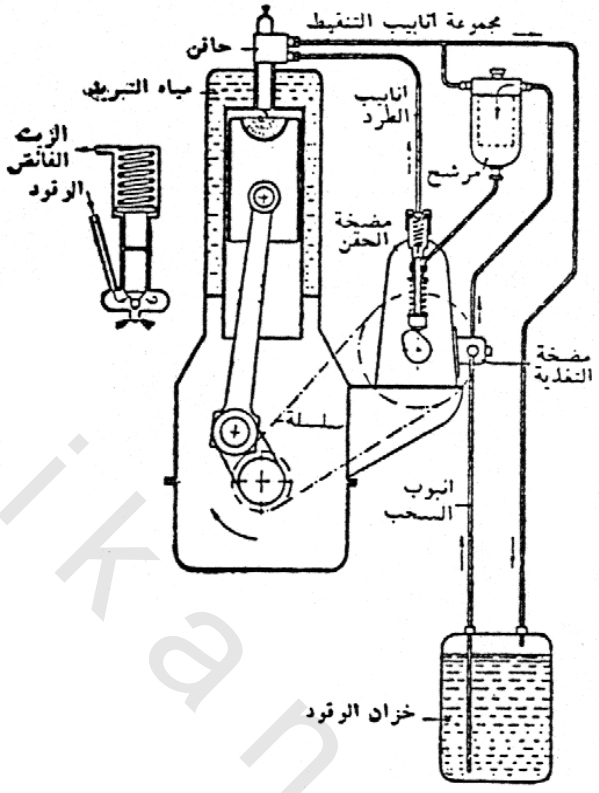
والمحركات التالية هي أكثر أنواع محركات الديزل انتشاراً ، من حيث استخدامها لطرق حقن الوقود Fuel injection ، وذلك وفقاً للتصميم الخاص لحيز الاحتراق بها.

- المحرك ذو الحقن المباشر.
- المحرك ذو الغرفة الدوامة.
- المحرك ذو الغرفة الاحتراق المتقدم
- المحرك ذو الخلية الهوائية .
- المحرك ذو غرفة الاحتراق الكروية المركزية.

يحقن الوقود في جميع أنواع محركات الديزل عن طريق فوهة رشاش (فونية رشاش حقن الوقود) ، وتحت ضغط عالي بحيث يكون أعلى من ضغط الهواء المضغوط داخل الاسطوانة في حيز الاحتراق . وشكل 2 – 26 يوضح رسم تخطيطي لأداء محرك ديزل.

تختلف طريقة الحقن من محرك إلى آخر ، وفقا للتصميم الخاص لحيز الاحتراق بكل منه .. وفيما يلي عرض لكل طريقة على حدة.

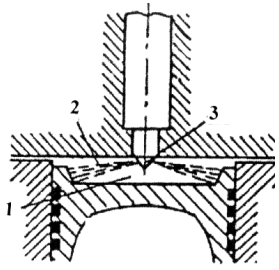
obeikandl.com



شكل 2 – 26
رسم تخطيطي لأداء محرك ديزل ذي حقن مباشر

طريقة الحقن المباشر: The Direct injection method

يقع حيز الانضغاط (غرفة الاحتراق) بتجويف في سطح قمة الكباس ، ويحقن الوقود مباشرة في غرفة الاحتراق ، ويكون الحقن تحت ضغط عالي من خلال منفث متعدد الثقوب شكل 2 – 27 ، حيث ينتج عن ذلك تذرية وتوزيع دقيق للوقود ، ويساعد تشكيل قمة سطح الكباس المجوف من الداخل بشكل دائري ، ووضع فتحة دخول الشحنة على خلط الوقود بالهواء في غرفة الاحتراق.



obeikandl.com

شكل 2 – 27
طريقة الحـقن المباشر

1. تجويف الكباس .

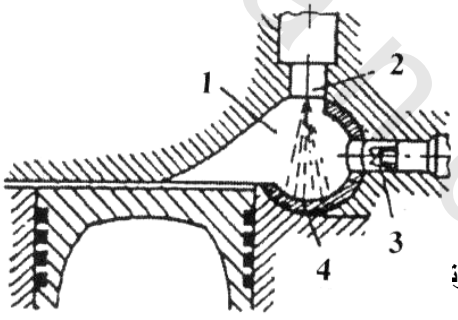
2. حيز الاحتراق (غرفة الاحتراق).

3. فوهة الحقن (الفونية).

الحقن بغرفة الاحتراق الدوامية:

Swirl injection method into combustion chamber

يضطر الهواء إلى الاندفاع في حركة دائرية أثناء انضغاطه نتيجة لتكوين الغرفة الدوامية الكروية الشكل ، والتي تشغل الجزء الأكبر من حيز الانضغاط شكل 2 – 28 ، تتصل هذه الغرفة بقشرة متوهجة التي تساعد على الارتفاع الكبير في درجة حرارة الهواء المضغوط، ومن ثم تنشأ عنه دوامة تعمل على تجزئة دقيقة للوقود المحقون وخلطه مع الهواء ، كما تساعد درجة حرارة جدران الغرفة المرتفعة على تبخر الوقود.



شكل 2 – 28
طريقة الحقن بغرفة الاحتراق الدوامية

1- الغرفة الدوامية.

2- فوهة الرشاش ذات محور الار:

3- الشمعة المتوهجة.

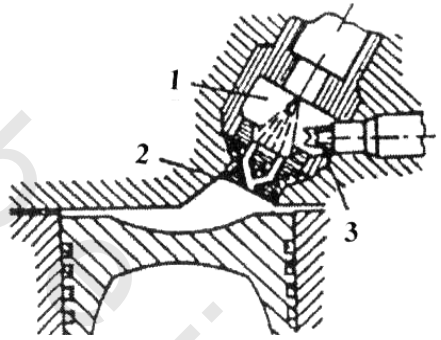
4- القشرة المتوهجة.

الحقن بغرفة الاحتراق المتقدم:

حيز الإنضغاط مقسم ، وزودت غرفة الاحتراق المتقدم بشمعة متوهجة برأس الاسطوانة والتي تتصل بباقي حيز الإنضغاط من خلال فتحة على شكل بوق كما هو موضح بشكل 2 – 29 .

يحقن الوقود في الهواء المضغوط بفرقة الاحتراق المتقدم، من خلال منفث محوري ، حيث يحرق جزءاً فقط بسبب عدم كفاية الأكسجين ، ويتسبب الارتفاع في الضغط

الناشئ عن الاحتراق في تدفق الوقود غير المحترق إلى الأسطوانة ، حيث يخلط جيداً بالهواء المتبقي ويحترق تماماً.



شكل 2 – 29
طريقة الحقن بغرفة الاحتراق المتقدم

1. غرفة الاحتراق المتقدم.
2. فتحة التصريف.
3. الشمعة المتوهجة.

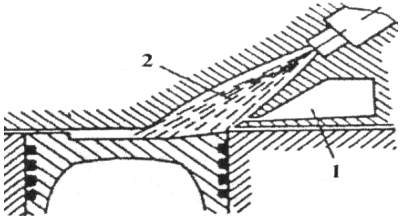
غرفة الاحتراق ذات الخلية الهوائية :

يقسم حيز الخلوص إلى غرفة رئيسية وأخرى جانبية (خلية هوائية) ، وتقع غرفة الاحتراق (حيز الانضغاط) الرئيسية أسفل صمام العادم ، حيث يصب فيها منفث الوقود شكل 2 – 30 .

يدخل جزء من الوقود الذي يقن في نهاية شوط الانضغاط مع الهواء إلى الغرفة الجانبية (الخلية الهوائية) أثناء شوط الانضغاط ، حيث يحرق فيها مسبباً ارتفاعاً كبيراً في الضغط، وتندفع الغازات المحترقة داخل الاسطوانة نتيجة للضغط العالي بالخلية الهوائية (بالغرفة المجاورة) ، وتؤدى إلى استعمال الوقود المتبقى مع الهواء.

يتسبب هذا الفرق في الوقت بالرغم من ضآلته، إلى سير عملية الاحتراق بشكل تدريجي.

تعتبر هذه الطريقة من الطرق القديمة والغير مستخدمة في الوقت الحاضر.



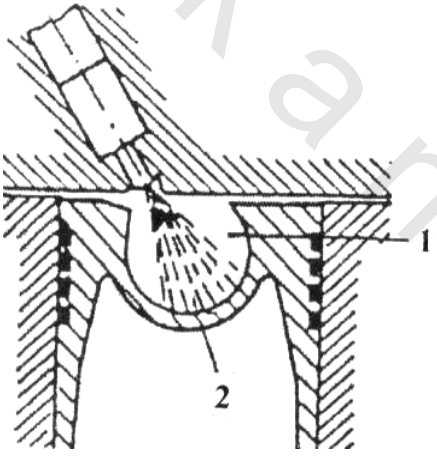
شكل 30 – 2
طريقة غرفة الاحتراق
ذات الخليــة الهوائية

1. **الغرفة الجانبية (الخلية الهوائي).**
2. **اندفاع الوقود من منفث الرشاش.**

غرفة الاحتراق الكروية:

تشكل غرفة الاحتراق كروية الشكل في منتصف سطح قمة الكباس ، وتأخذ قنوات صمام السحب عند دخول الهواء على الاندفاع إلى الغرفة في حركة دورانية.

يحقن الوقود على جدران غرفة الاحتراق الكروية الشكل كما هو موضح بشكل 2 – 31 ، حيث يتكون غشاء وقود على سطح غرفة الاحتراق ، ويتبخر الوقود طبقة تلو الأخرى ثم يخلط الوقود المتبخر مع الهواء المندفع بحركة دائرية في الحيز الكروي ويحترق الخليط ، ويحتفظ الوقود المحترق أيضاً بنفس الحركة الدورانية أثناء اندفاع الكباس إلى أسفل في شوط القدرة.



شكل 2 – 31
طريقة غرفة الاحتراق الكروية

1.غرفة الاحتراق الكروية الشكل
2. اندفاع الوقود من منفث الرش

نظام تغذية الوقود في محركات الديزل

تحتوى منظومة تغذية الوقود في محركات الديزل على الوقود . الخزان . منقيات الهواء والوقود . الرشاشات . منظم حقن الوقود . أنظمة الشحن الهوائية

يتناول هذا الموضوع الأجزاء التي لم تناقش من قبل ، كل منها على حدة.

الوقـود:

الوقود السائل الذي يستعمل في محركات الاحتراق الداخلي يحضر بتقطير زيت

obeikandl.com

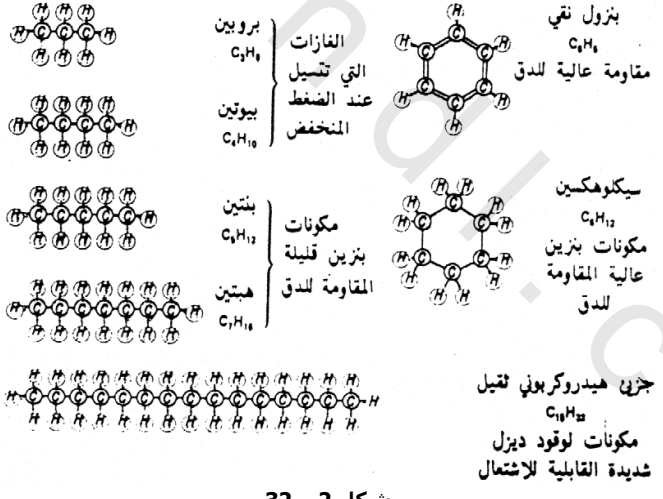
البترول الخام الذي يستخرج من آبار البترول.

وتختلف زيوت الديزل كثيراً في خواصها وعلى ذلك يختلف تأثير كل منها عندما تحترق في المحركات ، وعندما نتعرف على هذه الخواص، سوف نعلم كيف يؤثر كل منها على تشغيل المحرك.

التركيب الكيميائي للبترول:

يتكون البترول من عدة مركبات عناصرها الأساسية هي الكربون (رمزه الكيميائي C) والهيدروجين (رمزه الكيميائي H).

تترتب ذرات الكربون والهيدروجين في جزيئات، أما في صورة حلقات أو في صورة خطوط مستقيمة ، أو على شكل سلاسل متفرعة شكل 2 – 32 ، وتكون الجزيئات ذات السلاسل الطويلة سهلة الاشتعال، بينما تكون مقاومتها للدق صغيرة لذلك فإنها تناسب محركات الديزل ، أما الجزيئات الحلقية التركيب أو التي على شكل سلاسل متفرعة فهي ذات مقاومة عالية للدق وتناسب محركات أوتو.

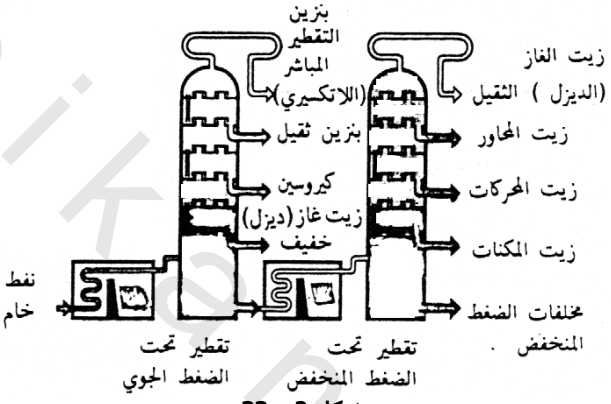


شكل 2 – 32
التركيب الجزئي الهيدروكربوني للوقود

تقطير النفط الخام :

يسخن النفط الخام في فرن تقطير أنبوبي كما هو موضح بالرسم التخطيطي بشكل

2 – 33 ، وترتفع درجة حرارته حتى يكاد أن يتبخر، ثم يدخل برج التجزئة، وفيه تتكثف الأبخرة الصاعدة إلى أعلى البرج مرة أخرى متحولة إلى سوائل . وتتكثف المكونات ذات درجات الغليان المرتفعة في أسفل البرج ، وتلك التي تكون درجات غليانها أقل في أعلى البرج ، وتسحب السوائل ذات مجالات درجة الغليان المختلفة من المستويات المتعددة ، أما المكونات ذات مجالات درجة الغليان العالية جدا والتي تختلف أثناء عملية التقطير سائلة في أسفل البرج ، فإنها تقطر مرة أخرى تحت ضغط منخفض.



شكل 2 – 33
تقطير النفط الخام

الشروط الواجب توافرها في وقود الديزل:

أهم الشروط الواجب توافرها في وقود الديزل الخاص بتشغيل المحركات هي الآتي –:

1. القيمة الحرارية.
2. القدرة الميكانيكية.
3. النقاوة الكيميائية.
4. حالة الاشتعال.
5. التطاير.
6. الرواسب الكربونية.
7. مقدار الكبريت والمياه والمواد الغريبة.
8. نقطة الاشتعال.
9. التدفق.
10. الوزن النوعي

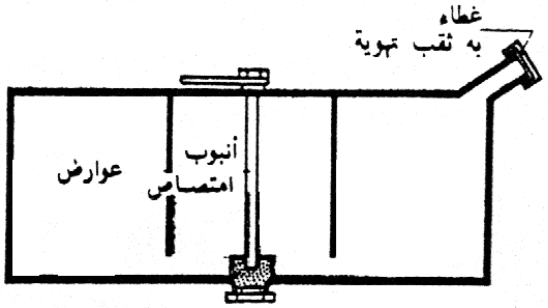
الخـزان :

يصنع خزان الوقود الموضح بالرسم التخطيطي بشكل 2 – 34 من ألواح الصلب ، ويبطن سطحه الداخلي بالرصاص ، أو بطبقة من الطلاء لمنع تكون الصدأ . توجد عوارض بها فتحات لتدفق الوقود ولكي تمنع تموج الوقود بالخزان أثناء سير المركبة في المنعطفات.

يحتوى غطاء فوهة الخزان على ثقب ، الغرض منه هو السماح بدخول الهواء لمنع انخفاض الضغط نتيجة سحب الوقود بالخزان.

تركيب مصفاة في أسفل أنبوب ملئ الخزان لمنع تسرب الشوائب العالقة بالوقود إلى داخل الخزان ، كما يوجد مسمار سداسي الرأس (طبة) في قاع الخزان لتفريغ الوقود عند الحاجة إلى ذلك.

obeikandi.com



شكل 2 – 34
خـزان الوقـود

مضخة الوقود:

يوضع خزان الوقود عادة في مستوى منخفض بالنسبة للمحرك ، ومن البديهي أن المضخة تقوم بسحب الوقود من الخزان بجانب عملها الأساسي وهو دفع الوقود إلى المرشح ، ومنه إلى منظم الحقن ، لذلك فإن وظيفة هذه المضخة تتشابه مع وظيفة المضخة ذات الغشاء المستخدمة في محركات أوتو.

تستخدم مضخة التغذية ذات المكبس (مضخة بوش) في محركات الديزل وتعتبر المضخة الأكثر انتشارا.

مضخة تغذية الوقود بوش:

مضخة تغذية الوقود بوش الموضحة بالرسم التخطيطي بشكل 2 – 35 تعمل على النحو التالي:-

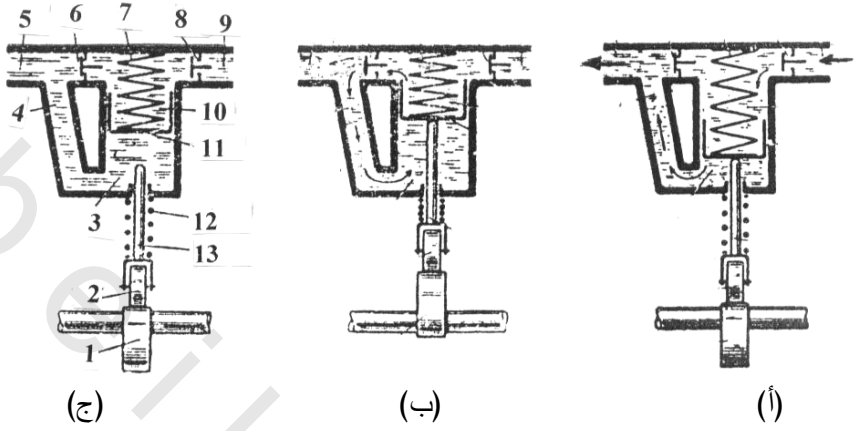
(أ) يصل الوقود من المدخل 9 حيث يدفع النابض (الياي) 7 ليدفع المكبس 11 إلى اسفل ، الذي يؤدى إلى فتح الصمام9 لسحب كمية الوقود ، بينما يدفع الوقود الذي بأسفل المكبس بسبب نقص الحيز3 إلى مضخة الحقن عبر قنوات الاتصال 4،5.

(ب) عند دوران الحدبة 1 لتصل إلى وضعها العلوي يضغط المكبس على النابض (الياي) 7 ، حيث يغلق الصمام 8 ويندفع الوقود من الصمام 6 إلى الممر 5.

ولما كان هذا الحيز متصل بالجزء 3 من خلال قناة الاتصال 4 فإن الوقود ينتقل ويصعد مع المكبس ويعود ازدياد الضغط في الممر 5 من جديد أثناء هبوط المكبس ، حيث يغلق الصمام 6.

obeikandi.com

(ج) عند دوران الحدبة 1 لتصل إلى وضعها الأسفل ، يضغط النابض 7 على الكباس لدفعة إلى أسفل ليفتح الصمام 8 ويندفع الوقود المسحوب نتيجة للتخلل الداخلي.



(أ) (ب) (ج)

شكل 2 – 35
مضخة تغذية الوقود بوش

1– حدبة.
2– محمل تدحرجي.
3– حيز قاع المضخة.
4– ممر... (قناة اتصال).
5– ممر ... (قناة اتصال) لخروج الوقود .
6– صمام .
7– نابض لولبي (ياي ضغط).
8– صمام
9– ممر دخول الوقود.
10– الحيز الداخلي للمكبس.
11– المكبس.
12– نابض لولبي (ياي ضغط).
13– ساق دفع.

أنظمة الشحن الهوائية.

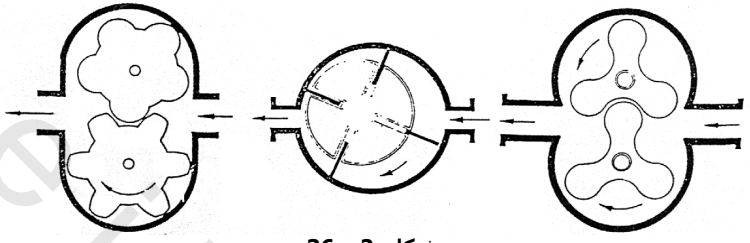
في محركات الاحتراق الداخلي وخاصة محركات الديزل يتم ضغط الهواء ، أو مزيج الهواء والوقود (بالنسبة لمحركات أوتو) قبل دخوله في أسطوانات المحرك ، عن طريق الضواغط Compressors ، حيث يتم تشغيل هذه الضواغط بواسطة دوران أعمدتها بمساعدة عمود المرفق Crank Shaft لضخ الهواء أو مزيج الهواء والوقود.

تتواجد مضخات الهواء في محركات البنزين خلف المغذى (المكربن) ، أما في محركات الديزل فتوجد إلى جانب المحرك.

obeikandl.com

ضواغط الهواء .. Air Compressors

تستخدم الضواغط ذات التروس أو ذات المكابس أو ذات الزعانف في محركات الاحتراق الداخلي شكل 2 – 36 وهي كلها ذات تركيب بسيط ولها عمر خدمة كافي وسرعة دورا نية كبيرة لضخ الهواء.



شكل 2 – 36
ضـواغط الهـواء

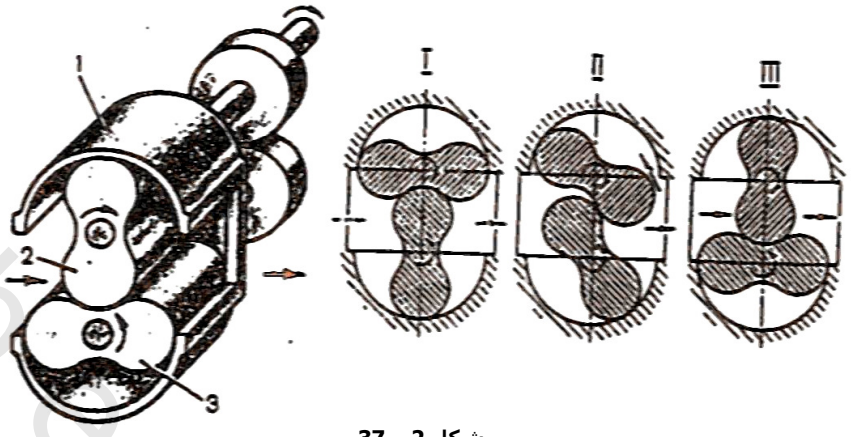
مضخة الهواء ذات التروس :

المضخة ذات التروس الموضحة بشكل 2 – 37 فيها جسم الضاغط 1 الغير دوار في داخله يدور الجزء 2 لجهة معاكسة تماما لدوران الجزء 3 ، وعند دورانها لا يتلامس أحدهما مع الآخر ، ويضمن ذلك مجموعة محامل (كراسي تحميل) التي ترتكز عليها أعمدة الجزئيين 2 ، 3 .

ويلاحظ بالشكل 43 دوران الجزئيين 2 ، 3 من الحالة ⌶ إلى الحالة ، ∏ الجزء الأسفل 3 قد ضغط حجما معيناً من الهواء إلى جهة الخروج في هذا الوقت يكون أحد طرفي الجزء 2 قد أنتقل إلى موقع آخر بعيداً عن فتحة الخروج بسبب انخفاض الضغط وتستمر العملية في المرحلة لطرد الهواء.

وقد تكون الأجزاء الدائرية 2 ، 3 متكونة من ثلاثة أسنان كما في بعض محركات الاحتراق ذات الشوطين . بصورة عامة يثبت جسم المضخة بشكل جانبي للمحرك ويستمد حركته الدورانية من ترس خارجي يتعشق مع ترس خارجي آخر مثبت على عمود المرفق ، وتكون نسبة نقل الحركة ما بين عدد دورات عمود المرفق إلى عدد دورات عمود المضخة.

obeikandl.com

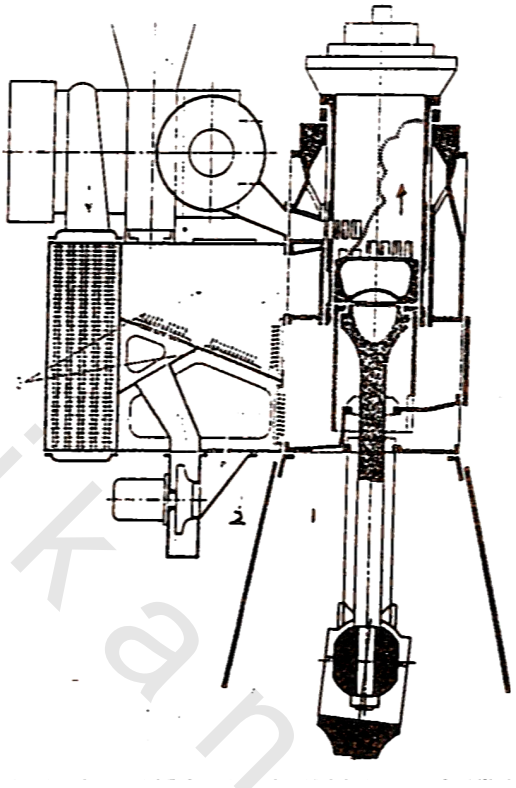


شكل 2 – 37
المضخة الترسية

مضخة الهواء ذات المكبس :

توجد ضواغط الهواء ذات المكبس شكل 2 – 38 وهو النوع الشائع الاستخدام في محركات الاحتراق الداخلى (الديزل) للسفن والبواخر ، وتمتاز هذه المضخة بكفاءتها العالية ومتانتها ، ولا تعانى هذه المضخة من اختلافات كبيرة في الضغط عند عملها بسبب السرعة الدورانية ، ولكنها تمتاز بصعوبة تركيبها وتكلفتها العالية وباستهلاكها لكمية كبيرة من الزيت وعدم نقاوة الهواء المضغوط عن طريقها للمحرك ، وبكتلتها الكبيرة الغير متزنة.

obeikandl.com



شكل 2 – 38
مضخة الهواء ذات المكبس

فيما يلي الجداول 2 – 2 إلي 2 – 5 توضح المقارنة بين محركات البنزين ومحركات الديزل ومزايا وعيوب كل منها ، ومقارنة بين المحركات الرباعية والثنائية.

obeikandl.com

جدول 2 – 2
مقارنة بين محركات البنزين ومحركات الديزل

وجه المقارنة	محركات البنزين	محركات الديزل
الوقود المستخدم	بنزين مرتفع الثمن ، ذو درجة اشتعال (450° C – 550° C) ذو رقم أوكتان عالي. وهو ذو خطر كبير للحريق معدل استهلاك الوقود محرك ذو مكربن ثنائي الأشواط 400 – 6oog/ /kWh محرك ذو مكربن رباعي الأشواط 280 – 340 g / kWh	الديزل رخيص الثمن ، ذو درجة اشتعال (350° C – 380° C) ذو رقم سـتيان عـالي. وهـو ذو خطـر صـغير للحريق. معدل استهلاك الوقود محـرك ثنـائي الأشـواط 360 - 370 g/kWh محـرك السفـن 200 - 340g / kWh
تكوين الخليط (الشحنة)	يكون أما خارجيا بواسطة تذرية الوقود في غرفة الخلط داخل المكربن. أو حقن الوقود في مثقب السحب. أو داخلياً بواسطة حقن الوقود في الاسطوانة أثناء شوط السحب أو شوط الضغط.	يتم خلط الوقود مع الهواء داخل اسطوانة المحرك حيث أنه يمتص هواء خالص خلال شوط السحب ، بينما يحقن الوقود في غرفة الاحتراق قبل نهاية شوط الانضغاط على شكل رذاذ بضغط مرتفع من الرشاش.
نسبة الانضغاط الضغط النهائي للأنضـــغاط درجة الحرارة النهائية للانضغاط	من 6 إلى12 من 8bar إلى 18 bar من 400° C إلى 600° C	من 14 إلى 22 من 30 bar إلى 55 bar من 700° C إلى 900° C
عملية الاحتراق	احتراق عند حجم ثابت (نظرياً) يكون الحجم ثابتاً تقريباً طوال عملية الاحتراق	احتراق تحت ضغط ثابت (نظرياً) يكون الضغط ثابتاً تقريباً طوال عملية الاحتراق

الموازنة الحرارية (قيم متوسطة)	ماء التبريد 33% عوادم وإشعاع 36% احتكاك 7% الشغل المستفاد 24%	ماء تبريد 32% عوادم وإشعاع 29% احتكاك 7% الشغل المستفاد 32%
الكفاءة المستفادة	22% : 30%	32%: 40%
درجة حرارة غازات العادم عند الحمل الكامل	700 ^{o} c : 1000 ^{o} c	500 ^{o} c : 600 ^{o} c
الحد الأقصى لسرعة الدوران	4000 rpm.....10000 rpm	1500 rpm .....5000 rpm
نسبة الوزن إلى القدرة	2kg/kW.... 6kg/kW	5kg/kW.....95 kg/kW
نسبة القدرة إلى الحجم	22 kw/L..... 55kw/L	7 kw/l .....30 kw/l
زيادة نسبة الانضغاط	تؤدى إلى زيادة الكفاءة زيادة نسبة القدرة إلى الحجم تقليل معدل الاستهلاك النوعي للوقود زيادة الانضغاط يحددها رقم الأوكتان للوقود (خطر ظاهرة الفرقعة في المحرك)	تؤدى إلى زيادة الكفاءة زيادة درجة حرارة الهواء تأخير الإشعال قليلاً زيادة الانضغاط يحددها مقدار التحمل الواقع على مجموعة نقل الحركة وكذلك وزن المحرك
الاقتصـــاد	غير اقتصادية حيث أنها تستهلك وقوداً تزيد نسبته كثيراً عند الأحمال الخفيفة	اقتصادية عند الأحمال الصغيرة فمثلاً عند دوران المحرك بنصف حمل فإنه يستهلك من الوقود نسبة تزيد بمقدار 10% مما يلزم لكل وحدة قدرة عند الحمل الكامل.

opelkanal.com

جدول 2 – 3
مميزات محركات البنزين وعيوب محركات الديزل

وجه المقارنة	محرك بنزين	محرك ديزل
الحجم	صغر الحيز الذي يشغله	كبير المحرك بفرض إن القدرة متساوية في الحالتين
الوزن	خفيف الوزن	كبير الوزن نسبياً
السعر	أقل نسبياً	أعلى سعراً لارتفاع ثمن مكوناته
الصيانة	تكاليف الصيانة أقل، حيث إن أكثر أجزاء المحرك تحتاج إلى صيانة عادية وخاصة المغذى ومنظومة الاشتعال	تكاليف الصيانة اكبر لأن أجزاء المحرك تتطلب صيانة دقيقة ومنتظمة خاصة لمضخة ورشاشات الحقن
طبيعة الدوران	هدوء دوران المحرك	خشونة دوران المحرك وما يسببه من اهتزازات وهذا هو سبب قلة استخدامه في المركبات الصغيرة.

جدول 2 – 4
مميزات محركات الديزل وعيوب محركات البنزين

وجه المقارنة	محرك الديزل	محرك البنزين
الوقود المستخدم	رخيص الثمن – استهلاكه اقل لنفس القدرة	غالى الثمن. استهلاكه أكثر لنفس القدرة
الجودة الحرارية	أكبر نسبياً (حوالي 35%)	اقل نسبياً (حوالي 25%)
عزم الدوران	اكبر نسبياً وقيمنه ثابتة تقريباً عند السرعات البطيئة ولذلك فإن قوة السحب اكبر عند تساوى القدرة	أقل نسبياً
خطر الحريق	اقل احتمالا لأن درجة اشتعال وقود الديزل اكبر نسبياً	أكثر احتمالا لانخفاض درجة اشتعال البنزين .
الغازات العادمة	قليلة الخطورة لاحتوائها على نسبة قليلة من أول أو كسيد الكربون	خطرة وسامة لاحتوائها على غاز أول أو كسيد الكربون

جدول 2 – 5
مقارنة بين المحركات الرباعية والمحركات ثنائية الأشوط

المحركات رباعية الأشواط	المحركات ثنائية الأشواط
1- دورة شغل واحدة تتم فى دورتين لعمود المرفق .(أربعة أشواط للكباس)	1- دورة شغل واحدة تتم في دورة واحدة لعمود المرفق .(شوطين للكباس)
2- المحرك يكون أكبر حجما لنفس القدرة	2- المحرك يكون أقل حجماً لنفس القدرة.
3- نسبة الوزن إلى قدرة المحرك أكبر من 2.5 kg / kw إلى 6.5 kg /kw	3- نسبة الوزن إلى قدرة المحرك من 2.5 kg/kw إلى 4 kg/kw
4- نسبة القدرة إلى الحجم من 20 kw/l إلى 50 kw /l	4- نسبة القدرة إلى الحجم من 25 kw/l إلى 45 kw /l
5- سرعة الدوران للشحن تتراوح من 3000 rpm إلى 5000 rpm نسبة الشحن من 70 % إلى 80% ويبلغ الضغط الفعال pedd = 7 bar ... 10 bar	5- سرعة الدوران للشحن من 4000 rpm إلى 6000 rpm ، نسبة الشحن من 50 % إلى 70 % ويبلغ الضغط الفعال pedd = 3 bar ... 5 bar
6- معدل الاستهلاك النوعى للوقود من 280 g/kw.h إلى 430 g/kw.h	6- معدل الاستهلاك النوعى للوقود من 400 g/kw.h إلى 600g/kw.h
7- عزم الدوران غير منتظم نظراً لأن دورة الشغل تكون من شوط شغل واحد وثلاثة أشواط خالية من الشغل	7- عزم دوران منتظم ومن ثم يعطى قدرة سحب أفضل .في حالة سرعة عدم التحميل (عند دوران المحرك بدون تعشيق التروس)
8- تجهيز العادم أكثر بساطة في التصميم لا يشاهد دخان احتراق في العادم	8- تجهيز العادم أكثر صعوبة في التقسيم وأكثر حساسية ، يشاهد دخان احتراق بالعادم.

obeikandi.com

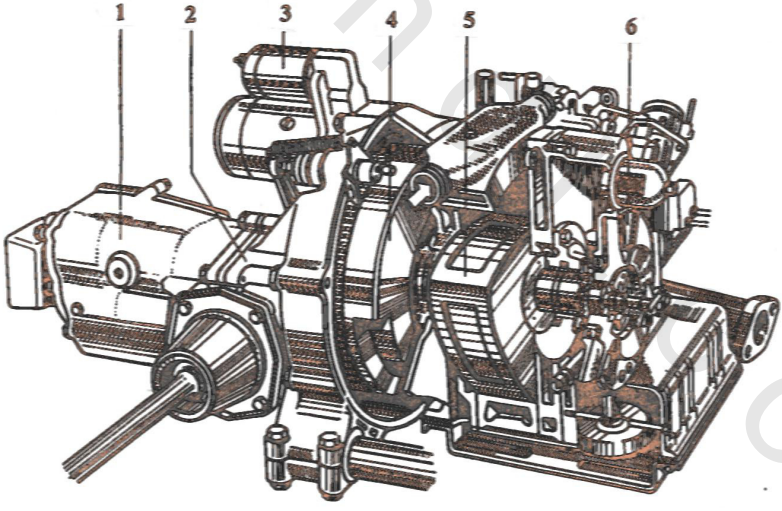
محرك فانكل ذو العضو الدوار

The rotary Vankle engine

يعتبر محرك فانكل ذو العضو الدوار من محركات الاحتراق الداخلي ، تتم دورته الحرارية في أربعة مراحل مشابهة لدورة أوتو الرباعية الأشواط ، وفى دورة واحدة من دورات عمود الإدارة ، كما هو الحال بعمود المرفق في المحركات الثنائية ، وتتكرر ثلاث مرات (بعدد أوجه العضو الدوار) لكل عضو دوار.

وهو محرك ذو حركة دائرية ، ولا يصنف بعدد الأسطوانات كما هو الحال في محركات الاحتراق الداخلي ذات المكابس الترددية ، إذا إنه لا يحتوى على اسطوانات ومكابس وأذرع توصيل... الخ ، ولكنه يصنف بعدد الأعضاء (الوحدات) الدوارة ، ويعرف بالمحرك ذو العضو (القرص) الدوار ، أو ذو العضوين (القرصين) الدوارين ، أو ذو الثلاثة أو الأربعة أعضاء دوارة.

شكل 2 – 39 يوضح محرك فانكل ذو عضو (قرص) دوار.



شكل 2 – 39
محرك ذو عضــو دوار

1. صندوق التروس.

2. مجموعة إدارة المحاور الخلفية.

3. بادئ الحركة.

4. مجموعة القابض والحدافة.

5. العضو الدوار المثلث الشكل.

6. أثقال موازنة.

استخدام المحرك ذو العضو الدوار:

يستخدم المحرك ذو العضو (القرص) الدوار (Rotary injection engine) الذي اخترعه الدكتور الألماني فيليكس فانكل (Felix Wankel) في السيارات الصغيرة والجرارات والزوارق البحرية ومضخات المياه ، وقد أنتشر المحرك ذو الوحدتين (العضوين الدوارين) في سيارات المازدا اليابانية بعد شراؤها حق التصنيع من الشركة الألمانية N.S.U كما بدأ انتشار هذه المحركات في بعض السيارات الأوربية والأمريكية.

مكونات المحرك ذو العضوين الدوارين :

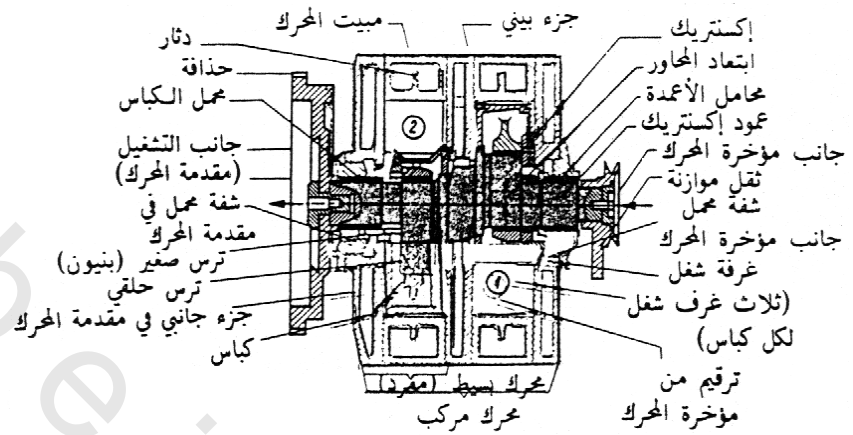
لا يوجد اختلاف ملحوظ بين المحرك ذو العضو الدوار ، والمحرك ذو العضوين الدوارين ، إلا من حيث عدد الأعضاء (الأقراص الدوارة) فقط.

يحتوى المحرك ذو العضوين الدوارين على الأتي :-

1- مبيت المحرك:

يتكون مبيت المحرك الموضح بشكل 2 – 40 من ستة أجزاء باستثناء الغطاء، يتم تثبيت جميع الأجزاء بواسطة شدادات ملولبة ، أما الغطاء فيربط بالجزء الجانبي (في مؤخرة المحرك) بواسطة مسامير ملولبة بحيث يكون بينهما مانع تسرب.

obeikandl.com



شكل 2 – 40

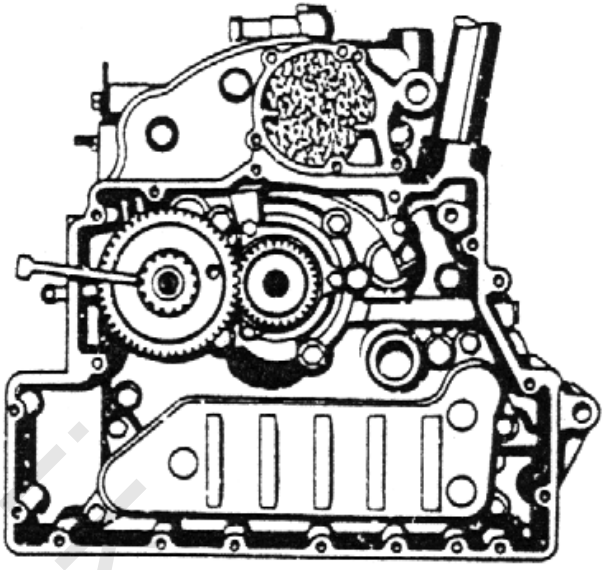
مكونات المحرك ذو العضوين الدوارين

2- جانب مؤخرة المحرك:

يعرف بالجزء الجانبي الموضح بشكل 2 – 41 ، ويوجد في مؤخرة المحرك . يفصل غرفة التشغيل ويعمل كحامل لكراسي التحميل ، كما يعمل كدليل محوري لعمود الإدارة اللامركزي.

يصنع من حديد الزهر، ويصلد لمنع البلى (التآكل) ، ويجلخ لضمان استوائه وجودته وعدم تسربه للغاز.

obeikandl.com

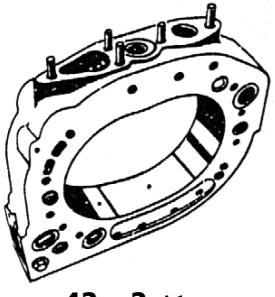


شكل 2 – 41
جانب مؤخرة المحرك

3. **الدثار:** Water Jacket

يسمى بقميص التبريد شكل 2 – 42 . الجهة الداخلية له تؤدى نفس وظيفة الاسطوانة ، ورأس الأسطوانة في المحرك الترددي ثنائي الأشواط ، وهو لا يشكل مسار دوراني للكباس فقط ، بل أنه يقوم بمهمة التحكم في الغازات.

أما الجهة الخارجية له فتؤدى وظيفة المبرد حيث تمتلئ بماء التبريد الذي يعمل في دورة مغلقة.



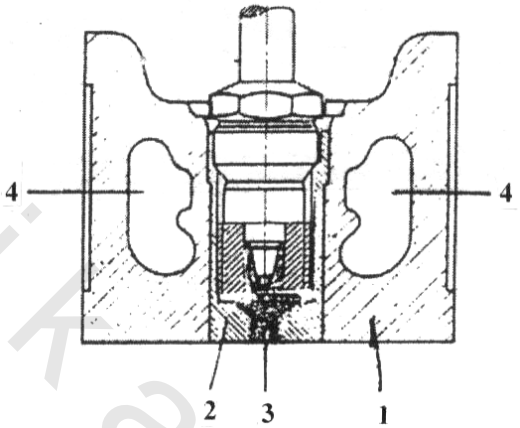
شكل 2 – 42
الدثار .. (قميص التبريد)

يصنع الدثار من سبيكة الألمونيوم نظراً لجودة تبديدها للحرارة ، ويخرط مبيت

obeikandi.com

الكباس بطريقة النسخ باستخدام قالب معايرة.

يولج درع حراري من النحاس داخل الدثار بطريقة الانكماش ، وتثبيت شمعة الإشعال بهذا الدرع ، ويسرى ماء التبريد حول الدثار كما هو موضح بشكل 2 – 43 مما يساعد على تحسين عملية تبديد الحرارة.



شكل 2 – 43
مسـقط جانبي للدثار

1. **سبيكة المونيوم.**
2. **درع (حشية من النحاس)**
3. **شمعة الاشتعال.**
4. **مسار ماء التبريد.**

4- الجزء البيني (المتوسط):

يوجد الجزء البيني (المتوسط) الموضح بشكل 2 – 44 في المحركات المتعددة الأقراص فقط ، وهو يشكل أسطح غلق لغرف التشغيل من الداخل ، ويسري بداخلة ماء التبريد .

يصنع الجزء البيني (المتوسط) والأجزاء الجانبية من نفس معدن الأجزاء السابقة وبنفس جودة إنجاز الأسطح.

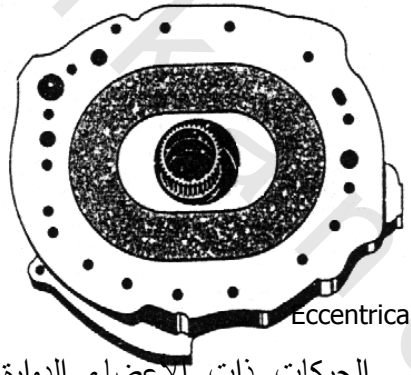
obeikandi.com

شكل 2 – 44
الجزء البيني (المتوسط)

5- جانب مقدمة المحرك:

يتشابه جانب مقدمة المحرك الموضح بشكل 2 – 45 مع جانب مؤخرة المحرك من حيث تركيبة ووظيفته.

يفصل الجزء الجانبي بمقدمة المحرك جانب التشغيل عن القابض ، وهو يحمل شفة المحمل في مقدمة المحرك بواسطة الترس الثابت ، الذي يتدحرج عليه التسنين الداخلي للعضو الدوار (الكباس) للقيام بوظيفة التحكم



شكل 2 – 45
جانب مقدمة المحرك

6- المجموعة اللامركزية : Eccentrically group

تتناظر المجموعة اللامركزية في الحركات ذات الاعضاء الدوارة مع وظيفة مجموعة المرفق في المحركات ذات الكباسات الترددية.

تتكون المجموعة اللامركزية من أجزاء رئيسية (عمود إدارة لا مركزي – الكباسات – أثقال موازنة) وهى كالأتي :-

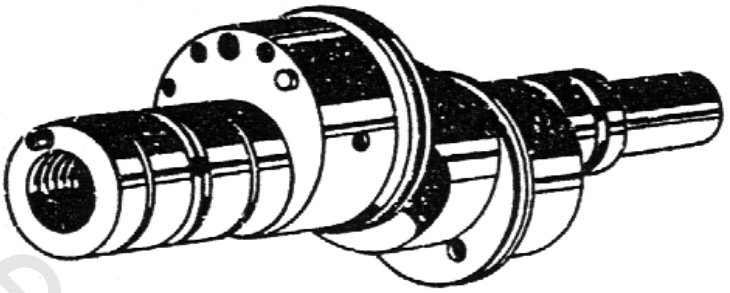
(أ) عمود الإدارة اللامركزي :

عمود الإدارة اللامركزي الموضح بشكل 2 – 46 يقوم بوظيفة عمود المرفق في المحركات الترددية ، ويحتوى على محورين لا مركزيين يصنعان فيما بينهما زاوية قدرها 180°.

يحمل عمود الإدارة اللامركزي أثقال موازنة ، وبكرة لنقل الحركة بالسيور إلى

obeikandl.com

مضخة المياه والمروحة ومولد التيار والمضخة الهيدروليكية ، كما يحمل ترس لإدارة كل من مضختي الوقود والزيت وموزع الشرر.



شكل 2 – 46
لمجموعة اللامركزية

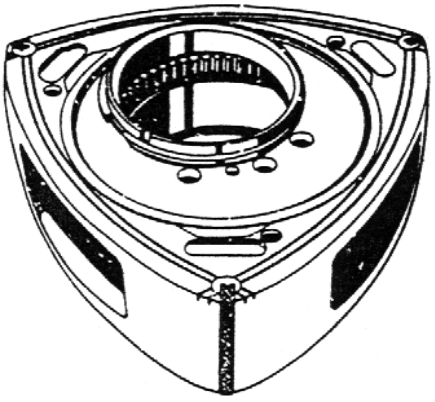
(ب) العضو الدوار (الكباس) : **The rotary Part**

العضو الدوار – القرص الدوار – الكباس .. كلها مسميات مترادفة . تصنع الأقراص الدوارة (الكباسات) الموضحة بشكل 2 – 47 من حديد الزهر المطروق ، وتحمل على عمود الإدارة اللامركزي بواسطة محامل كبيرة.

يتنقل عزم الدوران الناشئ عن ضغط الشغل من الأقراص الدوارة مباشرة إلى عمود الإدارة اللامركزي.

يتم التحكم في حركة الأقراص الدوارة بواسطة مسننات بحيث تتحرك أركانها على المنحنى الداخلي للمبيت ، وتوجد هذه المسننات في الترس الحلقي في جانب القرص والمثبت به بواسطة مسامير قلاووظ ، كما توجد تجاويف في جوانب القرص يؤثر حجمها على نسبة الانضغاط.

obeikandl.com



شكل 2 – 47
العضــو الدوار (الكــباس)

موانع التسرب :gaskets

ظل منع التسرب من غرف الاحتراق ومن غرف الزيت بالمحرك ذو القرص الدوار هو المشكلة الأساسية لفترة طويلة ، إذ أن الغرف المطلوب إحكامها ليست أسطوانية الشكل ، كما هو الحال في المحركات الترددية.

ولقد تطلب ذلك إجراء تجارب عديدة لمنع التسرب دون عيوب ، وقد توصل العلماء إلى تصميم هذه المحركات التي زودت بثلاثة مجموعات لمنع التسرب وهى كالأتي :-

(أ) مانع تسرب نصف قطري (شعاعي) :

يوجد بين القميص والقرص الدوار (الكباس) ، وهو يتم بواسطة شرائح منع تسرب تثبت بخلوص ضئيل داخل مجارى في أركان القرص الدوار.

تصنع شرائح منع التسرب من المعدن والخزف وتسمى فيروتيك Ferrotic في صورة شرائح مجزأة، لإمكان معادلة تغير الشكل بالحرارة ، حيث تضغط هذه الشرائح على مسار الدوران بالدثار (الجزء ألبيني للمبيت) بواسطة نابض (زنبرك) عند بدء التشغيل عن طريق ضغط الغازات أثناء تشغيل المحرك.

(ب) مانع تسرب أسطح الجبهات :

يتم منع التسرب من أسطح الجبهات أو منع التسرب الجانبي من كل

obeikandl.com

جبهة للقرص الدوار بواسطة شرائح منع التسرب ، حيث تتضغط مع جبهة القرص الدوار (الكباس) على الجدار الجانبي للمبيت بواسطة ضغط الغازات.

(ج) مانع تسرب داخلي :

يتم منع التسرب الداخلي للزيت بين الحيز الداخلي للقرص الدوار (الكباس) وغرف التشغيل ، بواسطة مانع تسرب خاص بالزيت يتكون من جزأين ، يتم في الجزء الأول منع تسرب الزيت المركزي والشعاعي المحوري (بين القرص الدوار والمبيت) بواسطة حلقة بالقرص ذات نابض مقوس ، والجزء الثاني عبارة عن حلقات لمنع تسرب الزيت بين عمود الإدارة اللامركزي والأجزاء الجانبية للمبيت.

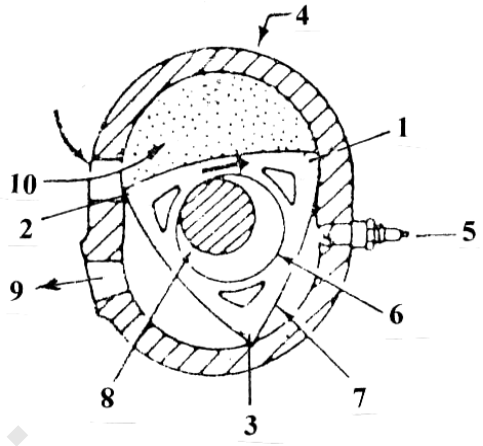
أداء المحرك ذو العضو الدوار :

تتم دورة تشغيل المحرك ذو العضو (الكباس) الدوار في أربعة أشواط حقيقية ، حيث تنفصل أطوارها عن بعضها البعض انفصالاً واضحاً.

وتتم عمليات سحب الشحنة (خليط الوقود والهواء) والانضغاط ، والتمدد ، وطرد غازات الاحتراق (العادم) من خلال تأثير حركة جوانب القرص الدوار ذو الشكل المثلث وفيما يلي عرض للأشواط الأربعة.

(أ) شوط السحب :

يبدأ شوط السحب بعد عبور الرأس 1 فتحة دخول الشحنة كما هو موضح بشكل 2 – 48 ، حيث يزداد حجم الحيز المقابل للوجه 1 ، 2 وينخفض الضغط كلما دار القرص الدوار ليعمل على التخلخل الناشئ اسحب الشحنة (الهواء والبنزين) من المغذى ، ويستمر السحب حتى يغلق الرأس 2 فتحة الدخول تماماً ، وفى نفس الوقت تتضغط الشحنة أمام الوجه 1 ، 3 وكذلك تطرد غازات الاحتراق (العادم) من أمام الوجه 2 ، 3.



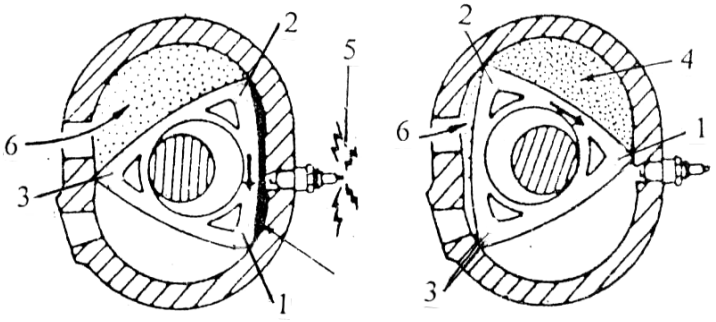
شكل 2 – 48
شـوط السحـب

1. **رأس العضو الدوار.**
2. **رأس العضو الدوار.**
3. **رأس العضو الدوار.**
4. **غلاف العضو الدوار.**
5. **شمعة الاشتعال.**
6. **قرص التحميل.**
7. **العضو الدوار.**
8. **المحور اللامركزى لعمود الإدارة.**
9. **فتحة خروج العادم.**
10. **فتحة دخول الشحنة.**

(ب) شوط الانضغاط :

يصغر الحيز المقابل للوجه 1 ، 2 نتيجة للحركة الدائرية للقرص (الكباس) ، حيث ينخفض الحجم ويرتفع الضغط إلى أن يصل إلى أقصاه عند الوضع الموضح بشكل 2 – 49 وتحدث الشرارة الكهربائية التي تؤدى إلى اشتعال الشحنة .. (كما يحدث عندما يصل المكبس إلى النقطة الميتة العليا T.D.C في شوط الانضغاط في المحركات الترددية).

obeikandl.com



شكل 2 – 49
شــوط الانضــغاط

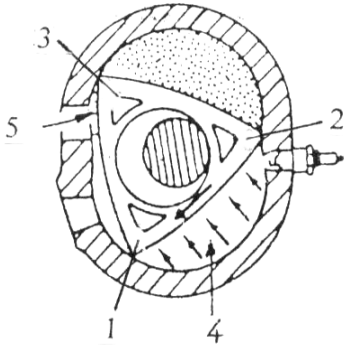
1. رأس العضو الدوار. **2. رأس العضو الدوار.**

3. رأس العضو الدوار. **4. صغر الحيز المقابل للوجه 1 ، 2 نتيجة للحركة الدائرية للقرص الدوار، حيث ينخفض الحجم ويرتفع الضغط.**

5. الشرارة الكهربائية من شمعة الاشتعال. **6. دخول الشحنة.**

(ج) شوط القدرة:

يبدأ اشتعال الشحنة عند الوضع الموضح بالشكل السابق بواسطة الشرارة الكهربائية التي تحدث عند تلك اللحظة حسب توقيت الاشتعال ، وتسلط الغازات الناتجة عن الاحتراق ضغطها المرتفع على هذا الوجه مسببة دوران القرص (الكباس) لإنجاز شوط قدرة ، وهو الشوط الفعال شكل 2 – 50.



شكل 2 – 50
شــوط القدرة

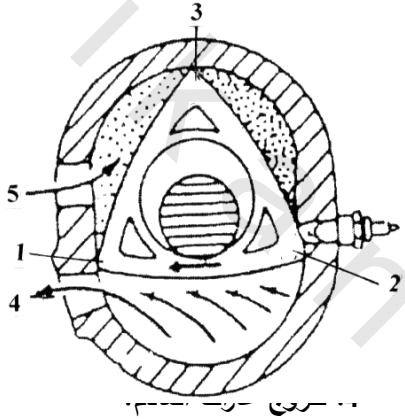
1. رأس العضو الدوار. **2. رأس العضو الدوار**

3. رأس العضو الدوار. **4. ضغط مرتفع مسبب دوران العضو بسبب اشتعال الشحنة لإنجاز شوط القدرة.**

5. فتحة دخول الشحنة.

(د) شوط العادم :

يزداد حجم الحيز المقابل للوجه 1 ، 2 وينخفض الضغط تدريجياً إلى أن يصل الرأس 1 إلى فتحة خروج العادم كما هو موضح بشكل 2 – 51 حيث تندفع الغازات نتيجة لفرق الضغطيين إلى الجو، ويعمل هذا الوجه على طرد غازات العادم.



شكل 2 – 51
شـــوط العادم

1. رأس العضو الدوار.

3. رأس العضو الدوار.

5. دخول شحنة جديدة.

وهكذا يكون المحرك قد أنجز دورة تشغيل كاملة (الأشواط الأربعة) . ليبدأ في دورة أخرى جديدة.

مميزات محرك فانكل ذو العضو الدوار:

باعتبار أنه تم التوصل إلى أقصى حد ممكن لأداء المحركات التقليدية ذوات الحركة الترددية ، فقد استحدث الدكتور/ فيليكس فانكل (Felix Wankel) ، محرك احتراق داخلي الذي يتميز بالمقارنة بالمحركات الترددية بالآتى :-

1. التأثير المباشر لضغط الغازات المحترقة على العضو الدوار المثلث الشكل (الكباس) والمتصل اتصالا مباشراً بعمود الإدارة.

2. التشغيل بهدوء نظرا لانعدام وجود أجزاء ذات حركة ترددية.

3. الاقتصاد الملحوظ في وزنه ، حيث يصل وزن المحرك حوالي 17 كيلو جرام عندما يكون مصنوع من الصلب وحديد الزهر الرمادي ، وحوالي 11 كيلو جرام فقط عندما يكون مصنوع من المعادن الخفيفة.

4. الارتفاع في القدرة الحصانية .. عندما تكون سعة غرفة المحرك 500 CM3 تكون قدرته حوالي 50 قدرة حصانية عند سرعة 5000 لفة في الدقيقة.

5. يتم التحكم في دخول الشحنة وخروج الغازات عن طريق أقراص (كباسات) دوارة ومجموعة فتحات ، وبذلك فقد استغنى عن مجموعة التحكم بواسطة الصمامات ، ومن ثم خفض تكاليف إنتاج هذا المحرك.

6. الانخفاض الكبير في تكاليف الصيانة.

7. يحتاج هذا المحرك إلى حيز صغير.

obeikandi.com

التوربينات الغازية

Gas Turbines

يطلق اسم توربينات الغاز على التوربينات التي تستخدم نواتج الاحتراق الساخنة لتشغيلها بدلا من البخار (أي تقوم التوربينات الغازية بتحويل الطاقة الحرارية للغازات الساخنة المتدفقة إلى طاقة ميكانيكية).

إن فكرة الحصول على الحركة الدورانية مستمدة من الطاقة الحرارية مباشرة ، دون الحاجة إلى مرجل بخاري أو تركيبة آلية ترددية (كباس وذراع توصيل ومرفق) ، كانت تعتبر من الأفكار الخالية قبل أن يسجل المهندس الإنجليزي باربر أول اختراع لتوربين غازي منذ 150 عاماً تقريباً . وفى مدى هذه المدة التي تبلغ قرناً ونصف قرن ، عكف العلماء على الدراسة العميقة وصرف الأموال الطائلة على التجارب المختلفة لغرض تحسين الاختراع.

وقد فشلت العديد من التجارب ، وكان النجاح الذي صادف بعضها يتقدم تقدماً بطيئاً . وكان هذا يرجع إلى عدم القدرة على عمل توربين ذو مزايا تفوق غيره من أنواع المحركات الحرارية الأخرى ، مثل المحرك البخاري الترددي ، والتربين البخاري ، ومحركات الاحتراق الداخلية الترددية التي كان ما يطرأ عليها من تقدم يسير فيها بخطوات واسعة.

إن العاملين الرئيسيين الذين كانا عقبة في طريق التقدم هما الحاجة إلى ضاغط هوائي مناسب ، ومعادن مناسبة لصناعة ريش التوربين ، بحيث تكون قادرة على تحمل الإجتهادات والحركة تحت تأثير درجة الحرارة المرتفعة.

وقد كانت محاولات اختراع الطائرات أوجدت مجالا للبحث عن حركة الهواء ، التي كان لها عظيم الأثر في ظهور ضواغط الهواء ذات الجودة العالية ، كما أن الأبحاث الحديثة في علوم المعادن مكنت من الحصول على معادن قادرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة والإجتهادات العالية التي تتعرض لها ريش التوربين، ومازالت

obeikandi.com

هناك صعوبات عديدة أمكن التغلب عليها حتى أصبح توربين الغاز متفوقا على غيرة من أنواع المحركات الأخرى.

استعمال توربينات الغاز:

لقد دعت الحاجة إلى السرعة في الطائرات النفاثة إلى استعمال التوربينات الغازية .. وهذا هو سبب ظهورها ، كما ظهر استعمال التوربينات في محطات توليد الطاقة الكهربائية وفى البواخر والقاطرات، وذلك لخفة وزنها وانخفاض عدد أجزائها وخلوها من الاهتزازات.

استخدمت التوربينات الغازية في توليد الطاقة الكهربائية ، حيث قدرتها ما بين 5000 – 20000 حصان .. وعلى ذلك فهي لا تنافس محركات الديزل ، حيث تستخدم الأخيرة في توليد الطاقة الكهربائية التي تنخفض قدرتها عن 5000 حصان.

أنواع توربينات الغاز:

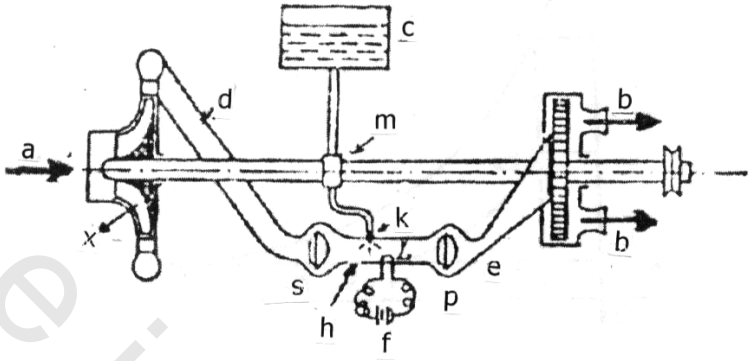
تنقسم توربينات الغاز إلى نوعين أساسين هما :-

1. توربينات الغاز ذات الحجم الثابت (توربينات الفرقعة).
2. توربينات الغاز ذات الضغط الثابت (توربينات الاحتراق).

أولا : توربين الغاز ذو الحجم الثابت (توربين الفرقعة)

شكل 2 – 52 يوضح رسماً تخطيطاً لفكرة توربين الغاز ذو الحجم الثابت (توربين الفرقعة) ، الذي يتركب من ضاغط هواء لسحب الهواء من الجو عند a ثم يضغط إلى الغلاف X ومنه إلى الممر d ثم أخيرا إلى غرفة الاحتراق h عن طريق الصمام S ، وعند إتمام شحن الغرفة ، يغلق صمام الشحن S ويلي ذلك حقن كمية معينة من الوقود من خلال الرشاش K الذي يصل إلية الوقود من الخزان C بواسطة المضخة M ، حيث تشتعل الشحنة بواسطة شمعة الشرارة الكهربائية f فيرتفع الضغط فجأة ويتبع ذلك فتح الصمام p حيث تتصرف منه نواتج الاحتراق إلى البوق e لتتحول طاقة الضغط إلى

طاقة حركة ، وتتوجه الغازات إلى ريش إدارة التوربين n التي تتأثر بذلك وتتحرك حركتها الدائرية ، ثم تخرج الغازات العادمة من الفتحة b إلى الجو.



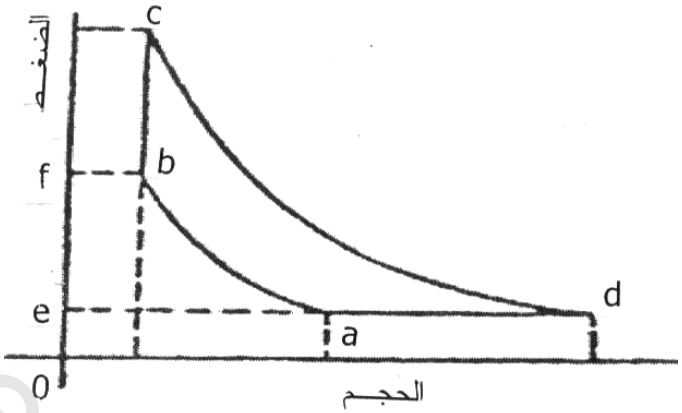
شكل 2 – 52
توربين الغاز ذو الحجم الثابت

الدورة الحرارية لتروبين الغاز ذو الحجم الثابت :

تسمى دورة الحجم الثابت نظراً لأن أحترق الوقود يتم تحت حجم ثابت ، إذ أن التأثير الوحيد لزيادة الحجم في غرفة الاحتراق هو العمل على زيادة ضغط الهواء فقط.

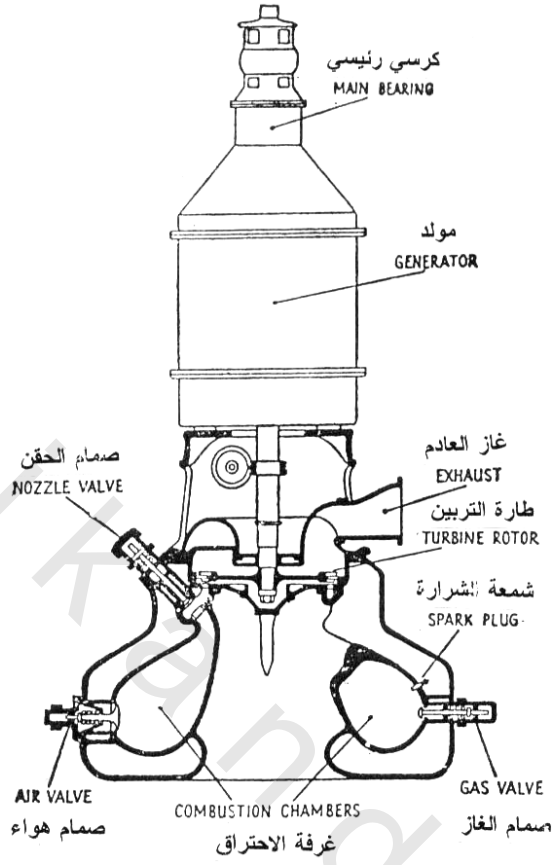
شكل 2 – 53 يوضح المنحنى البياني للدورة الحرارية لتوربين الغاز ذو الحجم الثابت (توربين الفرقعة) ، حيث يدخل الهواء إلي الضاغط يعادل الضغط الجوى عند النقطة a وبحجم ae ثم يضغط الهواء إلى النقطة b فيرتفع ضغطه ويصبح حجمه bf وفى هذه اللحظة يدخل الهواء إلى غرفة الاحتراق حيث ترتفع درجة حرارته نتيجة لحقن كمية من الوقود واشتعالها ، وهذا الارتفاع في درجة الحرارة يتسبب في زيادة الضغط عند النقطة b إلى النقطة c وعند النقطة c يفتح صمام التصريف ويسمح للغازات بالتمدد في البوق لينخفض ضغطها ويزداد حجمها ويمثل ذلك المنحنى cd ، وتخرج الغازات العادمة من التوربين عند النقطة s وتقود إلى حالتها الأصلية عند النقطة a عن طريق الخلط ae حيث تنخفض درجة حرارتها وحجمها.

obeikandl.com



شكل 2 – 53
منحنى الدورة الحرارية لتوربين الغاز والحجم الثابت

عادة يستخدم مع تربين الغاز ذو الحجم الثابت (توربين الفرقعة) عدد من غرف الاحتراق مزودة بصمامات كما هو موضح بشكل 2 – 54 ، تشحن هذه الغرف بالهواء المضغوط من ضاغط هوائي (واحدة بعد الأخرى) ، وتنظم فترات الشحن من خلال توقيت آلي خاص للصمامات ، وبعد شحن غرف الاحتراق بالهواء، يغلق صمام الشحن ، ثم تحقن كمية من الوقود داخلها وتشتعل، حيث ينتج عن هذا الاشتعال ارتفاع فجائي في الضغط (يسمى بالفرقعة) ، حيث يفتح صمام التصريف الذي يسمح بخروج نواتج الاحتراق على هيئة تيار سريع ، الذي يتوجه إلى الريش المثبتة في إدارة التوربين . وكلما انخفض الضغط في غرف الاحتراق هبطت سرعة تيار الغازات ، وعندما يصل الضغط إلى ما يعادل الضغط الجوى يغلق صمام التصريف ويفتح صمام الشحن ، حيث يعاد شحن الغرفة بالهواء.



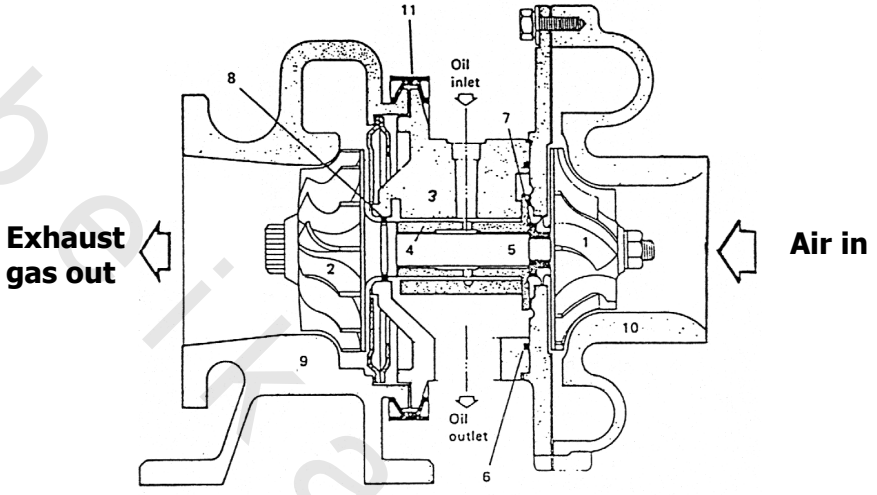
شكل 2 – 54
توربين الغاز ذو الحجم الثابت (تربين الفرقعة)

توربين غاز العادم :

دعت الحاجة أثناء الحرب العالمية الأولى إلى ضرورة وجود محركات للطائرات تعمل بنظام الشحن بالضغط (الشحن الزائد) ، علما بأن معظم ضواغط هواء الشحن التي ظهرت في أول الأمر كانت تدار من المحرك مباشرة ولكن رانو الفرنسي أقترح إدارتها بواسطة توربينات تعمل بغازات العادم الخارجة من المحرك ، وهى معروفة الآن باسم Turbocharger ، وهى عبارة عن وحدة توربين تدير ضاغط هوائي ذا قوة مركزية طاردة شكل 2 – 55 . ومثل هذه الوحدة مستعملة الآن بكثرة في شحن محركات الطائرات ومحركات الديزل بالهواء.

oberkandl.com

ويلاحظ أن هذه التوربينات تستعمل غازات العادم في تشغيلها قبل انصرافها إلى الجو ، وهى طاقة مفقودة ، كما أن مثل هذه التوربينات تعتبر من الأجزاء الثانوية للمحرك ولا تعتبر وحدة لتوليد القوة.



شكل 2 – 55
توربين غـــاز العادم

1. عجلة الضغط.
2. عجلة التربين.
3. مبيت كرسى التحميل.
4. محمل (كرسى تحميل).
5. عمود الدوران الرئيسي.
6. حلقة عزل على شكل حرف o.
7. عازل ميكانيكي وجهي.
8. محمل (كرسى تحميل).
9. قاعدة.
10. هيكل عجلة التربين.
11. مشبك رابط على شكل حرف 7.

نظرية توربين غاز العادم :

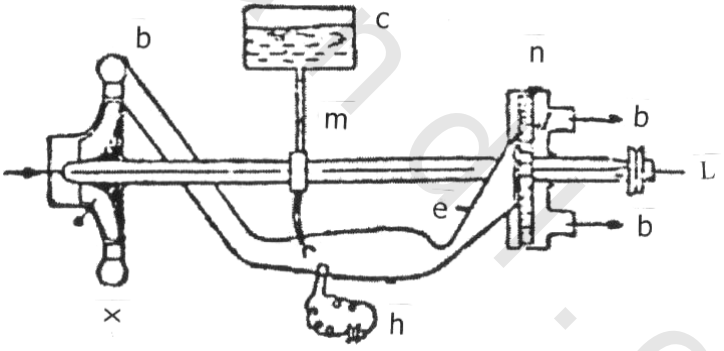
يعمل توربين غاز العادم على أساس نظرية توربين الحجم الثابت (توربين الفرقعة) ، فالوقود الذي يمد هذا التوربين بالطاقة يحترق أولا في أسطوانة المحرك تحت حجم ثابت ، بينما يكون الكباس قريباً من نهاية المشوار العلوي وعند نهاية النقطة الميتة العليا

T.D.C ، ثم تنخفض درجة حرارة الغازات نتيجة لتمددها داخل اسطوانة المحرك ، وعند ذلك يمكن توجيه هذه الغازات العادمة لريش التوربين دون أدنى ضرر عليها ، ويمكن حماية الريش بحقن هوائي جوى لمصاحبة الغازات عند دخولها إلى التوربين ، علما بأن صمام تصريف الغاز الذي يقع بين غرفة الاحتراق والتوربين يتأثر بهذه الحرارة ولا يتحملها فترة طويلة.

ثانياً : توربين الضغط الثابت (توربين الاحتراق)

يطلق عليه اسم توربين الغاز ذو الضغط الثابت والاحتراق المستمر ، وللتبسيط يطلق عليه اسم توربين الاحتراق ، ويعتبر هي من اكثر التوربينات انتشاراً حيث أن جميع توربينات الغاز الحديثة من هذا النوع.

يتكون توربين الضغط الثابت (توربين الاحتراق) الموضح بالرسم التخطيطي بشكل 2 – 56 من أجزاء رئيسية هي ضاغط الهواء – غرفة الاحتراق – عجلة التوربين.



شكل 2 – 56
توربين الضـغط الثابت

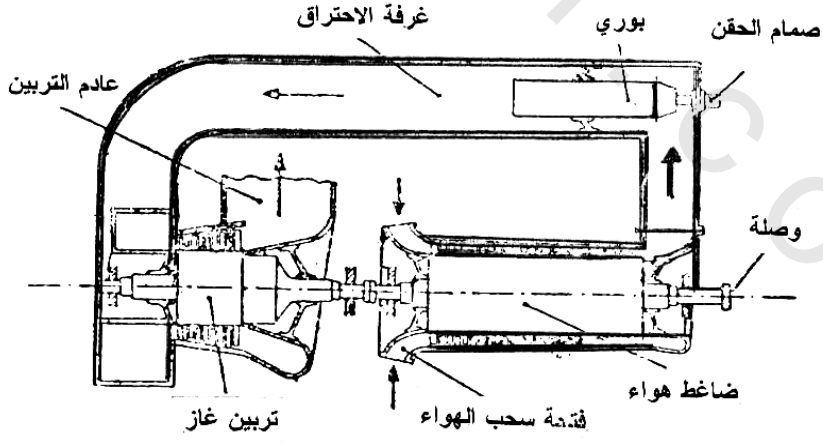
يسحب الهواء عن طريق المدخل a إلى مروحة ضاغط الهواء ذات القوة الطاردة المركزية ، حيث يضغط ويتجه إلى الغلاف الحلزوني X لينضغط بضغط مرتفع ويوجه إلى الممر b ثم إلى غرفة الاحتراق h ليصل إلية الوقود من الخزان c من خلال المضخة m حيث يحترق تحت ضغط ثابت ويتبع ذلك زيادة في حجم الهواء ودرجة حرارته ، وتتجه الغازات إلى البوق e حيث تتمدد وينخفض ضغطها إلى مستوى الضغط الجوى

وتتحول طاقة الضغط من خلال البوق إلى طاقة حركة ، وتخرج الغازات من البوق بسرعة كبيرة إلى ريش التوربين h لتؤثر عليها وتحركها حركة دائرية.

وحيث أن مروحة الضاغط وريش التوربين مركبان على عمود واحد ، فهذا يعنى أن ضاغط الهواء يستمد حركته من عمود إدارة التوربين، أما القدرة الذائدة عن حاجة ضاغط الهواء ، فيمكن أخذها عن طريق الوصلة L ، ويعتبر ذلك هو الشغل المستفاد من لتوربين.

وشكل 2 – 57 يوضح رسم تخطيطي لتوربين احتراق حديث للدكتور ماير السويسري ويتضح طريقة تشغيله من خلال أجزائه وطريقة تركيبه ، حيث يتضمن ضاغط هواء من نوع القوة الطاردة المركزية لضغط الهواء الجوي وتحويلة إلي ضغط تشغيل كما يتضمن غرفة احتراق تستقبل الهواء المضغوط ، ويستعمل جزء منه لحرق الوقود ، وتخلط غازات الاحتراق بباقي الهواء ، كما يشتمل على عجلة التوربين التي تندفع إليها الغازات المحضرة في غرفة الاحتراق ، وتتمدد إلى مستوى الضغط الجوى ، ويتولد من ذلك قوة تتسبب في دوران عجلة التوربين، ويصرف جزء من هذه القوة لإدارة ضاغط الهواء ، والجزء المتبقي يعتبر الشغل المستفاد .

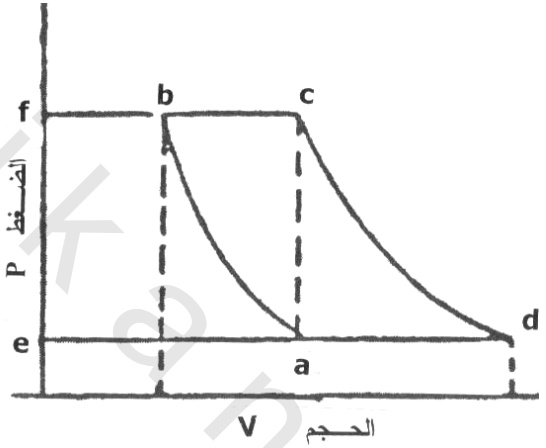
يلاحظ استعمال محرك كهربائي لبدء حركة ضاغط الهواء والتوربين.



شكل 2 – 57 توربين الاحتراق

الدورة الحرارية لتوربين الاحتراق (دورة الضغط الثابت) :

شكل 2 – 58 يوضح الرسم البياني للدورة الحرارية لتوربين الاحتراق ذو الضغط الثابت والتي تسمى بالدورة ذات الضغط الثابت ، نظراً لأن احتراق الوقود يتم تحت ضغط ثابت ، إذا أن التأثير الوحيد لزيادة الحرارة في غرفة الاحتراق هو العمل على زيادة حجم الهواء فقط.



شكل 2 – 58
الرسم البياني للدورة الحرارية لتوربين الاحتراق ذو الضغط الثابت

يدخل الهواء إلى ضاغط الهواء بضغط يساوى الضغط الجوى عند نقطة a وبحجم ae حيث ينضغط إلى النقطة b فيرتفع ضغطه وينخفض حجمه ليصل إلى bf وفى هذه الحالة يندفع الهواء إلى غرفة الاحتراق ويرتفع درجة حرارته نتيجة لاشتعال الوقود ، وهذا الارتفاع في درجة الحرارة يتسبب في زيادة حجم الهواء عند النقطة b إلى النقطة c ، ولا يترتب على ذلك أي زيادة في الضغط ، ثم تأخذ الغازات في التمدد داخل البوق المتمثل في المنحنى cd ، ومن الطبيعي عند تمدد الغازات يزيد حجمها من .cf إلى de كما ينخفض الضغط من النقطة c إلى النقطة d المعادلة للضغط الجوى.

وأخيراً وبعد خروج غاز العادم من التوربين تنخفض درجة حرارته ويقل حجمه ، حيث يعود إلى حالته الأصلية قبل دخول الشحنة الجديدة ويمثل ذلك الخط da .

obeikandi.com

الفصل الثالث

الدورات الحرارية

THERMAL CYCLES

تمهيد

يتناول هذا الفصل الدورات الحرارية (دورة أوتو – دورة ديزل – الدورة المشتركة – دورة أتكنيسون) ، حيث يشمل على الدورات الحرارية النظرية والحقيقية للمحركات الترددية الرباعية والثنائية الأشواط ، وكيفية تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركة.

كما يتعرض لجودة وكفاءة المحرك (الكفاءة الميكانيكية – الكفاءة الحرارية– الكفاءة الحجمية) ، ومعادلات كل منها .. مع ذكر الأمثلة المحلولة.

obeikandl.com

الدورات الحرارية النظرية والحقيقية

للمحركات الترددية رباعـــية وثنائـــية الأشـــواط

الحرارة والشغل نوعان من الطاقة ، وفى الإمكان تحويل أحدهما إلى الآخر ، حيث أن المحركات الحرارية هي الوسيلة التي تستخدم في تحويل الطاقة الحرارية للوقود إلى شغل ميكانيكي ينتفع به ، ولإتمام ذلك لابد من استخدام مادة تعرف بأنها مادة التشغيل كوسيط لإجراء عدة عمليات عليها لإحداث التغيرات في درجة حرارتها ، وتعرف الدورة الكاملة لهذه التغيرات بالدورة الحرارية.

ففي المحرك البخاري يعمل الماء كمادة تشغيل ، فيكتسب الحرارة من الوقود في المرجل ، ويتحول إلى بخار ويحدث فيه عدة تغيرات داخل الأسطوانة والمكثف ، حيث يعود إلى حالته الأصلية (ماء) وبذلك تتم الدورة الحرارية ، وينشأ عن ذلك الشغل الميكانيكي المفيد.

وفى محركات الاحتراق الداخلي ، يقوم الهواء بوظيفة مادة التشغيل ، فيكتسب الحرارة باحتراق الوقود داخل اسطوانة المحرك ، وبعد أن تجرى عدة تغيرات والحصول على الشغل الميكانيكي المفيد، يطرد من الأسطوانة ، إذ لا يمكن الارتفاع به من جديد ، وتتكرر هذه الدورة في المحرك باستعمال شحنة جديدة من الهواء.

وتتكون الدورة الحرارية لمحركات الاحتراق الداخلي من أربع عمليات هامة كالآتي :-

obeikandl.com

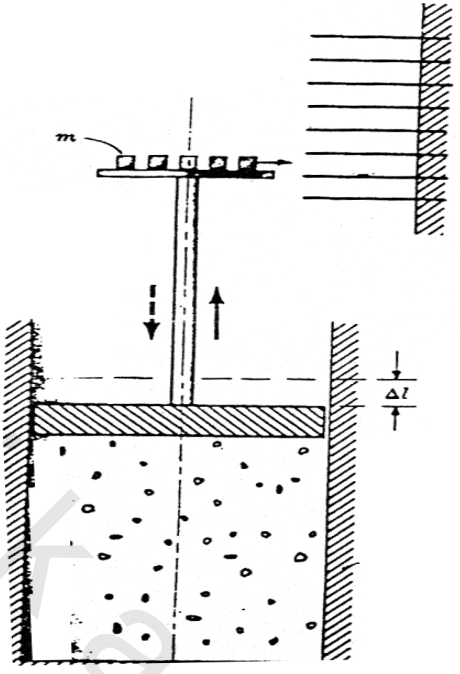
1. عملية إنضغاط مادة التشغيل أدياباتيكياً.
2. عملية اكتساب مادة التشغيل للحرارة عند ضغط مرتفع.
3. إنتشار مادة التشغيل أدياباتيكا.
4. عملية طرد جزء من الحرارة عند ضغط منخفض إلى أن يصل ضغط مادة التشغيل إلى ضغطها الأصلي.

الدورات القياسية للهواء محددة ، ومزيج الهواء والوقود لا يسلك سلوك الغازات المثالية ، حيث يدخل مزيج الهواء والوقود عند درجة To وضغط PO ، أي عند ضغط ودرجة حرارة المحيط الجوى.

النظام الدياباتيكى:

يوضح شكل 2 – 59 جهاز يتكون من اسطوانة ومكبس يحتوى على كمية معينة من الغاز ، وهذا الجهاز يمكن استخدامه في إحداث تضاغط أو تمدد للغاز المحبوس.

ولنتخيل أن المكبس والأسطوانة عازلين مثالين للحرارة بحيث لا يوجد تبادل حراري بين الأسطوانة والمكبس (نظام الوسط المحيط) . وإذا ما تمت العملية بحيث لا يحدث تبادل حراري بين الوسط والنظام (سميت عملية أدياباتية)، وتستخدم العبارة .. محتوى أدياباتى للدلالة على غياب انتقال الحرارة بين الوسط والنظام ، وعلى ذلك فإن هذه العملية تحدث تحت تأثير القوى الخارجية.



شكل 2 – 59
محتـوى أديباتى

وتطرد الغازات العادمة عند ضغط PO ، ولكن عمليا تكون درجة حرارتها أكبر من To ، أي أن هناك خسارة في الطاقة (الشغل) ، ولتحقيق أكبر شغل ممكن للاستفادة من العمليات داخل المحرك لغرض خروج الغازات العادمة من المحرك عند درجة حرارة To.

وبصورة عامة توضح الدراسات أن الشغل الناتج من محرك ذو شحنات هوائية منتظمة ، يكون ذو طاقة إنتاجية ، وهو مثال غير قابل للرجوع في عمله ، غير مغلق في دورة عملياته.

ويمكن الحصول على الشغل الناتج بالمحرك من المعادلة التالية :-

$$W_{REV} = G_{RO} - G_{PO}$$

حيث W_{REV} ...الشغل الناتـج من التفاعل الكيميائي ووحدة قياسية هو الجول (J).

GRO ...هي دالة جبس (Gibbs) للمواد المتفاعلة عند (PO, To).

obeikandi.com

GPO ... هي دالة جبس (Gibbs) للمواد الناتجة عند (To , PO).

ويستخدم W_{REV} كأساس للمقارنة مع الشغل الحقيقي أو الفعلي الناتج من محرك الاحتراق الداخلي، وهذا يؤدى إلى وضع نسبة الكفاءة كما في المعادلة التالية:-

$$\eta R = \frac{W}{W_{REV}}$$

حيث η ..... هي الكفاءة النسبية للمحرك.

W ..... الشغل الفعلي الناتج من عمل المحرك.

وتعتبر الكفاءة النسبية هي الكفاءة حرارية إذا أمكن استخدام هذا التعبير لكفاءة الدورة الحرارية في جهاز دوري.

والدورات الحرارية النظرية ذات الأهمية هي كالآتي :-

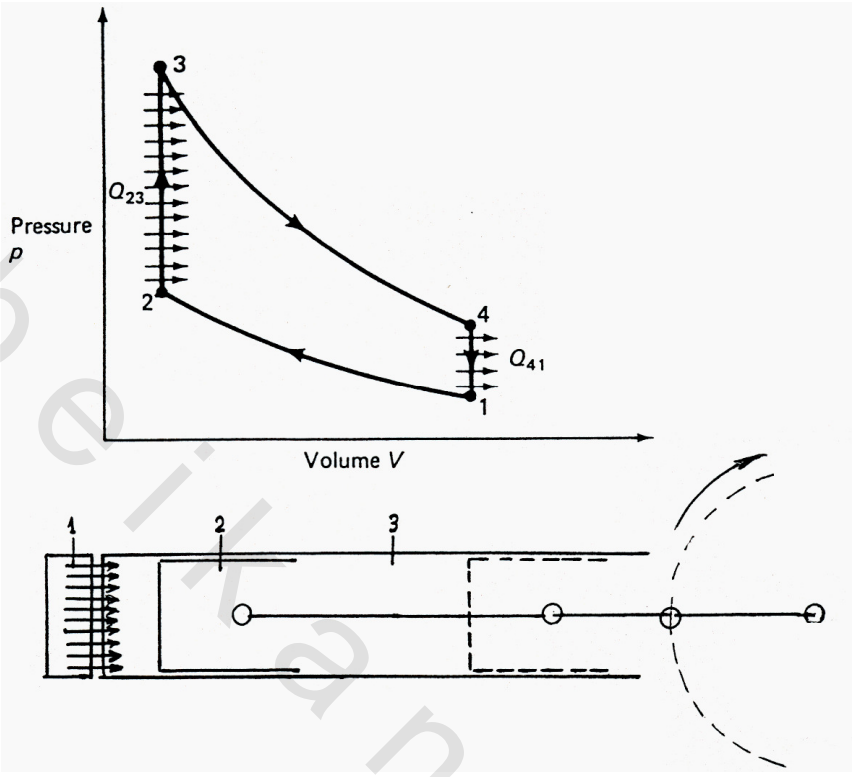
1. دورة أوتو ..... Otto Cycle
2. دورة ديزل ..... Diesel Cycle
3. الدورة المشتركة ..... Dual Cycle
4. دورة أتكنيسون ..... Atkinson Cycle

فيما يلي شرح كل دورة على حدة :-

دورة أوتو: Otto cycle

هي الدورة الحرارية النظرية التي تتبعها محركات الغاز والبنزين وبعض أنواع محركات الزيوت الخفيفة ، والتي تستخدم في محركات الاحتراق بالشرارة ، وتعرف بالدورة ذات الحجم الثابت . شكل 2 – 60 يوضح منحنى العلاقة بين ضغط وحجم مادة التشغيل لهذه الدورة.

openkanal.com



شكل 2 – 60
منحنى العلاقة بين الضغط والحجم في دورة أوتو

1. **جسم ساخن.**
2. **مكبس.**
3. **اسطوانة.**

لمقارنة دورة أوتو بالدورات الأخرى ، نعتبر أن الأسطوانة محتوية على هواء جوى كمادة تشغيل ، كما أن تسخين الهواء وتبريد يكون بواسطة أجسام ساخنة وباردة توضع ملامسة لنهاية الأسطوانة.

وعندما يتحرك المكبس إلى داخل الاسطوانة، ينضغط الهواء أدياباتيكيا إلى أن يصل المكبس لنهاية المشوار، حيث تمثل حالة الهواء بالنقطة 2 والتي عندها يكون حجم مادة التشغيل V_2 وضعها P_2 ودرجة حرارتها T_2 ، ولو عرض الهواء في هذه النقطة للجسم الساخن بوضعه ملامسا لنهاية الأسطوانة لتسخين الهواء عند حجم ثابت ،

obeikandl.com

وهذا ما يسهل زيادة ضغط الهواء إلى P_3 وبدرجة حرارة T_3 وتمثل نقطة 3 حالة الهواء في هذه الحالة.

وبأبعاد الجسم الساخن يتمدد الهواء أدياباتيكيا إلى النقطة 4 باذلا شغل على المكبس، ويصبح حجم مادة التشغيل (الهواء) هو V_4 وضغط P_4 ودرجة حرارة T_4 وتمثل النقطة 4 حالة الهواء في هذه الحالة.

ويعاد الهواء إلى حالته الأولى بوضع جسم بارد ملامساً لنهاية الاسطوانة لامتصاص حرارة الهواء ، وبذلك يفقد الهواء جزءاً من الحرارة عند حجم ثابت ، حيث يعود إلى حالته الأولى عند النقطة 1 وبذلك تتم الدورة الحرارية، ويمكن تلخيص ما سبق ذكره في الآتي :-

1- تبتدئ الدورة من النقطة 1 في حالة الهواء $P_1V_1T_1$ إلى أن يصل إلى النقطة 2 حيث ينضغط الغاز أدياباتيكيا إلى $P_2V_2T_2$ (شوط الضغط) ليرتفع ضغطه وينخفض حجمه ويزيد درجة حرارته، وتكون نسبة الحجم V_1/V_2 حيث (r_v) نسبة الانضغاط.

2- يرتفع ضغط الغاز من 2 إلي 3 من خلال اكتسابه مقدار من الحرارة عن طريق جسم ساخن خارجي Q23 مع ثبوت حجمه أي أن V2=V3 وتصبح الحالة في نقطة 3 هي P3,T3,V3

3- ينتشر الغاز أدياباتيكيا من 3 إلي 4 (شوط تمدد) وهو الشوط الفعال ، حيث ينخفض كل من الضغط ودرجة الحرارة P4T4 مع زيادة الحجم إلى حجمه الأصلي V_1.

4- تتم الدورة من 4 إلي 1 بإعطاء الحرارة Q41 بملامسة جسم بارد خارجي ، حيث ينخفض كل من ضغط الغاز ودرجة الحرارة إلى P1T1 مع ثبوت الحجم.

تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركة:

تتحول الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة حركة خلال شوط القدرة (الشوط الفعال) ، وتتم مراحل التحول كما هو موضح بالمخطط التالي:-

الطاقة الحرارية للوقود

⬇

احتراق

⬇

تولد حرارة

⬇

ارتفاع في الضغط

⬇

قوة مؤثرة على المكبس

⬇

حركة الكباس في خط مستقيم

⬇

حركة دورانية لعمود المرفق

⬇

بذل القدرة (طاقة حركة)

كفاءة دورة أوتو:

يمكن إيجاد كفاءة دورة أوتو من خلال المعادلات التالية :-

$$\eta\ Otto = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{Q}_{23}} = \frac{Q_{23} - Q_{41}}{Q_{23}}$$

$$\eta\ Otto = 1\ \frac{Q_{23} - Q_{41}}{Q_{23}}$$

obeikandl.com

وبعد سلسة من التعويضات ، يمكن إيجاد Otto η كما يلي :-

$$\eta\ Otto = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta\ Otto = 1 - \frac{T_4 - T_1}{r_V^{\alpha-1} - (T_4 - T_1)}$$

$$\eta\ Otto = 1 - \frac{1}{r_v^{\delta-1}}$$

قيمة معامل كفاءة دورة أوتو otto η تعتمد على نسبة الانضغاط r_V وليس على درجة الحرارة ، حيث كلما زادت نسبة الانضغاط r_V كلما ارتفعت الكفاءة الحرارية . وفى الحقيقة لا يمكن زيادة r_V في محرك البنزين عن هذه النسبة، حيث بعد هذه القيمة لا توجد زيادة ملحوظة في الكفاءة الحرارية . هذا بالإضافة إلى صعوبات أخرى في تصميم المحرك.

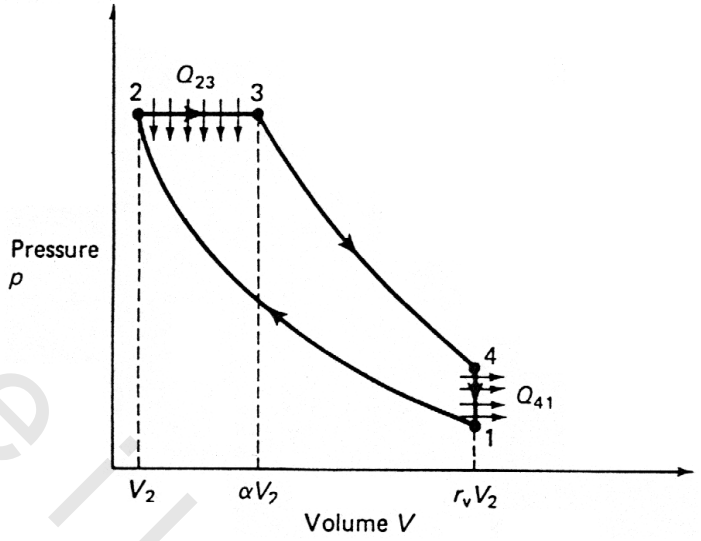
وفى المحرك الحقيقي يجب أن لا تزيد نسبة الانضغاط r عن حد معين ، حتى لا يحدث ما يسمى بظاهرة الفرقعة (Detonation).

دورة ديزل : Diesel cycle

هي الدورة الحرارية النظرية التي تتبعها محركات ديزل (محركات الزيوت الثقيلة) وتسمى بدورة الضغط الثابت.

ويوضح شكل 2 – 61 المنحنى البياني لهذه الدورة.

Obeikandl.com



شكل 2 – 61

المنحنى البياني لدورة ديزل

يعمل محرك ديزل من خلال الأربعة الأشواط التي تتضمن دورة ديزل التالية :-

obeikandl.com

1. ينضغط الغاز أديابـاتيكيا من 1 إلي 2 حيث يزداد الضغط وينخفض الحجم إلى $P_2.V_2.T_2$ وعند نسبة حجم $\frac{v_1}{v_2}$

2. من 2 إلي 3 المكبس في النقطة الميتة العليا (T.D.C) ، حيث يكتسب مقدار من الحرارة عند ضغط ثابت Q23 ، عندما يتمدد الحجم بنسبة $\frac{v_3}{v_2}$ أي زيادة الحجم ودرجة الحرارة إلى $T_3.V_3$.

3. ينتشر الغاز أديابـاتيكياً 3 إلي 4 (شوط التمدد) إلى $V_4 = V_1$ ، وينخفض الضغط ودرجة الحرارة إلى T_4 ,P_4.

4. ينخفض ضغط الغاز مع ثبوت الحجم من 4 إلى 1 ويفقد مقداراً من الحرارة من خلال جسم بارد خارجي ليصل ضغطه إلى Q 41 عند حجم ثابت، ليكون انخفاض الضغط ودرجة الحرارة عند T1,P1 ، حيث يعود إلى حالته الأولى عند النقطة1.

وعلى ذلك تكون كفاءة دورة ديزل η diesel كالأتي:-

$$\eta\ diesel = \frac{W}{Q_{23}} = \frac{Q_{23} - Q_{41}}{Q_{23}}$$

$$\eta\ diesel = 1 - \frac{Q_{41}}{Q_{23}}$$

وبعد سلسلة من التعويضات نحصل على :-

$$\eta\ diesel = 1 - \frac{1}{\delta}\ \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

حيث العملية 2 ⟵ 3 عند ضغط ثابت وبالتالى :-

$$\eta\ Otto = 1 - \frac{1}{r_v^{\delta-1}}\left[\frac{\alpha^{\delta}-1}{\delta(\alpha-1)}\right]$$

حيث α هي نسبة العمل ..... $\alpha \equiv \frac{V_3}{V_2}$

δ هي نسبة الغاز ذو القدرات الحرارية النوعية وأن $\delta = \frac{c_p}{c_v}$

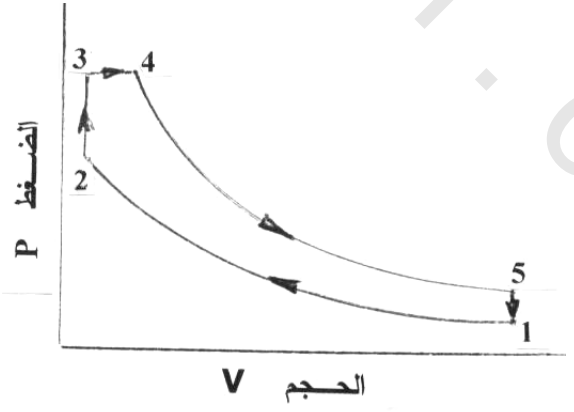
حيث CV هي قيمة كالوريفك للوقود أو سعة الحرارة النوعية عند ضغط ثابت هي (KJ / kg.k)

C_P سعة الحرارة النوعية عند حجم ثابت (KJ / kg.k) بصورة عامة أن دورة الديزل أقل كفاءة من دورة الاوتو عند نفس نسبة الضغط ، أى عند مقارنة الكفاءة الحرارية لدورة الديزل مع دورة اوتو ، تكون الكفاءة الحرارية لدورة اكبر.

الدورة المشتركة : The Dual cycle

تستخدم هذه الدورة في بعض محركات الزيوت الحديثة دورة تجمع بين دورتي أوتو وديزل ، وتسمى بالدورة ذات الضغط والحجم الثابت.

يعتمد مبدأ عمل الدورة المشتركة الممثلة في المنحنى البياني الموضح بشكل 2 – 62 على الأتي :-



شكل 2 – 62 المنحنى البياني للدورة المشتركة

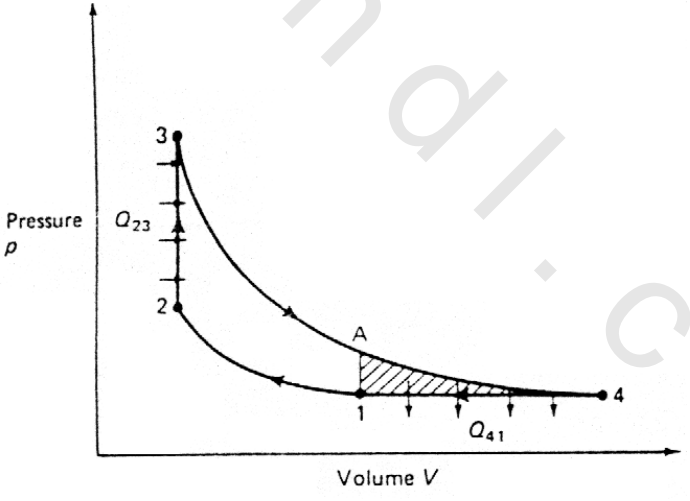
obeikandl.com

ويمكن تلخيص الدورة المشتركة في الآتي :-

1. يضغط الغاز أديابـاتيكياً من 1 إلي 2 .
2. يرتفع ضغط الغاز مع ثبوت حجمه من 2 إلي 3 .
3. يزيد حجم من 3 إلي 4 مع ثبوت ضغطة .
4. ينتشر الغاز أديابـاتيكيا من 4 إلي 5 .
5. ينخفض ضغط الغاز مع ثبوت حجمه من 5 إلي 1 إلى أن يصل إلى حالته الأولى بفقد مقدار من الحرارة.

دورة أتكنيسون : Atkinson cycle

تعتبر دورة أتكنيسون هي الأكثر شيوعاً في عنصر أي دورة يوجد بها شوط التمدد أكبر من شوط الأنضغاط . وشكل 2 – 63 يوضح الحالة لدورة أتكنيسون وفيها التمدد إلى أسفل الضغط P_1 .



شكل 2 - 63
المنحنى البياني لدورة أتكنيسون

كل العمليات هي رجوعية ، والعمليتان 1 ⟵ 2 ، 3 ⟵ 4 هي اديباتيكية

obeikandl.com

والمساحة المظلة (1A4) تمثل الشغل المتزايد أو الحرارة المنخفضة.

عندما نقارن دورة أتكنيسون مع دورة أوتو ، نلاحظ الصعوبات الميكانيكية عند ترتيب أشواط التمدد والإنضغاط الغير متعادلتين اللذان يتسببان في منع تطور عمل المحركات التي تعمل بهذه الدورة مهما كان التمدد A4 وممكن أن ينظم بعملية منفصلة للاستخدام بالتربين الغازي.

جودة أو كفاءة المحرك :Engines Efficiency

جودة أو كفاءة المحرك هي النسبة بين القدرة المستفاد من المحرك ، والطاقة المبذولة للحصول على هذا الخرج.

ويمكن تقسيم كفاءة المحرك إلى الآتي :-

1. كفاءة ميكانيكية.
2. كفاءة حرارية.
3. كفاءة حجميه.

الكفاءة الميكانيكية: Mechanical Efficiency

هي النسبة بين القدرة الفرملية والقدرة البيانية ، ويمكن إيجادها من المعادلة التالية :-

$$\text{الكفاءة الميكانيكية .} = \frac{\text{القدرة الفرملية B . P}}{\text{القدرة البيانية I.P}}$$

والكفاءة الميكانيكية لمحركات الاحتراق الداخلي تكون غالباً 90% ، وهذا ناتج عن أن القدرة الفرميلية تنخفض عن القدرة البيانية بمقدار الفقد في مقاومة الاحتكاك.

الكفاءة الحرارية Thermal Efficiency

هي النسبة بين القدرة الفرملية أو القدرة النافعة إلى الطاقة المخزونة في الوقود ، ويمكن إيجادها من المعادلة التالية :-

$$\text{الكفاءة الحرارية.} = \frac{\text{القدرة الفرملية} \times 4500 \times 427}{}$$

obeikandl.com

وزن الوقود المحترق في الدقيقة بالكليو جرام × القيمة الحرارية بالكيلو كالورى

ولو أمكن لمحرك أن يحول جميع الحرارة الناتجة من احتراق الوقود داخل الأسطوانة إلى شغل نافع ، تكون الجودة أو الكفاءة الحرارية = 100%

وفى العادة تكون الجودة الحرارية للمحركات الحديثة حوالي 25 % منها ، وذلك لأن مياه التبريد تمتص 20 % من الطاقة الحرارية المتولدة داخل الاسطوانة ، 50 % منها تفقد في غازات العادم ، أما الفاقد في الاحتكاك فهو5 % من الحرارة الكلية ، ويتبقى بعد ذلك 25 % هي التي تتحول إلى شغل نافع.

الكفاءة الحجمية Volumetric Efficiency

الكفاءة أو الجودة الحجمية لمحرك هي النسبة بين حجم مزيج الوقود والهواء الذي يدخل الأسطوانة ، ألي حجم الإزاحة وهو الحجم الناتج عن حركة المكبس داخل الأسطوانة في مشوار كامل . ويعبر عن الكفاءة أو الجودة الحجمية للمحرك بنسبة مئوية كما هو موضح بالمعادلة التالية :-

$$\text{الكفاءة الحجمية} = \frac{\text{حجم الشحنة عند ضغط درجة حرارة الجو}}{\text{حجم الإزاحة}}$$

ويجب أن نعلم بأن وزناً معيناً من مزيج الوقود والهواء له أحجام مختلفة عند الضغوط ودرجات الحرارة المختلفة . ويجب أن تكون المقارنة بالحجم الذي تشغله كتلة المزيج عند ضغط ودرجة حرارة الجو العادي.

والجودة الحجمية لمحركات الاحتراق الداخلي الحديثة حوالي 85% إلى 90%، وفى محركات الشحن الجبري تكون 100 % . وإن أي زيادة في الكفاءة أو الجودة الحجمية للمحرك هي زيادة السرعة ، وضيق فتحة صمام الخنق ، وعدم تصريف العادم تصريفاً تاماً ، وسخونة الهواء ، وارتفاع درجة حرارة غرفة الاحتراق ، وخلل في توقيت

الصمامات ، وأخيراً انخفاض في الضغط الجوى.

التعديلات وأوجه التشابه في نظم الدورات الحرارية:

تصمم جميع محركات الاحتراق الداخلي كي تعمل على نظام إحدى الدورات الحرارية المثالية السابق ذكرها ، وبالنسبة لعدم كفاءة الترتيبات الميكانيكية في المحركات كي تناسب هذه الدورات المثالية ، فقد اقتضى الحال إلى إدخال بعض التعديلات ، مما أدى إلى اختلاف الدورة الحرارية الفعلية عن الدورة المثالية ، وأهم هذه التعديلات يتركز في طريقة تسخين مادة التشغيل (هواء الشحنة) ، إذ يتم ذلك بحرق الوقود داخل الأسطوانة نفسها، بدلا من الأجسام الساخنة التي توضع ملاصقة لنهاية الاسطوانة.

ففي محركات الغاز والمحركات المبخرة يكون الوقود جزءً من الشحنة المضغوطة ، أما في المحركات الحاقنة فيحقن الوقود في نهاية مشوار الإنضغاط كما سبق ذكر ذلك.

وتتشابه جميع الدورات الحرارية في العمليتين الآتيتين :-

1. دخول شحنة جديدة في الاسطوانة.
2. تصريف غازات العادم في نهاية مشوار الانتشار.

obeikandl.com