الباب الثانى

أساسيات الديناميكا الحرارية

الديناميكا الحرارية هى العلم الذى يتعامل مع الحرارة والطاقة الميكانيكية وتحول كل منها للآخر ويمكن تلخيص الاساسيات كما يلى

الباب الثانى

قوانين الحرارة الديناميكية :-

لقانون الاول يوضح ان الطاقة فى النظام المغلق المعزول تظل ثابتة ويعنى أساسا بامكانية تحول جميع أنواع الطاقة لبعضها البعض اما القانون الثانى فانه يتعامل مع عدم قابلية للعكس حيث أن الطاقة الميكانيكية يمكن أن تتحول بالكامل الى طاقة حرارية ولكن الطاقة الحرارية لا يمكن ان تتحول كلية الى طاقة ميكانيكية وهذه الاساسيات الحقيقية بنيت على أساس أن الحرارة تنتقل من درجة الحرارة العالية الى درجة الحرارة المنخفضة حتى يتم التعادل

الباب الثانى

ولمحرك يقوم بحرق الوقود وانتاج حرارة ليتم تحويلها الى طاقة ميكانيكية لعمل شغل فاننا نجد أن الجزء الرئيسي من الحرارة فى غرفة الاحتراق تمتص بواسطة جدران الاسطوانة أو تخرج مع غاز العادم وهذه الرارة تفقد بينما لا يؤخذ فى الاعتبار سوى القدرة الفرملية BHP لهذا فان كفائة المحرك تكون محددة جزئيا بمدى درجة حرارة المحرك

قانون بويل :-

ينص قانون بويل على أن كتلة الغاز يمكن ضغطها بحيث يتناسب الحجم عكسيا مع الضغط المؤثر عليها وذلك عند ثبات درجة الحرارة ويعتبر هذا القانون احد العوامل التى تحكم تصميم المحرك بالنسبة لازاحة المكبس ونسبة الكبس وبوضع القانون فى الصورة الرياضية نجد أن حاصل ضرب الحجم والضغط لكتلة معينة من الغاز يكون ثابتا عند ثبات درجة الحرارة

$$P1V1 = P2V2 = PnVn = constant$$

حيث أن p : الضغط v : الحجم

الباب الثانى

قانون تشارلز :-

التغير فى درجة حرارة كتلة الغاز ينتج من التغير المباشر للحجم والضغط فاذا ارتفعت درجة حرارة غاز مع ثبات حجمه فان الضغط يزداد اما اذا ارتفعت درجة الحرارة مع ثبات الضغط فان الحجم يزداد والطاقة الحرارية داخل غرفة احتراق المحرك تسبب تمدد الوقود والهواء ويتغير الحجم داخل غرفة الاحتراق (نسبة الكبس) بحيث يكون هذا التغير كبيرا بدرجة كافية من خلال شوط القدرة ويمكن وضع قانون تشارلز فى الصورة الرياضية كما يلى:

الباب الثانى

١. عند ثبات الضغط ..... فان حجم كتلة معينة من الغاز يتناسب طرديا مع درجة الحرارة المطلقة

٢. عند ثبات الحجم ..... فان الضغط المطلق لكتلة معينة من الغاز يتناسب طرديا مع درجة الحرارة المطلقة

عند ثبات الضغط .....

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

عند ثبات الحجم .....

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

الباب الثانى

قانون بويل وتشارلز المركب :-

محرك الديزل يأخذ الافضلية فى هذا القانون فالهواء (الغاز) يتم تغذيته فى غرفة الاحتراق ثم يتم تظليل الحجم من خلال مشوار الضغط مما يرفع درجة حرارة الهواء وضغطه وعند حقن الوقود الى ذلك الهواء المضغوط فانه يشتعل نتيجة لدرجة الحرارو المرتفعة نتيجة الانضغاط

ويعمل الاشتعال على رفع درجة الحرارة مما يعمل على تمدد الغازات المحترقة لتدقع المبكس الى اسفل خلال مشوار القدرة والضغط المضاف يعتمد بدرجة كبيرة على معدل الاحتراق والحرارو الموجودة فى الغازات والغير مفقودة خلال جدران الاسطوانة ونظام العادم ونفس هذه الاساسيات هى سبب الانفجار أو الاشتعال الذاتى فى محركات البنزين حيث يشتعل البنزين فى درجة حرارة اقل بكثير من وقود الديزل ومن قوانين بويل وتشارلز السابقة

نجد أن :

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} ..... = \frac{PV}{T} = R$$

وهذه المعادلة خاصة بوحدة الوزن وفى هذه الحالة يكون V هو الحجم النوعى (حجم وحدة الوزن) ويمكن كتابة المعادلة العامة لأى كتلة من الغاز لتكون :

$PV = MRT$ حيث أن M : كلتة الغاز

P : الضغط المطلق

V : حجم الكتلة M

قانون افوجادرو :

ينص القانون على ان الاحجام المتساوية للغازات تحتوى على نفس عدد الجزيئات عند نفس درجة الحرارة والضغط وبالتالى لأى حجم نجد أن كثافة غازين عند نفس درجة الحرارة والضغط تتناسب مع وزنها الذرى وبالتالى فان حجم أى غاز عند درجة حرارة صفر مئوية هى (273oK) و ضغط واحد أتموسفير هو (100 kPa) يكون مساويا 22.414 m3/kg mole

وللمعادلة $Pv = RT$

اذا عبر عن V وحدة الوزن فان قيمة الثابت R تحتلف باختلاف الغازات أما اذا عبرنا عن V كجم جزئ من الغاز فان الثابت R يكون ثابت عام لجميع الغازات ويسمى بالثابت العالمى وتكون قيمته كما يلى :

$$R = 8.314 \text{ j/g mole oK}$$

$$R = 1.987 \text{ cal/g mole oK}$$

الحرارة النوعية :-

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة درجة واحدة مئيوية أو هى عدد السعرات اللازمة لرفع درجة حرارة ١ جرام بمقدار درجة واحدة مئوية وتكون الحرارة النوعية ثابتة تقريبا للاجسام الصلبة والسوائل عند أى درجة حرارة أو ضغط ولكن هذا لا يكون صحيحا بالنسبة للغازات فاذا زاد المحتوى الغازى فى الحجم فان الغاز يبذل شغل ولا تظهر كل الطاقة الحرارية على شكل ارتفاع فى درجة الحرارة ويمكن توضيح ذلك بالقانون التالى :-

$$Q = M (T2-T1) = (U2-U1) + W$$

Where

Q = heat gained or rejected

M = mass of the gas

(U2-U1) = change in internal energy

C = specific heat

W = Work done

ومن المعادلة السابقة نجد أن كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة الحرارة بمقدار 1 oC تختلف باختلاف مقدار الشغل المبذول ويجدر هنا بيان أن الحرارة النوعية لها قيمة عند ثبات الحجم واخرى عند ثبات الضغط

Cv = *Specific heat at constant volume*

Cp = *Specific heat at constant pressure*

K = *Cp /Cv*

الباب الثانى

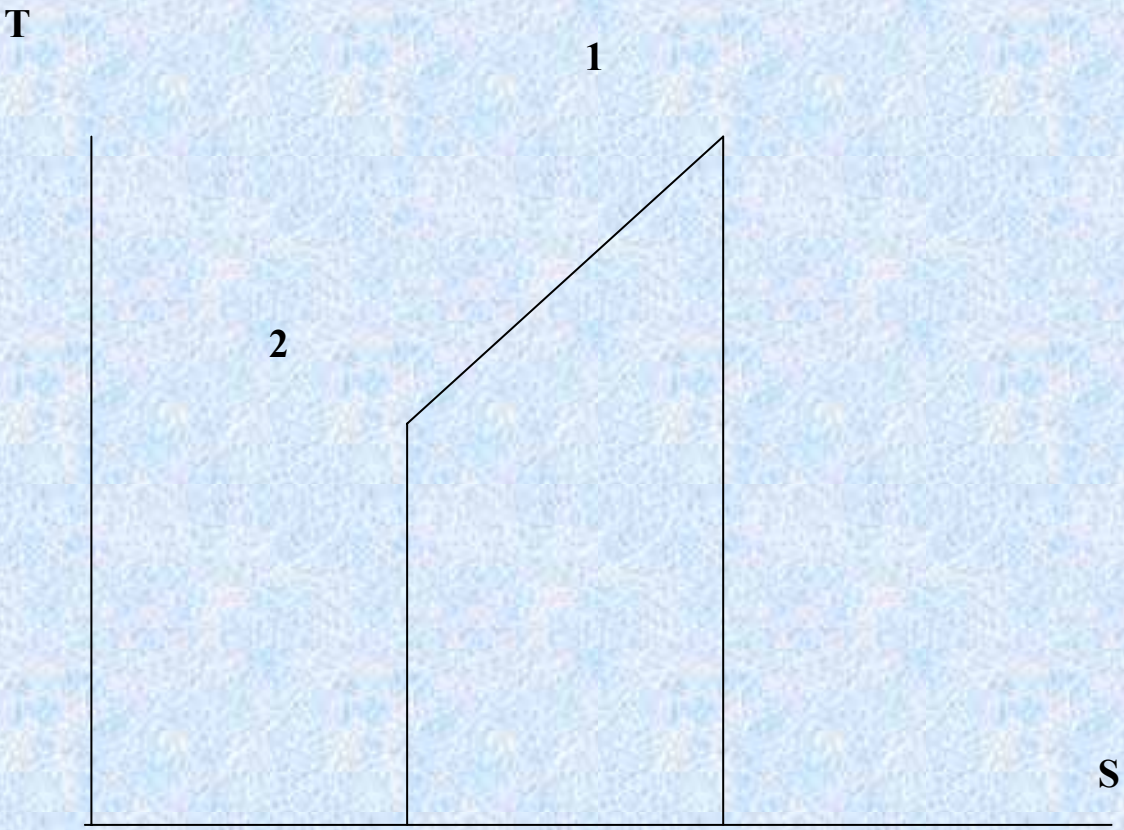
الانتروبى :

الانتروبى " S " يعبر عن خاصية اختيارية للمادة الشغالة وهو له تطبيقان كما يعرف فى الاستعمالات الهندسية :

المحور الافقى عند تمثيل انتقال الحرارة بيانيا

كمقياس لعدم قابلية الطاقة الحرارية للتحول الى شغل

اذا تم تمثيل الطاقة الحرارية " q " بيانيا كمساحة بحيث تكون درجة الحرارة " T " هى المحور الراسي كما هو موضح بشكل (٣)



شكل (٣)

وتكون العلاقة الممثلة لذلك كما يلى :

$$T.ds = dq$$

والانتروبى الموجب يعنى اضافة طاقة حرارية خلال العملية والانتروبى السالب يعنى سحب خلال العملية والانتروبى المساوى للصفر يعنى عدم سحب او اضافة طاقة حرارية ملموسة

الباب الثانى

التغير فى الطاقة :-

المعادلة العامة التى تعبر عن العلاقة بين كميات الانواع الثلاثة للطاقة المؤثرة على تغير معين لغاز مستمر يمكن كتابتها على الصورة التالية

$$Q = (U2-U1) + W$$

التغير مع ثبات الحجم :-

التسخين مع ثبات الحجم يمكن التعبير عنه بالخط ٢-١ كما هو موضح بالشكل رقم ٤ والحرارة المعطاه يمكن التعبير عنها كما يلى :

$$Q = M (T2-T1)$$

الباب الثانى

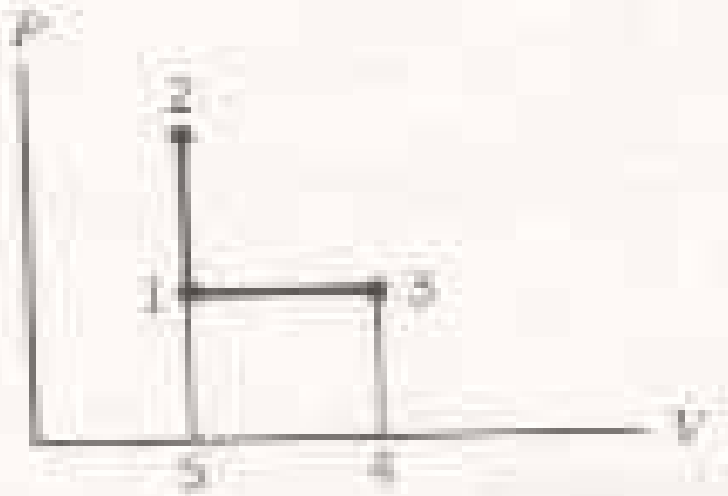


FIGURE 2.2 Constant-volume and constant-pressure curves on pressure-volume plane.

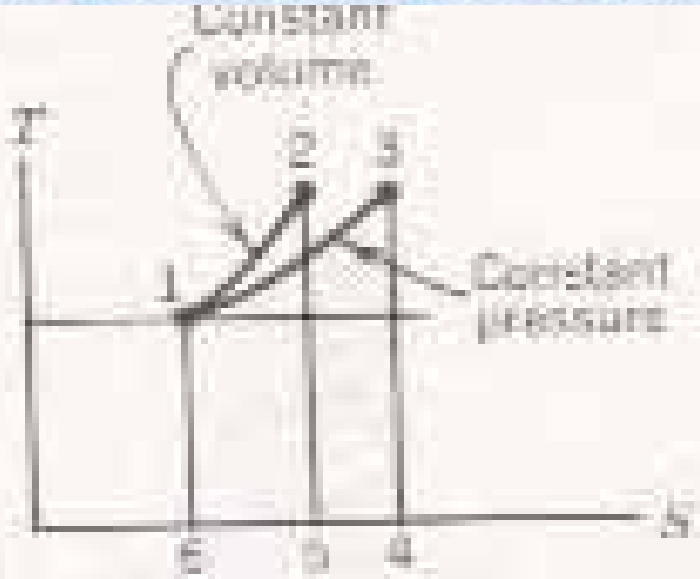


FIGURE 2.3 Constant-volume and constant-pressure curves on temperature-entropy plane.

ولا يكون هناك شغل مبذول بواسطة الغاز او عليه اى أن W=O وبالتالى لا يتوجد أى مساحة على المنحنى PV وبالتعويض فى المعادلة العامة نجد أن

$$CV(T2-T1) = (U2-U1) + 0$$

أى أن كل الحرارة المعطاه تظهر فى زيادة الطاقة الداخلية ومن المحقق أن الزيادة فى الطاقة الداخلية لأى غاز مثالى حقيقى يمكن تمثيلها : CV(T2-T1)

التغير مع ثبات الضغط :

يمكن تمثيل التسخين مع ثبات الضغط بالخط ٣-١ كما هو موضح بشكل ٤ والحرارة المعطاه يمكن التعبير عنها كما يلى :

$$Q = CV(T2-T1) = \text{area } 1\text{-}3\text{-}4\text{-}5 \text{ in pv diag}$$

والشغل المبذول يمكن التعبير عنه العلاقة

$$W = P(V2-V1) = \text{area } 1\text{-}3\text{-}4\text{-}5 \text{ in pv diag}$$

$$c_p(T_3 - T_1) = c_p(T_3 - T_1) + P(V_3 - V_1)$$

But

$$P_3V_3 = RT_3 \quad \text{and} \quad P_1V_1 = RT_1$$

وبالتعويض مع العلم بأن P1=P3 كما هو موضح بشكل رقم (٤)

$$c_p(T_3 - T_1) = c_p(T_3 - T_1) + R(T_3 - T_1)$$

$$\therefore c_p = c_e + R$$

$$c_p - c_e = R$$

التغير الايزوثيرمال :-

قانون بويل للغاز المثالى ينص على أن $PV = C =$ constant وهذا القانون بعتبر حالة خاصة للمعادلة : Pv^n حيث يكون n مساويا للوحدة ويمكن تمثيل تلك العطية بالخط ٢-١ كما هو موضح بالشكل رقم ٥

الباب الثانى

FIGURE
2.4 Isothermal and adiabatic compression lines on pressure-volume plane

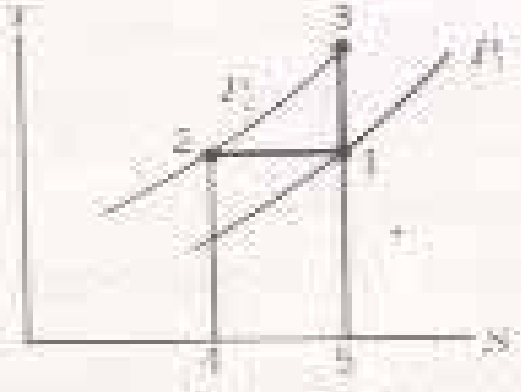


FIGURE
2.5 Isothermal and adiabatic compression lines on temperature–entropy plane

وكما هو موضح بشكل ٥ نجد أن الشغل الخارجى ممثل بالمساحة بين ١،٢ ويكون الشغل
المبذول خلال اى تغير فى الحجم من v1 الى v2 كما هو مبين بالمعادلة التالية :

$$w = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

وحيث أن PV=C عند أى نقطة اذن تكون CIV=P

$$w = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C}{V} dV = C\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = C[inV]_{V_1}^{V_2}$$

$$W = C\ (\ln\ V_2 - \ln\ V_1)$$

وكان عند الحالة الابتدائية تكون خاضعة للعلاقة $PV=C=P_1V_1$

$$W = P_1V_1\ (\ln\ V_2 - \ln\ V_1) = P_1V_1 \text{ in } \frac{V_2}{V_1}$$

$P_1V_1 = MRT$ and $\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$

ولأى كتلة للغاز نجد أن :-

$$W = MRT \ln \frac{V_2}{V_1} = MRT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

وحيث أن نسبة الانـضغاط " r " (Compression ratio)

تحسب من العلاقة :-

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

$$W = MRT \ln \frac{I}{r}$$

الباب الثانى

التغير الاديباتيكى :-

لا يقوم الغاز باستقبال أو طرد حرارة خلال التمدد او الانكماش الاديباتيكى ولهذا فان الشغل المبذول بواسطة الغاز خلال التمدد يتم بواسطة استهلاك الطاقة الداخلية وبالعكس فان الشغل المبذول على الغاز خلال الضغط يزيد من الطاقة الداخلية للغاز وبالنظر للشكل نجد أن الخط ٣-١ يمثل التغير الاديباتيكى من الضغط P1 الى الضغط P3 ويمثل الشغل البذول بالمساحة ١-٣ – ٥ - ٦ على منحنى PV وحيث أنه لا يوجد فقد اكتساب حرارة فان التغير ١-٣ لا يمثل اى مساحة على المنحنى TS

وتصبح معادلة الطاقة على النحو التالى :-

$$O = C_v(T_3 - T_1) + W$$

$$W = C_v(T_3 - T_1)$$

$$W = -C_v\left(\frac{P_3V_3}{R} - \frac{P_1V_1}{R}\right) = -\frac{1}{R}C_v(P_3V_3 - P_1V_1)$$

وحيث أن

$$K = \frac{C_p}{C_v} \quad , \quad R = C_p - C_v$$

$$W = -\frac{C_v}{C_v - C_p}(P_3V_3 - P_1V_1) = \frac{P_3V_3 - P_1V_1}{1-K} = \frac{P_1V_1 - P_3V_3}{K-1}$$

ولوحدة الكتلة للغاز حيث

PV = MRT

$$W = \frac{MR\ (T_1 - T_3)}{K - 1}$$

تعطى هذه المعادلة إشارة سالبة للضغط (أى وجود شغل على الغاز)
وإشارة موجبة للتمدد (أى عمل شغل بواسطة الغاز)

التقدير العام :

باعتبار أن التغير العام يتم من P1V1 و T1 الى P2V2 و T2 ويجعل الحرارة النوعية هى Cv نجد أن :

$$Q = (U_2 - U_1) + W$$

$$Q = C_v(T_2 - T_1)$$

ولوحدة الكتلة

$$(U_2 - U_1) = C_v(T_2 - T_1)$$

$$W = \int P dV$$

$$P_1 V_1^{\,n} = P V^{n}$$

$$P = P_1 V_1^{\,n} \frac{1}{V^{n}}$$

بالتعويض عن القيم السابقة نجد أن :

$$W = P_1 V_1^{\,n} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{n}} = P_1 V_1^{\,n} \int_{V_1}^{V_2} V^{-n} dv$$

$$= \frac{P_1 V_1^{\,n}}{1-n}\left(V_2^{\,1-n} - V_1^{\,1-n}\right)$$

$$= \frac{P_1 V_1^{n} V_2^{1-n} - P_1 V_1^{n} V_1^{1-n}}{1-n}$$

وبالتعويض حيث ان $P_1 V_1^{\,n} = P_2 V_2^{\,n}$

$$W = \frac{P_2 V_2^{n} V_2^{1-n} - P_1 V_1^{n} V_1^{1-n}}{1-n} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$$

وإذا كانت **n=k**

$$W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-k}$$

وبالتعبير عن الشغل يكون

$$W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$

وذلك بفرض أن الشغل يتم بواسطة الغاز وإذا أعطى الحل إشارة موجبة فهذا يعنى أن الغاز

يقوم ببذل الشغل عن طريق التمدد أما اذا كانت الإشارة سالبة فان الشغل يتم بذله على الغاز

عن طريق الضغط وبالتالى تكون الإشارة دليل على طبيعة أو اتجاه العملية

الباب الثانى

دورات آلات الاحتراق الداخلى

تم وضع الافتراضات التالية بهدف الحصول على اكبر قدر ممكن من القدرة من محركات الاحتراق الداخلى :-

١. النسبة بين سطح الاسطوانة وحجمها تكون أقل ما يمكن
٢. عملية التمدد تكون اسرع ما يمكن
٣. التمدد يكون اقصى ما يمكن
٤. الضغط عند بادية التمدد يكون اقصى ما يمكن

الباب الثانى

والعاملان الأولان صمما لتقليل الحرارة المفقودة خلال حوائط الاسطوانة وبالتالى الاحتفاظ بأكبر قدر ممكن والعامل الثالث يعنى اكبر شغل يتم عن طريق التمدد الكبير أما العامل الرابع فيعنى أن الضغط العالى خلال عملية التمدد يعطى اكبر شغل وقد تم بناء اول المحرك ناجح بناء على الافتراضات السابقة فى عام ١٩٨٧٨ ويتبع ورة otto وفيما يتم الاشغال بالشرارة لخليط من الهواء والوقود وتتم الدورة الكاملة خلال أربعة اشواط يتم الشحن فى الشروط الاول ثم يتم ضغط الشحنة فى الشوط الثانى وبعد اشعال لخليط المحترق فى الشوط الرابع والذى يبين دورة اوتو المثالية لمحرك رباعى الاشواط

الباب الثانى

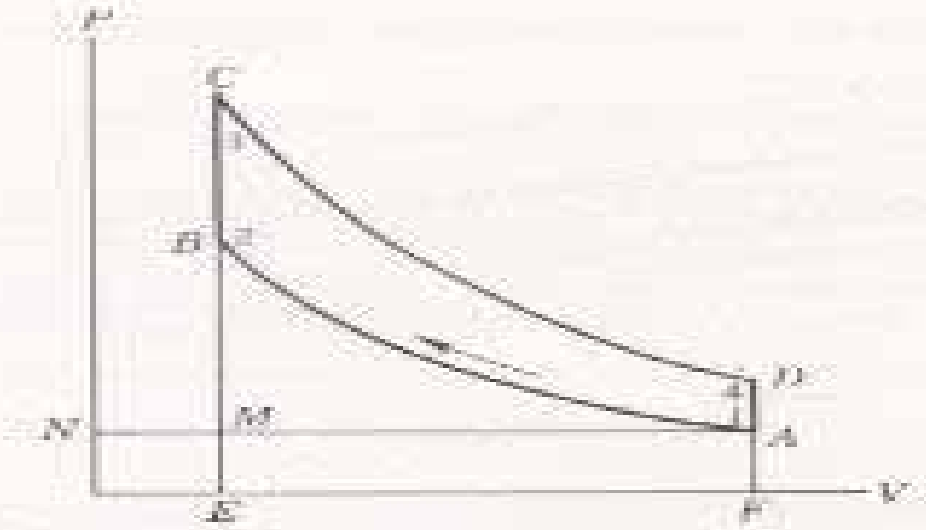


FIGURE 3.1 Ideal indicator diagram for a four-stroke-cycle engine.

MA تمثل اضافة الشحنة

AB تمثل ضغط ايباتيكى

BC اشتعال لحظى للشحنة وتسخينها عند ثبات الحجم

CD تمدد ايباتيكى للغاز الساخن

DA انخفاض لخطى فى الضغط تبعا للتمدد

AM طرد بقايا الشحنة

دورة أوتو المثالية :

باعتبار أن الدورة مثالية فانه يتم عمل بعض الافتراضات مع افتراض أن الأحداث الأربعة لدورة اوتو المثالية تتم خلال مشوارين مثلما يتم حقيقة فى المحركات ثنائية الاشواط ويمكننا وضع الافتراضات التالية :

الباب الثانى

١. لا يتم انتقال الحرارة خلال جدران المحرك
٢. لا يوجد احتكاك بين المكبس والاسطوانة
٣. الهواء فقط هو المستعمل داخل الاسطوانة
٤. يبدأ عمود المرفق عند بداية المشوار (Botton) مع T1, V1, P1
٥. يحدث ضغط اديباتكيى خلال AB وتمدد اديباتيكى خلال CD
٦. إضافة الحرارة عند ثبات الحجم تحدث خلال BC
وطرد الحرارة عند ثبات الحجم يحدث خلال DA

ويمكن حساب كفائة الدورة كما يلى :

الحرارة المضافة عند ثبات الحجم

$$Q_{in} = MC_v (T_3 - T_2)$$

الحرارة المفقودة عند ثبات الحجم

$$Q_{out} = MC_v (T_4 - T_1)$$

∴ كفاءة الدورة تكون :

$$\mu = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{MC_v (T_3 - T_2) - MC_v (T_4 - T_1)}{MC_v (T_3 - T_2)}$$

$$= I - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$= I - \frac{T_1 (\frac{T_4}{T_1} - 1)}{T_2 (\frac{T_3}{T_2} - 1)}$$

Since $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$

And $\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1}$

Since $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$ And $\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

And $$\frac{T_1}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$\mu = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$$

$$\mu = 1 - \frac{1}{(V_1 / V_2)^{k-1}}$$

$$= 1 - \frac{1}{\tau^{k-1}} = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{(k-1)/k}$$

ومما سبق يتضح أن كفاءة دورة أوتو المثالية تزداد بزيادة نسبة الكبس " r" و لا تعتمد على الحرارة المتولدة بواسطة الوقود و تعتمد فقط على المسار AB (شكل ١٠) لكن يجب تذكر أن العوامل خلاف نسبة الكبس تؤثر على الدورة الحقيقية التى سيتم مناقشتها لاحقا.

و الشغل المبذول خلال دورة أوتو يكون مساويا للمجموع الجبرى للشغل تحت منحنيات الضغط و التمدد . حيث الشغل نتيجة الكبس (الضغط) و الممثل للمسار FABE يكون سالبا بينما الشغل نتيجة التمدد و المثل بالمسار FDCE يكون موجبا . و بالتالى يمكن حساب الشغل كما هو مبين بالمعادلة التالية:

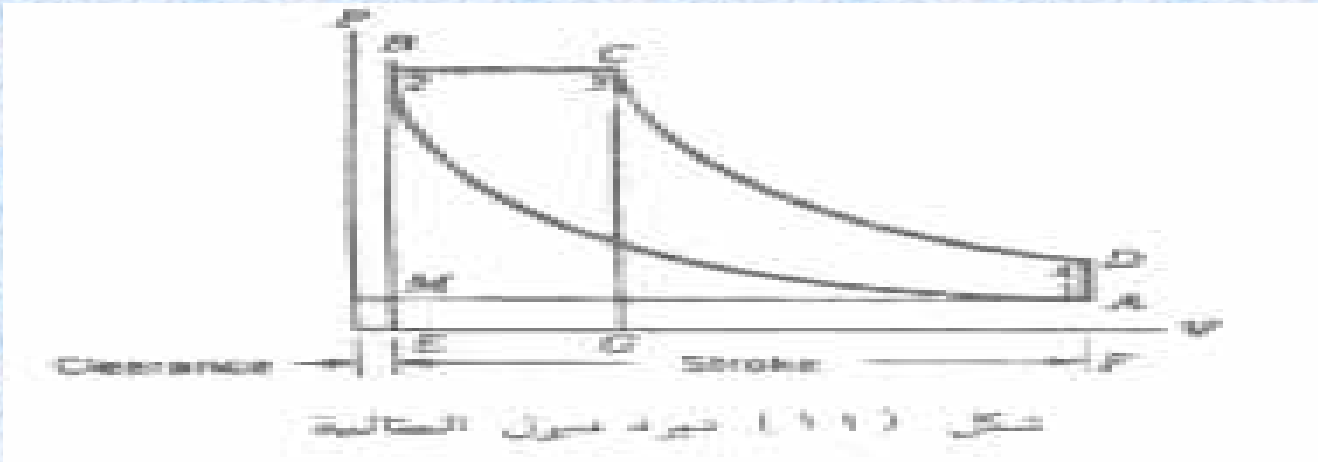
$$W=\frac{P_1V_1-P_2V_2}{k-1}+\frac{P_3V_3-P_4V_4}{k-1}$$

دورة ديزل المثالية :

تتم دورة ديزل عادة فى أربع أشواط كما هو الحال في دورة أوتو. و لكن الدائرة المثالية تجعلنا نفترض أنها ثنائية الأشواط حيث يفترض ان طرد العادم و دخول الشحنة لا يوجد بهما احتكاك و بالتالي يكونان غير مؤثرتان كما أنه يفترض أن الغاز المستعمل هو الهواء الجوى .

الباب الثانى

شكل (١١) يبين دورة ديزل المثالية و الذى يمكننا أن نتبين من خلاله أوجه الخلاف بينها و بين دورة أوتو و ذلك في العلمية الثنائية و هى عملية الاشتعال كما تختص دورة ديزل بارتفاع الضغط خلال عملية الإنضغاط و في محركات الديزل تتم عملية الضغط لشحنة الهواء فقط و المبينة بالمسار AB و لهذا لا توجد خطورة للاشتعال المبكر خلال عملية الضغط .



و بالتالي فان عوامل تحديد الضغط تنحصر فقط في الناحية الميكانيكية و درجة الحرارة . و كمية الحرارة و كفاءة دورة ديزل يمكن إيجادها بنفس الطريقة التى اتبعت في دورة أوتو . و لكن يجب ملاحظة أن كفاءة دورة ديزل لا تتأثر فقط بنسبة الكبس و لكن تتأثر أيضا بطول الفترة الزمنية التى يتم خلالها إضافة الحرارة للهواء المضغوط. و هنا نجد أن اضافة الحرارة تكون أكثر فاعلية من اضافة الوقود و بالتالي فان كتلة الشحنة تظل ثابتة .

و بالعودة لشكل (١١) نجد أنه لا توجد حرارة مضافة خلال الضغط الاديباتيكى 1 to 2 و لكن تضاف الحرارة خلال المسار 2-3

$$Q_{in} = Mc_v(T_3 - T_2)$$

و كذلك لا يتم طرد الحرارة خلال التمدد الاديباتيكى 3-4 و لكن يتم المسار 4-1

$$Q_{out} = Mc_v(T_4 - T_1)$$

حيث أن:

الباب الثانى

Q = الحرارة المكتسبة أو المفقودة للنظام

M = الكتلة الكلية لمحتويات الاسطوانة

Cp = الحرارة النوعية للهواء عند ثبات الضغط

Cv = الحرارة النوعية للهواء عند ثبات الحجم

T = درجة الحرارة المطلقة

$k = Cv / Cp = 1.4$ وللهواء

وكفاءة الدورة يمكن حسابها من المعادلة :

$$\mu = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$= 1 - \frac{MC_v(T_4 - T_1)}{MC_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{T_1}{T_2}\left[\frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{k\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}\right]$$

ومن خلال العلاقة بين V,T نجد أن :

$$T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2}$$ at constant pressure

Also $$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1}$$ adiabatically

وحيث أن V4 = V1

$$T_4 = T_2 \frac{V_3}{V_2} \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_2 \frac{(V_3/V_2)^k}{(V_4/V_2)^{k-1}}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_4}{V_2} \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{(V_4/V_2)^{k-1}(V_3/V_2)^k}{(V_4/V_2)^{k-1}} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^k$$

$$\mu = 1 - \frac{T_1(V_3/V_2)^k - 1}{kT_2(V_3/V_2) - 1}$$

$$T_1 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1}$$

$$\mu = 1 - \left\{ \frac{(V_2 / V_1)^{k-1} \left[(V_3 / V_2)^k - 1 \right]}{k \left[(V_3 / V_2) - 1 \right]} \right\}$$

$$= 1 - \frac{1}{(V_1 / V_2)^{k-1}} \left[\frac{(V_3 / V_2)^k - 1}{k \left[(V_3 / V_2) - 1 \right]} \right]$$

$$\mu = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\left[\frac{(V_3/V_2)^k - 1}{k(V_3/V_2) - 1}\right]$$

و من المعدلة السابقة يتضح أن الكفاءة تزداد بزيادة نسبة الكبس "r"(r=V1/V2) و كذلك تزداد الكفاءة بنقص نسبة ايقاف ضخ الوقود V3/V2 وبمعنى آخر فان أقصى كفاءة تتحقق بزيادة نسبة الكبس و قطع الوقود مبكرا . و إذا كانت نسبة ايقاف ضخ الوقود مساوية للصفر فإن كفاءة الدورة تساوى مثيلتها فى دورة أوتو. إذا تساوت نسبة الكبس "r" و عموما فإنه لنفس نسبة الكبس نجد أن كفاءة دورة الديزل أقل من كفاءة دورة أوتو.

الباب الثانى

الشغل الخارجى للدورة المثالية يمكن حسابه من المجموع الجبرى للشغل تحت منحنيات الضغط و التمدد و للدورة المبينة فى شكل (١١) فإنه يوجد شغل سالب تحت منحنى الضغط الاديباتيكى و الممثل بالمساحة ABEF و شغل موجب تحت منحنى ثبات الضغط BC و منحنى التمدد الاديباتيكى CD و الممثل بالمساحة EBCDF

$$W=\frac{PV_1-P_2V_2}{k-1}+\frac{P_3V_3-P_4V_4}{k-1}+P_{23}(V_3-V_2)$$

الباب الثانى

الدورة الحقيقية :

كفاءة الدورة الحقيقية تكون في العادة أقل من كفاءة الدورة المثالية و هذا النقص ناتج أساسا من عدم توافر الافتراضات التى سبق وضعها للدورة المثالية في الدورة الحقيقية حيث نجد ما يلى :

- **الغاز الداخل ليس هواء فقط .**
- **الحرارة النوعية ليست ثابتة.**
- **حدوث ردود فعل كيميائية أثناء الدورة .**
- **انتقال الحرارة داخل جدران الاسطوانة .**

الباب الثانى

و غالبا ما تعطى كفاءة محرك الاحتراق الداخلى كنسبة بين الشغل المكافئ للمساحة خلال التمثيل البياني للدورة الحقيقية الي الشغل المكافئ لحرارة اشتعال الوقود المستخدم . و هذه النسبة تعبر عنها كنسبة مئوية و تسمى الكفاءة الحرارية البيانية. و بالنظر من هذه الوجهة نجد أن المحرك يعتبر ذو كفاءة منخفضة لتحويل الطاقة حيث تتراوح كفاءته فيما بين 25 to 35 % و للمقارنة العادلة يجب أن تكون الكفاءة النسبية هى المقياس لأداء المحرك حيث تعرف الكفاءة النسبية بأنها النسبة بين الكفاءة الحرارية للمحرك و كفاءة العملية التى صمم عليها أداء المحرك . و تعتبر هذه الكفاءة مقياسا لدقة التصميم و أداء المحرك.

و من الاختلافات الأخرى لدقة المحرك نجد أن نسبة الهواء للوقود و المعطاة للمحرك تكون غير منتظمة داخل الاسطوانات و ذلك بالنسبة لدقة المحركات متعددة الاسطوانات . كما أن مشوار السحب يبدأ عند ضغط أقل من الضغط الجوى بينما مشوار الطرد يتم عند ضغط أعلى من الضغط الجوى . و كنتيجة لقوى القصور للخليط المسحوب فإن صمام السحب ليس بالضرورة أن يغلق عند نهاية شوط السحب أو يفتح عند بداية شوط السحب .

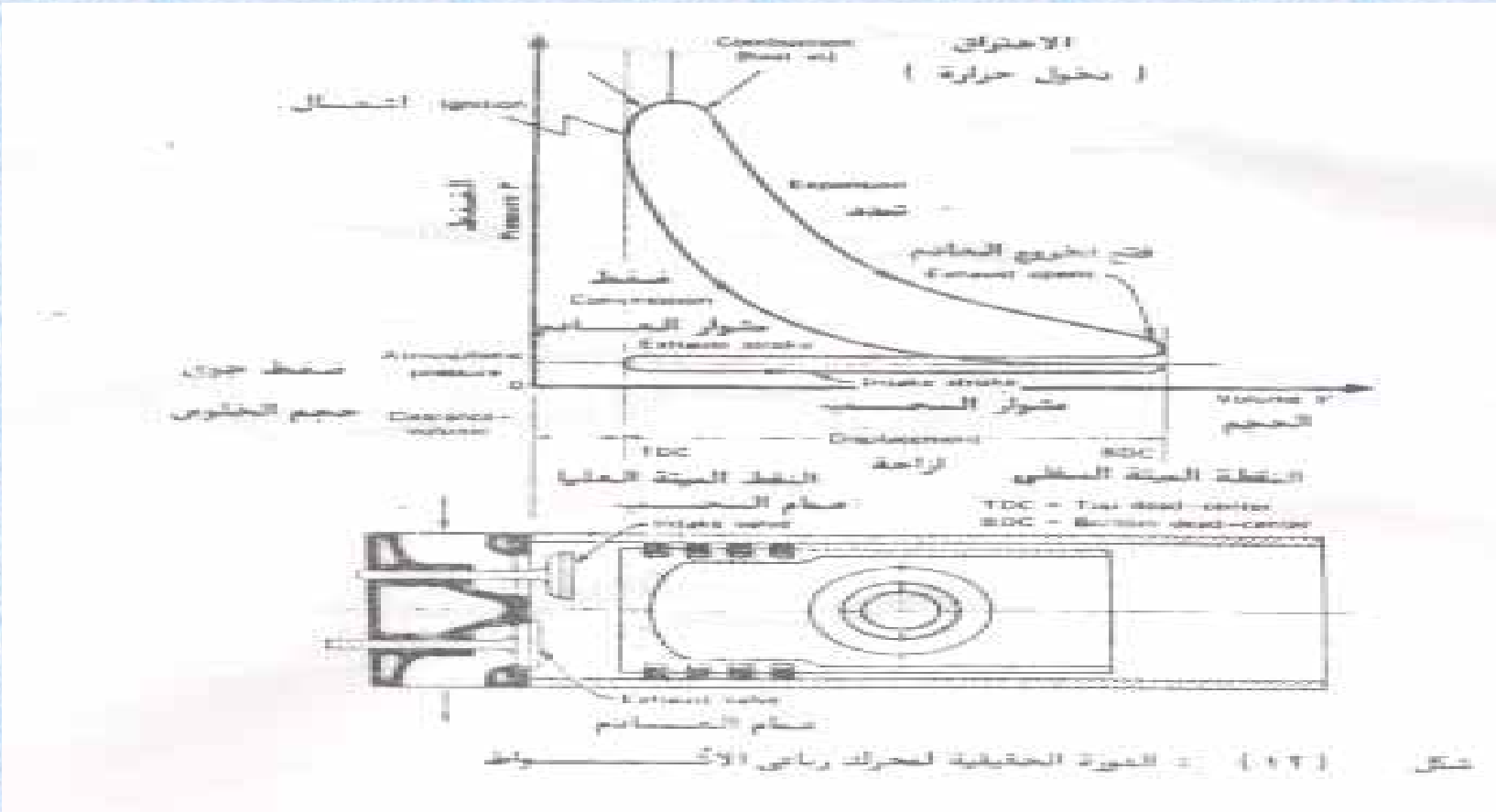
و كذلك فإن صمام الطرد يفتح قبل نهاية شوط التمدد.

و سيتم لاحقا مناقشة توقيت فتح و غلق الصمامات.

و توجد حرارة تنتقل خلال جدران الاسطوانة أثناء الدورة و كذلك التسرب أثناء الشنابر و الصمامات .

و عملية الاحتراق لا تتم لحظيا كما هو مفترض في دورة أوتو المثالية و لكن تأخذ بعض الوقت . و كذلك يكون الاحتراق غير تام أما لسواء خلط الهواء بالوقود أو لعدم وجود أكسجين كافى .

الباب الثانى



في دورة الهواء القياسية يعود الهواء الي حالته الأصلية بعد إجراء بعض العمليات في الدورة . التغير في طاقة الوضع و الحركة و الطاقة الداخلية للنظام في نهاية الدورة يساوى صفر.

$$q_c = \frac{W_c}{J} \rightarrow q_1 - q_2 = \frac{W_c}{J}$$

حيث أن

Q1 & q2 : الحرارة المكتسبة والمفقودة خلال الدورة

Qc : المنقولة خلال الدورة الحرارة

Wc : الشغل لكل كجم بالدورة

J : Kg.m/kcal المكافئ الميكانيكى الحرارى

اذن الكفاءة الحرارية

$$\eta_{th} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{W_c}{Jq_1}$$

وبالنظام الدولى

$$\eta_{th} = \frac{W_c}{q_1}$$

الباب الثانى

للمقارنة بين المحركات ذات الأحجام و الاسطوانات المختلفة يستخدم الشغل المبذول لوحدة الحجم من المحرك و يسمى ذلك (m.e.p.)

$$m.e.p = \frac{W_c}{V_{\max} - V_{\min}} Kg/m^2 or NM/m^2$$

حيث أن

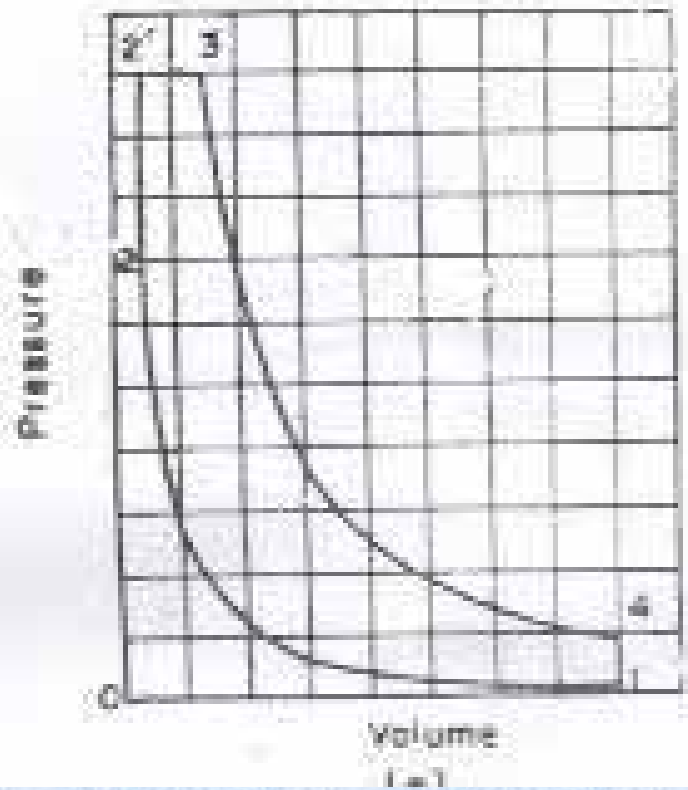
$V_{\max}$ و $V_{\min}$ هما الحد الادنى والاقصى لوسط التشغيل

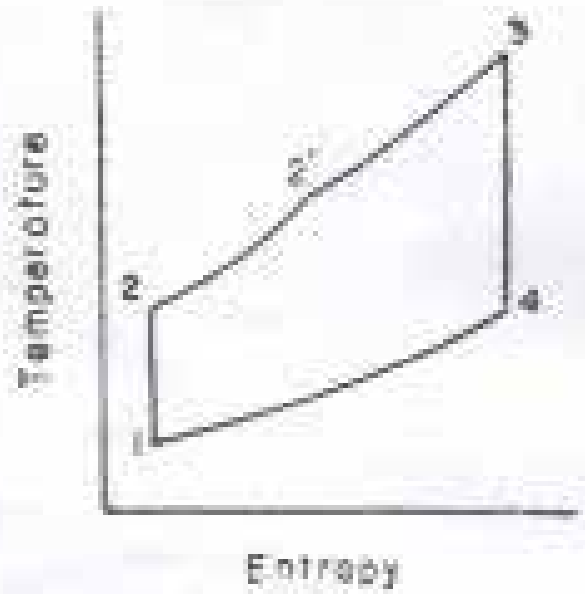
الباب الثانى

دورة إضافة الحرارة المجمعة (الدورة المزدوجة)

يحدث الضغط والتمدد فى هذه الدورة بدون انتقال حرارة وتضاف الحرارة جزئيا عند حجم ثابت q'1 وعند ضغط ثابت q"1

Fig. : Pressure Volume and Temperature entropy diagram of a cycle with combined heat addition or dual cycle





الباب الثانى

1-2 : adiabatic compression

2-2˝ : constant volume heat addition q1˝

2˝-3 : constant Pressure heat addition q2˝

3-4 : adiabatic expansion

4-1 : constant volume heat rejection q1

The amount of heat received during a cycle per kg of the working medium is given by ,

$$q_1 = C_v\left(T_2^{/} - T_2\right) + C_p\left(T_3 - T_2^{/}\right) kcal/kg$$

Where Cv and Cp are in kcal/kg oC

The amount of heat rejected per kg of the working medium (inmagnitude)

$$q_2 = C_v\left(T_4 - T_1\right)$$

The thermal efficiency of the cycle will be ,

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$$= 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_2' - T_2) + C_p(T_3 - T_2')}$$

$$= 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_2' - T_2) + k(T_3 - T_2')}$$

$$= 1 - \frac{T_1}{T_2}\left(\frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{k\left(\frac{T_3}{T_2}\right) - (k-1)\left(\frac{T_2'}{T_2}\right) - 1} \right)$$

Let us take

$$\frac{V_1}{V_2} = r_v$$ (Compression ratio)

$$\frac{V_3}{V_2} = r_c$$ (Cute-off ratio)

$$\frac{P_2'}{P_2} = r_p$$ (Pressure ratio during constant volume heat addition)

Then

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = T_1\left(r_v\right)^{k-1}$$

$$T_2^{/} = T_2\frac{P_2^{/}}{P_2} = T_1\left(r_v\right)^{k-1} \times r_p$$

$$T_3 = T_2^{/}\left(\frac{V_3}{V_2}\right) = T_1\left(r_v\right)^{k-1}\left(r_p\right)\left(r_c\right)$$

$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{k-1} = T_3\left[\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\left(\frac{V_3}{V_2}\right)\right]^{k-1}$$

$$\because V_4 = V_1$$

$$= T_3\left(\frac{r_c}{r_v}\right)^{k-1} = T_1\left(r_p\right)\left(r_c\right)^k$$

$$\therefore \eta_{th} = 1 - \frac{1}{(r_v)^{k-1}}\left[\frac{r_p r_c^k - 1}{k r_p r_c - (k-1) r_p - 1}\right] \qquad \text{(2D}$$

الضغط المتوسط الفعال : The mean effective pressure of the cycle

$$q_1 = C_v\left(T_2^{/} - T_2\right) + C_p\left(T_3 - T_2^{/}\right)$$

$$= C_v T_1 \left(r_v\right)^{k-1}\left(r_p - 1\right) + C_p T_1 r_p \left(r_v\right)^{k-1}\left(r_c - 1\right)$$

Putting the values ,

$$C_v = \frac{R}{k - 1} \quad \textbf{and} \quad T_1 = \frac{P_1 V_1}{R}$$

$$q_1 = \frac{P_1 V_1}{k-1} - (r_v)^{k-1}\left[(r_p - 1) + k r_p (r_c - 1)\right]$$

$$(m.e.p)_{in} = \frac{W_c}{(V_1 - V_2)}$$

$$= \frac{q_1 \times \eta_{th}}{V_1(\eta_v - 1)} \times r_v \qquad \textbf{(2e)}$$

$$= \frac{(r_v)^k \eta_{th} P_1}{(k-1)(r_v - 1)}\left[(r_p - 1) + k r_p (r_c - 1)\right] \qquad \textbf{(2f)}$$

لايجاد كفاءة محركات دورة اوتو (عند ثبوت الحجم)
وكذلك متوسط الضغط الفعال نعوض عن rc = 1 فى المعادلة 2D و 2f

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{(r_v)^{k-1}} \left(\frac{r_p - 1}{r_p - 1} \right) = 1 - \frac{1}{(r_v)^{k-1}}$$

And

$$(m.e.p.)_{in} = \frac{(r_v)^k \eta_{th} P_1}{(k-1)(r_v - 1)} (r_p - 1) \qquad \textbf{(2h)}$$

لايجاد كفاءة محركات دورة ديزل (عند ثبوت الضغط)
وكذلك متوسط الضغط

الفعال نعوض عن rp = 1 فى المعادلة 2D و 2f

$$\eta_{th} = 1 - \frac{2}{(r_v)^{k-1}} \left(\frac{(r_v)^k - 1}{k r_c - (k-1) - 1} \right)$$

$$= 1 - \frac{1}{k (r_v)^{k-1}} \left[\frac{(r_c)^k - 1}{r_c - 1} \right]$$

And

$$(m.e.p.)_{in} = \frac{(r_v)^k \eta_{th} P_1}{(k-1)(r_v-1)}[k(r_c-1)] \qquad \textbf{(2J)}$$

الباب الثانى

تأثير العوامل المختلفة على أداء الدورة:

- العامل المذكورة فى المعادلة 2D تؤثر على أداء الدورة .
- زيادة k (الأس الأديباتى) و كذلك rv (نسبة الكبس) تزيد الكفاءة η_{th} , k , r_v , P_1
- زيادة الـ rp (نسبة الضغط) ونقصان rc (نسبة القطع) تزيد الكفاءة
- الضغط المتوسط الفعال يزداد بزيادة

الباب الثانى

في محركات الديزل التى تعمل على الدورة المزدوجة نجد أن الجزء الإبتدائى للوقود المحقون يحدث له اشتعال فجائي و يمكن اعتبار ذلك إضافة للحرارة عند ثبوت الحجم و الجزء الباقي من الحرارة يضاف تقريبا عند ضغط ثابت . و يجب أن تستخدم نسبة كبس عالية في تلك المحركات لنضمن ضغط كبير كفيل بحرق الوقود عند حقنه.

إضافة الحرارة أيضا في محركات الشرارة لا تتم بدقة عند ثبوت الحجم لأن عملية الاحتراق لا تتم لحظيا و لكن تأخذ فترة من الوقت . فنجد أن الفترة الأخيرة من عملية الاحتراق تتم تقريبا عند ثبوت الضغط حيث أن الشحنة في الفترة الأخيرة تكون قليلة و يحدث زيادة في الحجم مما يجعل الضغط تقريبا ثابت . أى يمكن القول أن هناك أيضا يوجد اضافة حرارة بطريقة مزدوجة .

الباب الثانى

الكفاءة الحرارية لمحركات الديزل أعلى من البنزين بسبب نسبة الكبس العالية للديزل ، كما وجد أن الكفاءة للدورة المزدوجة تأخذ قيم متوسطة بين ثنوت الضغط و الحجم عند نفس نسبة الكبس و كمية الحرارة المضافة لكل كجم هواء.

الباب الثانى

دورة الهواء – وقود:

هذه الدورة تكون قريبة من الدورات الحقيقية عن دورة الهواء القياسية . وسط التشغيل في شوط الضغط عبارة عن هواء و وقود . و منتجات إحتراق من الدورة السابقة و ذلك في محركات الشرارة أو هواء و منتجات احتراق في دورة بثبوت الضغط (الديزل).

الباب الثانى

- لا تضاف الحرارة في هذه الدورات من الخارج و لكن يحدث تفاعل كيميائي و احتراق داخل الاسطوانات .
- وسط التشغيل يكون خليط من أنواع الاحتراق في شوط التمدد.
- الدورة غير كاملة من وجهة نظر الثرموديناميكا ، حيث أن هذا الاحتراق غير رجعية و لكن يمكن اعتبارها دورية على أساس أن نفس الإجراءات تتم بصفة تكرارية .
- كمية الحرارة تكون عبارة عن كمية الوقود بالدورة مضروبا في القيمة الحرارية له.
- تقاس الكفاءة بكمية الشغل المبذول مقسوما على القيمة الحرارية للوقود .

و الفروض لتلك الدورات هى :-

١- وسط التشغيل عبارة عن غازات حقيقية مماثلة للواقع .

٢- لا يوجد تبادل حراري أثناء الانضغاط و الاحتراق و التمدد

٣- لا يحدث تغيرات كيميائية للهواء أو الوقود قبل الاحتراق .

٤- وشط التشغيل في حالة اتزان حراري بعد الاحتراق .

الباب الثانى

الاحتراق عند ثبوت الحجم لدورة الهواء – وقود:-

الضغط يكون عكسيا عندما يكون الإنتروبى من V1 إلي V2 يحدث الاحتراق عند V2 عند ثبوت الحجم . يتحول مخلوط الهواء و الوقود الي منتجات احتراق . حيث أن وسط التشغيل عبارة عن غازات حقيقية فيحدث تفكك لمنتجات الاحتراق حتى يحدث اتزان حرارى . متوسط الحرارة النوعية للوسط تتغير بتغير درجة الحرارة و التركيب . نتيجة لذلك فإن أقصى ضغط و درجة حرارة أقل من نظيرتها من نظيرتها في دورة الهواء عند نفس الحرارة المضافة .

الباب الثانى

- يحدث تمدد أدبياتى من (V3 = V2) الى (V4 = V1) يحدث طرد حرارة عند V4

- لسهولة التحليل Kcom = Kexp = 1.3 عندما يكون rv = 5.9

الباب الثانى

درجة الحرارة في نهاية الاحتراق لهذه الدورة تكون أقل من دورة الهواء للأسباب التالية :

١. الحرارة النوعية المتوسطة تكون أعلى (سوف يتم شرحها فيما بعد) .

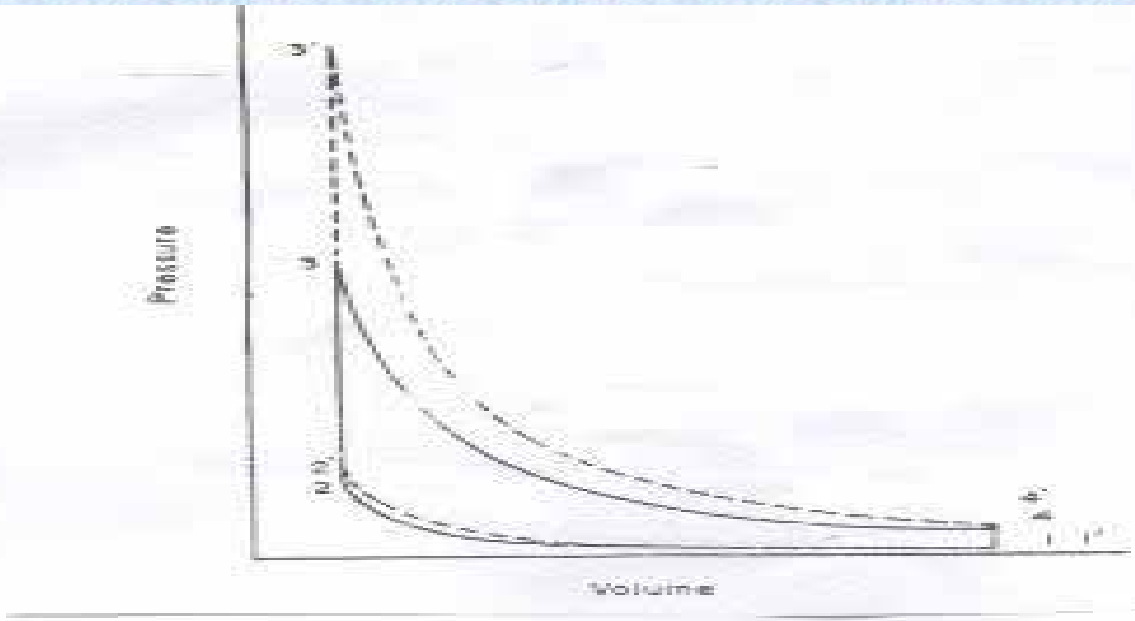
٢. نتيجة للتفكك dissociation ليس كل H2 تتحول الى H2O وليس كل C تتحول الى Co2(سوف يتم شرحها فيما بعد).

٣. لاختلاف عدد الجزيئات قبل و بعد الاحتراق . حيث يعتمد ذلك على نسبة الهواء و الوقود و الضغط و درجة الحرارة بعد الاحتراق حسب المعادلة:

$$PV=NRT$$

الباب الثانى

و للتغلب على مشاكل حساب الحرارة النوعية يمكن استخدام معادلات رياضية تقريبية لحسابها ، أما بالنسبة للتفكك فيمكن استخدام معامل تصحيح لدرجة الحرارة لعمل حساب



الباب الثانى

الاحتراق عند ثبوت الضغط لدورة الهواء – وقود:-

يمكن فهم الدورة كما بالرسم .

- درجة الحرارة القصوى أقل في هذه الدورة عن الدورة المناظرة لها عند ثبوت الحجم.
- تأثير التفكك يمكن إهماله في هذه الدورة

الباب الثانى

الحرارة النوعية:

تزداد الحرارة النوعية في جميع الغازات بارتفاع درجة الحرارة ، و هذه الزيادة لا تخضع لأي قانون خاص ، و التفسير الطبيعي لحدوث الزيادة في الحرارة النوعية نتيجة لزيادة درجات الحرارة يعود الي جزء كبير من الحرارة الناتجة تستخدم في تحريك الذرات داخل الجزيئات و بالتالي فان الطاقة التى تستخدم في تحريك الذرات لا تشترك في زيادة درجات الحرارة .

الباب الثانى

و تعرف الحرارة النوعية بأنها الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحدة كتلة من المادة درجة واحدة . لذلك تحتاج لي كمية أكبر من الحرارة ارفع درجة حرارتها . و إذا أخذنا التغير في الحرارة النوعية بعين الاعتبار خلال شوط الانضغاط فنجد أن الحرارة النهائية و الضغط سوف يكونا أقل فيما لو افترضنا وجود قيم ثابتة للحرارة النوعية.

الباب الثانى

التفكك:-

يطلق على عملية انفصال بعض جزيئات الاحتراق في درجات الحرارة العالية بالتفكك . و هذه تختلف عن عملية (الانحلال) حيث أنها رجعية .عملية التفكك تزداد بزيادة درجات الحرارة ، و خلالها يتم امتصاص كمية كبيرة من الحرارة و هذه الحرارة الممتصة يتم تحريرها مرة أخرى في حالة اتحاد العناصر نتيجة لانخفاض درجة الحرارة . و بالرغم من استرجاع الحرارة أثناء عملية الاتحاد إلا أنها تكون متأخرة و قسم من هذه الحرارة يخرج من غازات العادم .

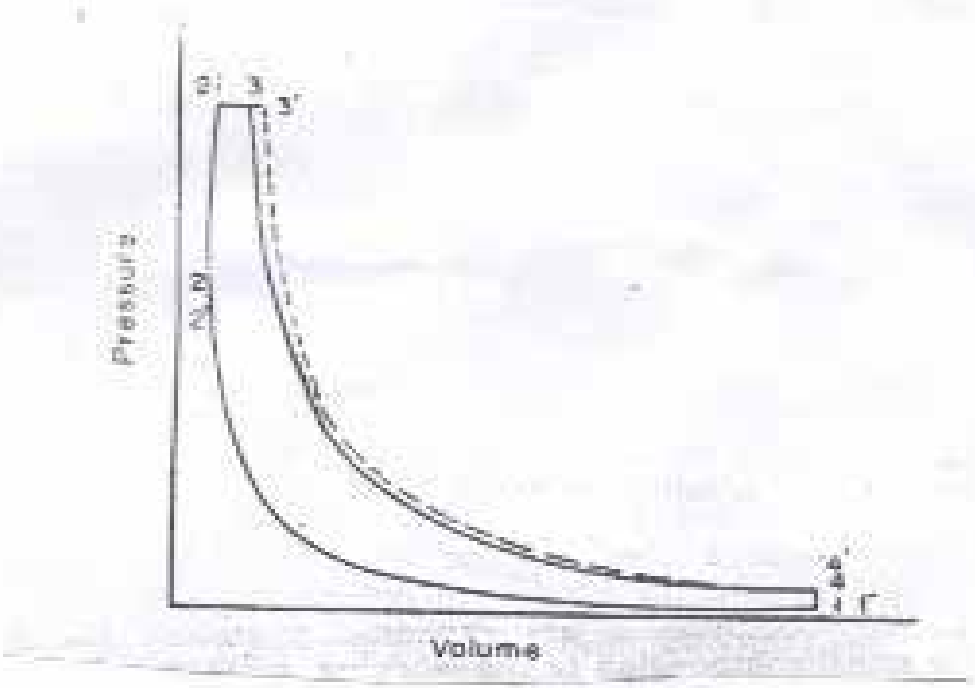
الباب الثانى

و يعمل التفكك على كبت جزء من الحرارة أثناء عملية الاحتراق و من ثم تحريرها في عملية التمدد اللاحقة ، و هذه الحالة مماثلة لتأثير الحرارة النوعية و لكنها أقل تأثيرا بتفكك ثاني أكسيد الكربون CO2 و الأكسجينO2 و الماء الي أكسجين و أيدروجين . و يلاحظ أن التفكك يؤدى الي تقليل درجة الحرارة و بالتالي الضغط عند بداية شوط التمدد و بالتالي الي خسائر في القدرة و الكفاءة .

الباب الثانى

ويلاحظ أن وجود CO_2 فى الغازات يحاول منع حدوث التفكك ، و في حالة الخليط الفقير لا ترتفع درجات الحرارة كثيرا و هذا يؤدى الي عدم حدوث التفكك . و بذلك يمكن القول أن ظاهرة التفكك تحدث بقيمتها العظمى عندما يكون الخليط صحيح كيميائيا و يضعف عندما يكون الخليط غنيا أو فقيرا.

الباب الثانى



الباب الثانى

أمثلة توضيحية

محركات كارنوت : مصدر حرارة

محركات كارنوت كفاءته ٣٠% يطرد الحرارة الي بركة تبريد بدرجة (٢٧) درجة مئوية . و إذا كانت بركة التبريد تستلم (٨٤٠) كجول/الدقيقة . جد القدرة للمحرك و كذلك درجة حرارة المصدر الحرارى . لاحظ الشكل (22-a) .

الحـــــــــل

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$$

$$0.3 = \frac{T_1 - 300}{T_1}, T_1 = 428.6 \text{ك}, 155.6 \text{م}^o$$

$$0.3 = \frac{Q_1 - 840}{Q_1}$$

$$\therefore Q_1 = 840/0.7 = 1200$$ كجول / دقيقة

$$= 1200 - 840 = 360$$ كجول / دقيقة

$$\therefore P = 360/60 = 6$$ قدرة المحرك (كواط)

دورة أوتو : كفاءة الهواء القياسية .

محرك يعمل على دورة أوتو . قطر الاسطوانة الداخلى (١٧) سم و طول الشوط (٣٠) سم . حجم الخلوص للمحرك (٢٠٢٥ × ١٠-٦) . احسب كفاءة الهواء القياسية.

الحـــــــــــل

لاحظ الشكل (٢,٨)

الحجم المكتسح = $(\pi \quad / \quad 4 \ ) \ d^{\ 2}$

$$= (\pi / 4)(17)^2 \times 30 = 6800 \quad cm^3$$

حجم الخلوص = ٢٠٢٥ × ١٠-٦ × ٦١٠ = ٢٠٢٥ سم٣

حجم الاسطوانة الكلى = ٢٠٢٥ + ٦٨٠٠ = ٨٨٢٥ سم٣

نسبة الانضغاط = ٨٨٢٥/٢٠٢٥ = ٤,٣٥

كفاءة الهواء القياسية =

$$= 1 - \frac{1}{r^{\gamma} - 1} = 1 - \frac{1}{(4.35)^{1.4-1}} 1 - 0.556 = 44.4 \quad \%$$

دورة أوتو :(T.V.P.) فى الزاويا البارزة و نسبة الحرارة المجهزة الى الحرارة المطرودة.

دورة أوتومثالية نسبة الضغط فيها (6) ، مقدار الضغط الابتدائى فيها (1) بار و درجة حرارة الهواء الابتدائية (100) م.

أقصى ضغط فى الدورة (35) بار احسب في حالة سريان (1) كغم نم الهواء ما يلى :

قيم (الضغط، الحجم ، درجة الحرارة) في الزوايا الأربعة للدورة و ما هي نسبة الحرارة المجهزة الي الحرارة المطرودة .

$$R = 0.287$$

$$\gamma = 1.4$$

ثابت الغاز بالنسبة للهواء كجول/كغم.ك

الحـــــــــل

لاحظ الشكل ٢,٢١

النقطة ١

الضغط = ١ بار ، درجة الحرارة = ١٠٠م

$$P1V1 = mRT$$

$$\therefore V_1 = \frac{1 \times 0.287 \times 373}{1 \times 10^2} = 1.092\, m^3$$

النقطة ٢

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$

$$\therefore P_2 = P_1 (V_1 / V_2)^{\gamma} = 1 \times 6^{1.4} = 12.3$$ بار

$$V_2 = V_1 / 6 = 1.092 / 6 = 0.182 m^3$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\therefore T_2 = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} T_1 = \frac{12.3 \times 0.182 \times 373}{1 \times 1.092} = 765K$$ **or 492m**

النقطة ٣

$$V_3 = V_2 = 1.182 m^3 , P_3 = 35 bar$$

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$T_3 = \frac{P_2}{P_2} T_2 = \frac{35}{12.3} \times 765 = 2075$$

النقطة ٤

$$P_3 V_3 = P_4 V_4$$

$$P_4 = P_3 (\frac{V_3}{V_4})^k = 35 \times (\frac{1}{6})^{1.4} = 2.84 bar$$

$$V_4 = V_1 = 1.092 m^3$$

$$\because P_4 / T_4 = P_1 / T_1$$

$$\therefore T_4 = T_1 \frac{P_4}{P_1} = 373 \times \frac{2.84}{1} = 1007 \quad \textbf{or 734} \quad m^\circ$$