

ديناميكا حرارية (thermodynamics)

الفصل الثاني

ماكينات الإزاحة الموجبة

(Positive Displacement Machines)

Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman khayal

د. أسامة محمد المرضي سليمان خيال

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

عطبرة، السودان

January 2019

الفصل الثاني

ماكينات الإزاحة الموجبة

(Positive Displacement Machines)

2.1 مدخل: (Introduction)

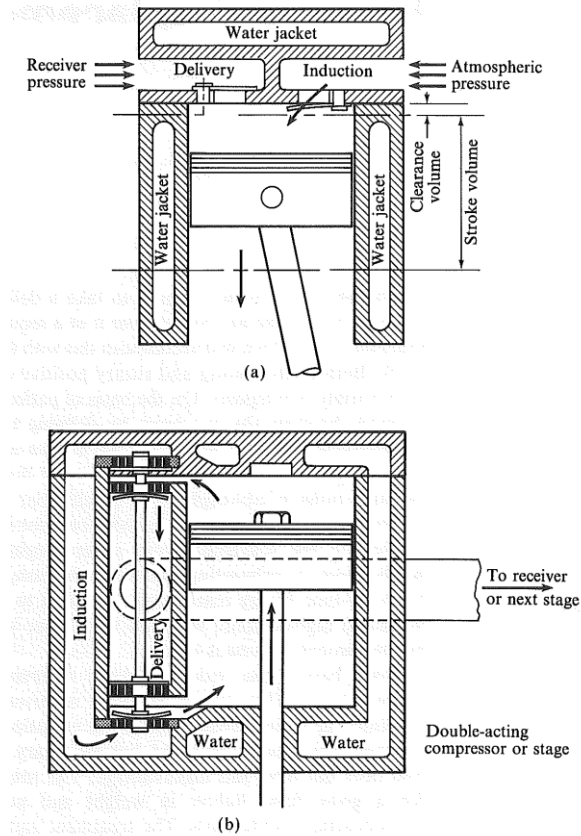
وظيفة الضاغط هي سحب كمية محددة من مائع (عادة غاز، وغالباً هواء) وتصريفها عند ضغط مطلوب. الماكينة الأكثر كفاءة هي تلك التي ستكمل هذا بأدنى شغل ميكانيكي مدخل. تستخدم كل من ماكينات الإزاحة الموجبة الترددية والدّوّارة لأغراض متنوعة. يمكن التمييز بينهما على أساس الأداء بتعريف النوع الترددي كذلك الذي يمتلك معدّل سريان كتلة منخفض ونسب ضغط عالية، والنوع الدّوّار كذلك الذي يمتلك معدّل سريان كتلة عالي ونسب ضغط منخفضة. يكون مدى الضغط من الجوى إلي 9bar مشتركاً لكلا من النوعين.

تكون بعض الماكينات الدّوّارة مناسبة فقط لشغل ذو نسبة ضغط منخفضة ويتم تطبيقها للنظافة (الكنس) والشحن الفوقي للمحركات، والتطبيقات المتنوعة للاستنفاد (العام) والضح الفراغي. لضغوط فوق 9bar يمكن استخدام الماكينة ذات الريشة (vane-type rotary m/c) لإمداد ضغوط تعزيزية، لكن لشغل ذو ضغط عال محتمل حتى 485bar فما فوق، لأغراض خاصة، يتم استخدام النوع الترددي.

كلا النوعان الأساسيان يوجد في أشكال مختلفة كل بمميزاته الخاصة. يمكن أن يكونا مفردى أو متعددي المرحلة، وأما أن يملكا تبريداً هوائياً أو مائياً. تكون الماكينات

الترددية نبضية في حركتها مما يحد من معدّل تصريف المائع خلالها، بينما تكون الدّوّارة متصلة في حركتها. تكون الماكينات الدوّارة أصغر في حجمها لسريان معطي، أخف في وزنها وأبسط ميكانيكا من رصيفتها الترددية. يوضح الشكل (2.1) تخطيطياً الأنواع المتباينة التي سيتم مناقشتها.

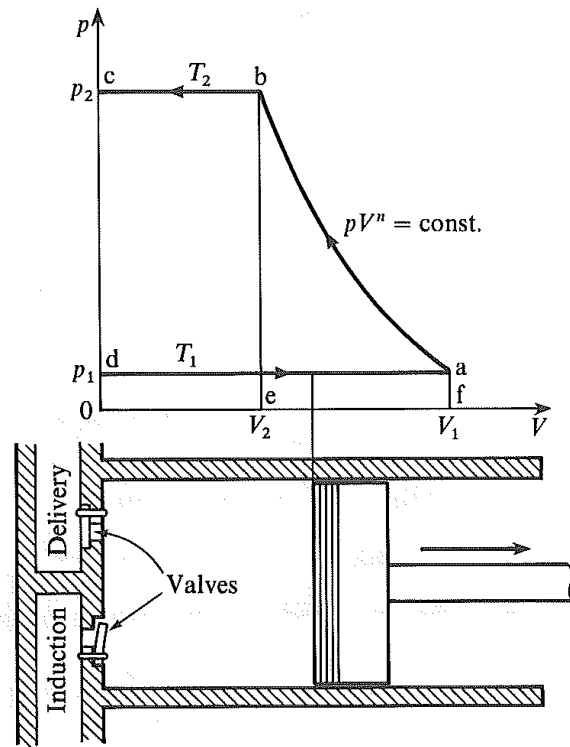
لضاغط يشتغل بأسلوب دوري أو نبضي، مثل الضاغط الترددي، فإنّ الخواص عند المدخل والمخرج هي القيم المتوسطة المأخوذة في الدورة. يتم اختبار حد حجم التحكم بحيث تكون الحالات 1 و 2 ثابتة مع الزمن وتكون الأوضاع المنتخبة بعيدة عن اضطراب التنبيض (pulsating disturbance).



شكل (2.1) ضواغط هواء ترددية أحادي الفعل (a) ومزدوج الفعل (b)

2.2 الماكينات الترددية: (Reciprocating Machines)

تشتمل الآلية على الكباس، ذراع التوصيل، المرفق، وترتيبة الأسطوانة. ابتدائياً سيتم تجاهل حجم الخلوص في الأسطوانة. أيضاً سيتم افتراض أن مائع التشغيل هو غازاً مثالياً. تأخذ الدورة لفة واحدة للعمود المرفقي لتكتمل ويتم توضيح المخطط البياني في الشكل (2.2). يتم تصميم الصمامات المستخدمة في معظم ضواغط الهواء بحيث تعطي فعل ذاتي وتكون من النوع المحمّل باليايات التي تشتغل بفرق ضغط صغير عبرها، يعطي ضغط الياي الخفيف فعل إغلاق سريع.



شكل (2.2) مخطط الضغط ضد الحجم لضغط ترددي بتجاهل الخلوص

يجب أن يكون صعود الصمام لإعطاء سريان الهواء المطلوب أصغر ما يمكن ويجب أن يشتغل بدون صدمة.

في الشكل (2.2) يمثل الخط d-a شوط السحب. تزداد الكتلة في الأسطوانة من صفر عند d إلي تلك المطلوبة لملء الأسطوانة عند a. تكون درجة الحرارة ثابتة عند T_1 لهذا

الإجراء و لا يكون هنالك تبادل حرارة مع البيئة المحيطة في الحالة المثالية. يبدأ السحب عندما يكون فرق الضغط عبر الصمام كاف لفتحه. يمثل الخط a-b-c الانضغاط وشوط التصريف عندما يبدأ الكباس شوط رجوعه يرتفع الضغط في الأسطوانة ويغلق صمام الدخول. يستمر صعود الضغط بالكباس الراجع كما موضح بالخط a-b حتى يتم الوصول إلي الضغط الذي يفتح عنده صمام التصريف (قيمه يتم تحديدها بالصمام والضغط في المستقبل (receiver)).

يحدث التصريف كما موضح بالخط b-c، الذي يكون إجراءً عند درجة حرارة ثابتة T_2 ، ضغط ثابت P_2 ، تبادل حرارة صفري وكتلة متناقصة. تعاد الدورة عند نهاية هذا الشوط. تعتمد درجة حرارة التصريف على قانون الانضغاط بين a، b الذي بدوره يعتمد على تبادل الحرارة مع البيئة المحيطة أثناء هذا الإجراء. يمكن افتراض أن الشكل العام للانضغاط هو متعدد الانتحاء انعكاسي (reversible Polytropic)، (i.e. PV^n constant). يُعطي صافي الشغل المبذول في الدورة بمساحة مخطط $P - V$ ويكون الشغل المبذول على الغاز. سيكون الشغل المبذول على الغاز موجباً في هذا الفصل، بما أننا سنهتم أساسياً بإجراء الانضغاط. الشغل المبذول البياني على الهواء للدورة = المساحة abcd = المساحة abef + المساحة bcoe - المساحة adof.

باستخدام المعادلة التالية، المساحة abef،

$$\begin{aligned} \text{i.e. شغل الدخل} &= \frac{p_2 v_b - p_1 v_a}{n-1} + p_2 v_b - p_1 v_a \\ &= (p_2 v_b - p_1 v_a) \left(\frac{1}{n-1} + 1 \right) \end{aligned}$$

$$= (p_2 v_b - p_1 v_a) \left(\frac{1+n-1}{n-1} \right)$$

$$= \frac{n}{n-1} (p_2 v_b - p_1 v_a) \quad (1)$$

من المعادلة المميزة للغازات يمكن كتابة،

$$p_1 v_a = \dot{m} R T_1 \quad , \quad p_2 v_b = \dot{m} R T_2$$

(حيث \dot{m} هي الكتلة المسحوبة والمصرفّة في الدورة)، وبالتالي:

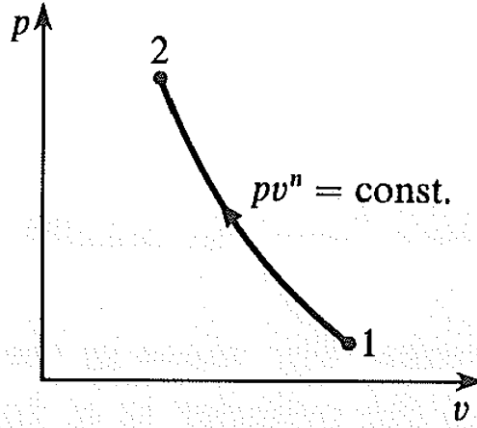
$$\text{شغل الدورة الواحدة} = \frac{n}{n-1} \dot{m} R (T_2 - T_1) \quad (2)$$

يكون الشغل المبذول على الهواء لوحدة زمن مساوياً للشغل المبذول بالدورة مضروباً في

عدد الدورات لوحدة زمن. يستخدم معدّل سريان الكتلة أكثر تكراراً من الكتلة في الدورة.

يغير مائع التشغيل حالته بين a ، b في الشكل (2.2) من P_1 و T_1 إلى P_2 و T_2 ، يتم

توضيح التغير في الشكل (2.3) الذي هو مخطط خواص (p ضد v).



شكل (2.3) إجراء الانضغاط على مخطط $p - v$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} \quad ، \quad \text{تُعطي درجة حرارة التصريف بالمعادلة التالية ،}$$

مثال (1):

ضاغط ترددي مفرد المرحلة يسحب 1m^3 من الهواء في الدقيقة عند 1.013bar و 15°C ويصرفه عند 7bar . مفترضاً أن قانون الانضغاط يكون $p v^{1.35} = \text{const.}$ وأن الخوص يتم تجاهله، أحسب القدرة البيانية.

الحل:

$$m = \frac{p_1 v_1}{RT_1} = \frac{1.013 \times 1 \times 10^5}{287 \times 288} = 1.226 \text{ kg/min}$$

$$\text{(حيث } T_1 = 15 + 273 = 288 \text{ K)}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} = 288 \left(\frac{7}{1.013} \right)^{(1.35-1)/1.35}$$

$$= 288 \times 6.91^{0.259} = 288 \times 1.65 = 475.2 \text{ K}$$

من المعادلة (2)،

$$\text{الشغل البياني} = \frac{n}{n-1} m R (T_2 - T_1) \text{ kJ/min}$$

(حيث \dot{m} هو معدّل سريان الكتلة بالـ kg/min .)

$$\text{i.e. الشغل البياني} = \frac{1.35 \times 1.226 \times 287 \times (475.2 - 288)}{10^3 \times (1.35 - 1)}$$

$$= 254 \text{ kJ/min}$$

$$\text{i.e. القدرة البيانية } i.p. = \frac{254}{60} = 4.23 \text{ kW}$$

يكون شغل الدخل الفعلي للضاغط أكبر من الشغل البياني، نتيجة للشغل الضروري لتخطي الفقدوات الناشئة من الاحتكاك، etc.

$$\text{i.e. الشغل الاحتكاكي} + \text{الشغل البياني} = \text{شغل العمود}$$

$$\text{أو } s.p. = i.p. + f.p. \quad (3)$$

تُعطى الكفاءة الميكانيكية للماكينة بـ

$$\text{الكفاءة الميكانيكية للضاغط} = \frac{\text{الشغل البياني أو القدرة البيانية}}{\text{شغل العمود أو قدرة العمود}} \quad (4)$$

لتحديد قدرة الدخل المطلوبة يجب اعتبار كفاءة محرك الإدارة بالإضافة للكفاءة الميكانيكية.
بالتالي،

$$\text{قدرة الدخل} = \frac{\text{S.P}}{\text{كفاءة المحرك و الإدارة}} \quad (5)$$

مثال (2):

إذا تمت إدارة الضاغط للمثال (1) بسرعة 300rev/min لماكينة مفردة التشغيل، مفردة الأسطوانة، أحسب قطر الأسطوانة المطلوب، مفترضاً نسبة طول شوط إلي قطر أسطوانة مقداره 1.5/1. أحسب قدرة المحرك المطلوبة لإدارة الضاغط إذا كانت الكفاءة الميكانيكية للضاغط تعادل 85% وتلك لنقل قدرة المحرك 90%.

الحل:

$$1 \text{ m}^3/\text{min} = \text{الحجم المسحوب في الدقيقة عند المدخل}$$

$$\therefore \text{الحجم المسحوب في الدورة} = \frac{1}{300} = 0.00333 \text{ m}^3 / \text{cycle}$$

$$\text{i.e. حجم الأسطوانة} = 0.00333 \text{ m}^3$$

$$\therefore \frac{\pi}{4} d^2 L = 0.00333$$

(حيث d = قطر الأسطوانة، L = طول الشوط).

$$\text{i.e. } \frac{\pi}{4} d^2 (1.5d) = 0.00333$$

$$\therefore d^3 = 0.00283m^3$$

i.e. قطر الأسطوانة $d = 141.5 \text{ mm}$

$$\text{قدرة الدخل للمضاغط} = \frac{4.23}{0.85} = 4.98 \text{ kW}$$

$$\therefore \text{قدرة المحرك} = \frac{4.98}{0.9} = 5.53 \text{ kW}$$

مبدئياً بالمعادلة (2)، يمكن اشتقاق تعبيرات أخرى للشغل البياني ،

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} \dot{m}R(T_2 - T_1) = \frac{n}{n-1} \dot{m}RT_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

أيضاً من المعادلة التالية،

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n}$$

عليه،

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} \dot{m}RT_1 \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right) \quad (6)$$

$$\text{أو القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} p_1 \dot{v} \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right) \quad (7)$$

(حيث \dot{v} هو الحجم المسحوب لوحدة زمن)

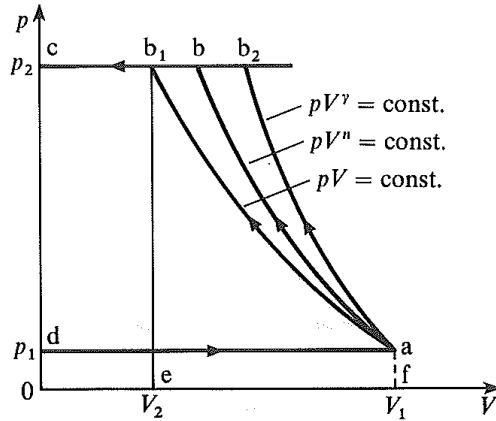
2.3 شرط الحصول على أدنى شغل:

(The Condition for Minimum Work)

يُعطى الشغل المبذول على الهواء بمساحة المخطط البياني، وسيكون الشغل

المبذول أدنى عندما تكون مساحة المخطط أدنى. يتم تثبيت ارتفاع المخطط بنسبة الضغط

المطلوبة (عندما تكون p_1 مثبتة)، ويتم تثبيت طول الخط da بحجم الأسطوانة الذي يتم تثبيته بالسحب المطلوب من الغاز. الإجراء الوحيد الذي يمكن أن يؤثر على مساحة المخطط هو الخط ab . يتم تحديد موضع هذا الخط بقيمة الأس n ؛ الشكل (2.4) أدناه يوضح المحددات للإجراءات الممكنة.



شكل (2.4) إجراءات الانضغاط الممكنة على مخطط $p - v$

يكون الخط ab_1 طبقاً للقانون $PV = \text{constant}$ (i.e. ثابت درجة الحرارة). يكون الخط ab_2 طبقاً لقانون $PV^\gamma = \text{constant}$ (i.e. ثابت القصور الحراري). حيث يكون كلا الإجراءات انعكاسيان.

يكون الانضغاط ثابت درجة الحرارة هو الإجراء الأكثر تفضيلاً بين a و b ، معطياً الشغل الأدنى المبذول على الهواء. هذا يعني أنه في ضاغط فعلي يجب الحفاظ على درجة حرارة الغاز بحيث تكون أقرب ما يمكن لقيمتها الأولية وهذا يتطلب توفير وسيلة لتبريد الغاز إما بالهواء أو بالماء. يعطي الشغل المبذول البياني عندما يتم انضغاط الغاز بثبات درجة الحرارة بالمساحة ab_1cd .

$$\text{المساحة } adof - \text{المساحة } b_1coe + \text{المساحة } ab_1ef = \text{المساحة } ab_1cd$$

$$\text{المساحة } ab_1ef = p_2 v_{b_1} \log_e \frac{p_2}{p_1}$$

$$\text{i.e. الشغل البياني في الدورة} = p_2 V_{b_1} \log_e \frac{p_2}{p_1} + p_1 V_{b_1} - p_1 V_a$$

أيضاً $p_1 V_a = p_2 V_{b_1}$ ، بما أن الإجراء ab_1 ثابت درجة الحرارة.

$$\therefore \text{الشغل البياني في الدورة} = p_2 V_{b_1} \log_e \frac{p_2}{p_1} \quad (8)$$

$$= p_1 V_a \log_e \frac{p_2}{p_1} \quad (9)$$

$$= mRT \log_e \frac{p_2}{p_1} \quad (10)$$

2.4 كفاءة ثابت درجة الحرارة: (Isothermal Efficiency)

بالتعريف المؤسس على مخطط البيان،

$$\text{كفاءة ثابت درجة الحرارة} = \frac{\text{الشغل ثابت درجة الحرارة}}{\text{الشغل البياني}} \quad (11)$$

مثال (3):

مستخدماً البيانات للمثال (1) أحسب كفاءة ثابت درجة الحرارة للضاغط.

الحل:

من المعادلة (10)،

القدرة ثابتة درجة الحرارة =

$$mRT \log_e \frac{p_2}{p_1} = 1.226 \times 0.287 \times 288 \times \log_e \frac{7}{1.013} = 196 \text{ kJ/min}$$

من المثال (1)، الشغل البياني = 254 kJ/min.

بالتالي، مستخدماً المعادلة (11) عالياً،

$$77.2\% \text{ أو } 0.772 = \frac{196}{254} = \text{كفاءة ثابت درجة الحرارة}$$

الصورة الأقل تفصيلاً للانضغاط في الضواغط الترددية هي تلك التي تُعطي بالإجراء ثابت القصور الحراري (أنظر الشكل (2.4)). ستكون الصورة الفعلية للانضغاط عادة بين هذين

الحدين. يتم تمثيل الإجراءات الثلاث على مخطط $T - s$ في الشكل (2.5).

$1 - 2'$ يمثل انضغاطاً ثابت درجة الحرارة.

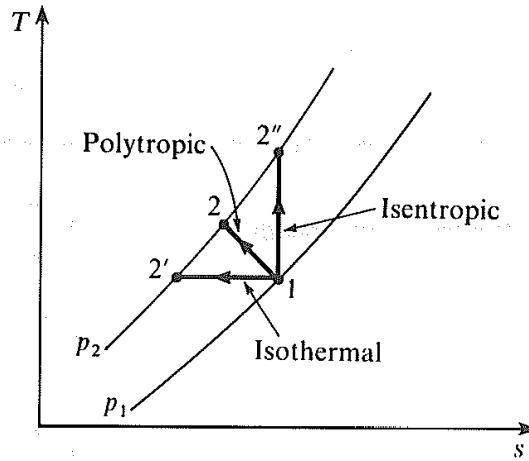
$1 - 2''$ يمثل انضغاطاً ثابت القصور الحراري.

$1 - 2$ انضغاطاً طبقاً لقانون $PV^n = \text{constant}$

عادة ما تقع n بين 1.2 و 1.3 لضغط هواء ترددي.

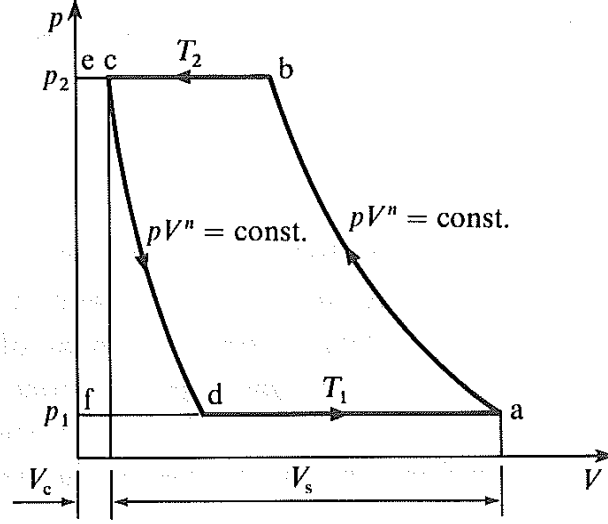
يكون الأسلوب الرئيسي المستخدم لتبريد الهواء بإحاطة الأسطوانة بغلاف ماء (water

jacket). والتصميم للنسبة الأفضل لمساحة السطح إلي حجم الأسطوانة.



شكل (2.5) إجراء ثابت الحرارة، متعدد الانتحاء، انضغاط ثابت

القصور الحراري على مخطط $T - s$



شكل (2.6) مخطط البيان المثالي لضغط ترددي بخلوص

2.5 الضواغط الترددية بتضمين الخلوص:

(Reciprocating Compressors Including Clearance)

يكون الخلوص ضرورياً في ضاغط لإعطاء حرية ميكانيكية لأجزاء التشغيل ويسمح بالفراغ الضروري لتشغيل الصمامات.

يوضح الشكل (2.6) مخطط البيان المثالي بتضمين حجم الخلوص. لماكينات ذات جودة عالية يكون حجم الخلوص حوالي 6% من الحجم المكتسح، وللماكينات ذات الصمام الكمي (Sleeve valve m/cs) يمكن أن يصبح حوالي 2%، لكن هنالك أيضاً ماكينات شائعة بخلوصات 30-35%.

عندما يكتمل شوط التصريف bc يكون حجم الخلوص V_c ممتلئاً بالغاز عند ضغط p_2 ودرجة حرارة T_2 . كلما واصل الكباس مسيرته على شوط السحب التالي يتمدد الهواء خلفه حتى يتم الوصول للضغط p_1 . مثالياً حالما يصل الضغط إلي p_1 ، سيبدأ سحب غاز طازج ويستمر لنهاية هذا الشوط عند a. من بعد يتم إنضغاط الغاز طبقاً للقانون $PV^n =$

const. (عموماً)، ويبدأ التصريف عند b حسب تحكم الصمامات. يكون تأثير الخلوص هو خفض الحجم المسحوب عند p_1 و T_1 من V_s إلي $(V_a - V_d)$. تكون كتل الغاز عند النقاط الأربع الرئيسية بحيث أن، $\dot{m}_c = \dot{m}_d, \dot{m}_a = \dot{m}_b$. تعطي الكتلة المصروفة في الدورة بـ $(\dot{m}_b - \dot{m}_c)$ ، والتي تكون مساوية لتلك المسحوبة المعطاة بـ $(\dot{m}_a - \dot{m}_d)$. تتغير خواص مائع التشغيل في الإجراءات $a-b$ و $c-d$ كما موضح في الشكل (2.7) أدناه. بالرجوع للشكل (2.6) يُعطي الشغل المبذول البياني بمساحة المخطط $p - v$.

المساحة $abcd$ = الشغل البياني

= المساحة $abef$ - المساحة $cefd$

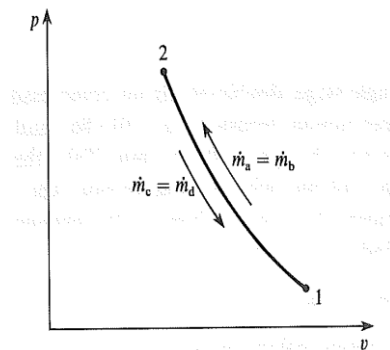
بالتالي، باستخدام المعادلة (2)،

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} \dot{m}_a R (T_2 - T_1) - \frac{n}{n-1} \dot{m}_d R (T_2 - T_1)$$

i.e. $\text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} R (\dot{m}_a - \dot{m}_d) (T_2 - T_1)$

$$= \frac{n}{n-1} R \dot{m} (T_2 - T_1) \quad (12)$$

(حيث \dot{m} هي الكتلة المسحوبة لوحدة زمن $(\dot{m}_a - \dot{m}_d)$)



شكل (2.7) انضغاط وإعادة تمدد كتل الغاز في ضاغط ترددي

توضح المقارنة بين المعادلات (12) و (2) أنهما متطابقتان. الشغل المبذول لانضغاط كتلة الغاز \dot{m}_c (أو \dot{m}_d) على الانضغاط a-b، يتم إرجاعه عندما يتمدد الغاز من c إلي d. بالتالي فإنَّ الشغل المبذول لوحدة كتلة من الهواء المصرَّف لا يتأثر بمقياس حجم الخلوص.

يمكن اشتقاق تعبيرات أخرى كما في سابقه. من المعادلة (7)،

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} p_1 \dot{v} \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right)$$

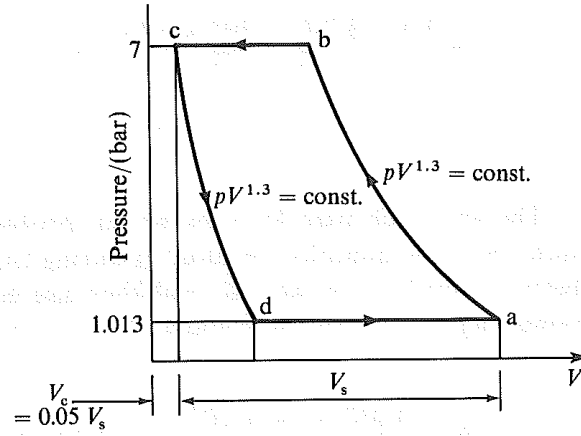
$$\therefore \text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} p_1 (v_a - v_d) \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right) \quad (13)$$

يمكن زيادة الكتلة المصرَّفة لوحدة زمن بتصميم الماكينة بحيث تصبح مزدوجة التشغيل (double – acting)، i.e. يتم التفاعل مع الغاز على كلا جانبي الكباس، شوط السحب لأحد الجانبين يكون شوطاً للانضغاط للجانب الآخر (أنظر الشكل (2.1)).

مثال (4):

ضاغط هواء مفرد المرحلة مزدوج التشغيل مطلوب منه تصريف 14m^3 من الهواء في الدقيقة مقاساً عند 1.013bar و 15°C . يكون ضغط التصريف 7bar والسرعة $300\text{rev}/\text{min}$. خذ الحجم الخلوصي كـ 5% من الحجم المكتسح بأس انضغاط مقداره $n=1.3$. أحسب الحجم المكتسح للأسطوانة، درجة حرارة التصريف والقدرة البيانية.

الحل:



شكل (2.8) مخطط الضغط ضد الحجم للمثال (4)

بالرجوع للشكل (2.8) أعلاه،

$$\text{الحجم المكتسح} = (v_a - v_c) = v_s$$

$$\text{و حجم الخلوص ، } v_c = 0.05v_s$$

$$v_a = 1.05v_s$$

$$\text{الحجم المسحوب في الدورة} = (v_a - v_d)$$

$$\text{و } (v_a - v_d) = \frac{14}{300 \times 2} = 0.0233 \text{ m}^3$$

(عدد الدورات في اللفة × عدد اللغات في الدقيقة = عدد الدورات في الدقيقة)

الآن،

$$v_a = 1.05v_s \quad , \quad v_d = v_c \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} = 0.05v_s \left(\frac{7}{1.013} \right)^{\frac{1}{1.3}}$$

$$\text{i.e. } v_d = 0.221v_s$$

$$\therefore (v_a - v_d) = 1.05v_s - 0.221v_s = 0.0233 \text{ m}^3$$

$$\therefore v_s = \frac{0.0233}{0.829} = \underline{0.028 \text{ m}^3}$$

$$\text{درجة حرارة التصريف} ، T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\text{و } T_1 = 15 + 273 = 288K$$

$$\begin{aligned} \text{i.e. } T_2 &= 288 \left(\frac{7}{1.013} \right)^{(1.3-1)/1.3} = 288 \times 6.91^{0.231} \\ &= 288 \times 1.563 = 450 K \end{aligned}$$

$$\therefore \text{درجة حرارة التصريف} = 177^\circ C$$

مستخدماً المعادلة (13)،

$$\begin{aligned} \text{القدرة البيانية} &= \frac{n}{n-1} p_1 (v_a - v_d) \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right) \\ &= \frac{1.3}{0.3} \times \frac{1.013 \times 10^5 \times 14}{10^3 \times 60} \left(\left(\frac{7}{0.013} \right)^{(1.3-1)/1.3} - 1 \right) kW \end{aligned}$$

$$\text{i.e. القدرة البيانية} = 57.65 \text{ kW}$$

بطريقة أخرى،

$$\dot{m} = \frac{1.013 \times 14 \times 10^5}{0.287 \times 288 \times 10^3} = 17.16 \text{ kg/min}$$

بالتالي، مستخدماً المعادلة (12)،

$$\begin{aligned} \text{القدرة البيانية} &= \frac{n}{n-1} \dot{m} R (T_2 - T_1) \\ &= \frac{1.3}{0.3} \times 17.16 \times 0.287 (450 - 288) \\ &= 3459 \text{ kJ/min} \end{aligned}$$

$$\text{i.e. القدرة البيانية} = \frac{3459}{60} \text{ kW} = 57.65 \text{ kW}$$

2.6 الكفاءة الحجمية η_v : (Volumetric Efficiency)

لقد تمّ توضيح أنّ أحد تأثيرات الخلوّص هو خفض الحجم المسحوب إلى قيمة أقلّ من ذلك للحجم المكتسح. هذا يعني أنّه ولسحب مطلوب يجب زيادة مقياس الأسطوانة فوق ذلك الذي يتم حسابه بافتراض خلوّص صفري.

يتم تعريف الكفاءة الحجمية كالآتي:

$\eta_v =$ كتلة الهواء المصرفّ مقسوماً على كتلة الهواء التي ستملأ الحجم المكتسح عند حالات الهواء الطليق للضغط ودرجة الحرارة

(14)

أو، $\eta_v =$ حجم الهواء المصرفّ مقاساً عند ضغط ودرجة حرارة الهواء الطليق مقسوماً على الحجم المكتسح للأسطوانة

(15)

يمكن توضيح أن المعادلتان (14) و (15) تكونا متطابقتان،

i.e. إذا كان تصريف الهواء الطليق F.A.D. هو V ، عند P و T ، بالتالي تكون الكتلة

$$\dot{m} = \frac{PV}{RT} \text{ المصرفة}$$

الكتلة المطلوبة لملء الحجم المكتسح V_s ، عند P و T تعطي بـ ،

$$\dot{m}_s = \frac{PV_s}{RT}$$

عليه بالمعادلة (14)،

$$\eta_v = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_s} = \frac{PV}{RT} \times \frac{RT}{PV_s} = \frac{V}{V_s}$$

يمكن الحصول على الكفاءة الحجمية من مخطط البيان. بالرجوع للشكل (2.9) أدناه،

$$\text{الحجم المسحوب} = V_a - V_d = V_s + V_c - V_d$$

وباستخدام المعادلة التالية،

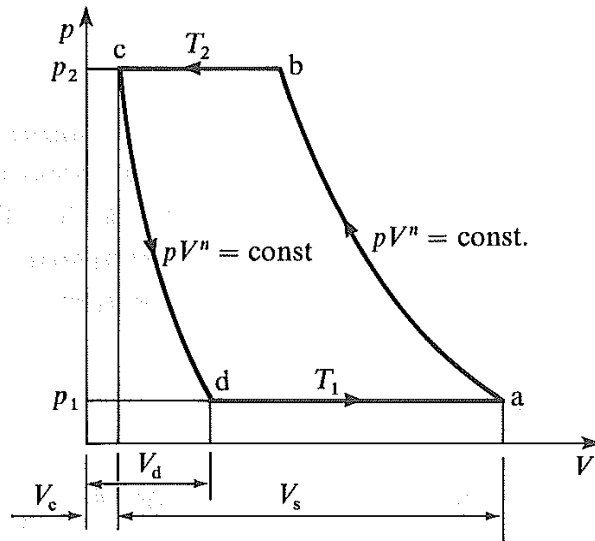
$$\frac{V_d}{V_c} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} \quad \text{i.e.} \quad V_d = V_c \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{الحجم المسحوب} &= V_s + V_c - V_c \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} \\ &= V_s - V_c \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right\} \end{aligned} \quad (15)$$

بالتالي، مستخدماً المعادلة (15)،

$$\eta_v = \frac{V_a - V_d}{V_s} = \frac{V_s - V_c \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right\}}{V_s}$$

$$\text{i.e.} \quad \eta_v = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right\} \quad (16)$$



شكل (2.9) مخطط البيان لضغط ترددي

من المهم ملاحظة أن التعريف للكفاءة الحجمية يكون متسقاً فقط مع المعادلتان (14) و

(15) إذا كانت حالات الضغط ودرجة الحرارة في الأسطوانة أثناء شوط السحب متطابقة

مع تلك للهواء الطليق. حقيقة فإنَّ الغاز سيتم تسخينه بواسطة جدران الأسطوانة، وسيكون

هنالك انخفاضاً في الضغط نتيجة لانخفاض الضغط المطلوب لسحب الغاز إلي الأسطوانة

ضد مقاومة السريان الحتمية. تتطلب هذه التعديلات للحالة المثالية تطبيق بعناية أكثر الصيغ التي تم اشتقاقها مسبقاً.

كمثال، كما في السابق إذا تم ترميز الـ F.A.D في الدورة بـ V عند p و T بالتالي،

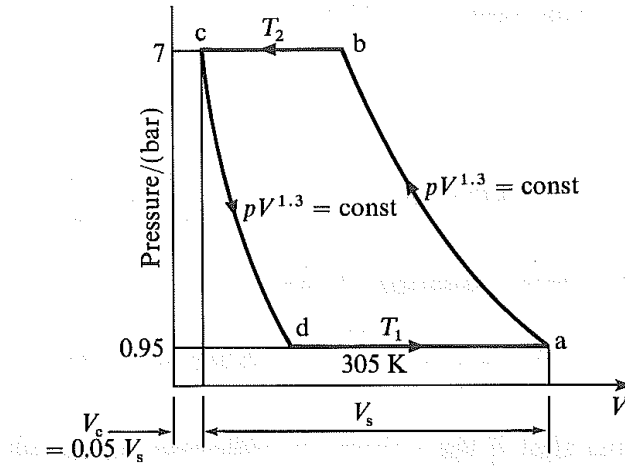
$$\dot{m} = \frac{pV}{RT} = \frac{p_1(V_a - V_d)}{RT_1}$$

$$\text{i.e. } F.A.D/\text{cycle}, V = (V_a - V_d) \frac{T}{T_1} \frac{p_1}{p} \quad (17)$$

(حيث T_1 و p_1 هما حالات السحب).

مثال (5):

ضاغط هواء مفرد المرحلة، مزدوج التشغيل لدية F.A.D مقداره $14\text{m}^3/\text{min}$ مقاساً عند 1.013bar و 15°C . يكون الضغط ودرجة الحرارة في الأسطوانة أثناء السحب هما 0.95bar و 32°C . يكون ضغط التصريف 7bar وأس الانضغاط والتمدد $n=1.3$. أحسب القدرة البيانية المطلوبة والكفاءة الحجمية. يكون الخلوص مساوياً لـ 5% من الحجم المكتسح.



شكل (2.10) مخطط الضغط ضد الحجم للمثال (5)

يتم توضيح مخطط $p - v$ في الشكل (2.10) أعلاه.

$$\dot{m} = \frac{pV}{RT} \text{، الكتلة المصروفة في الدقيقة.}$$

(حيث F.A.D في الدقيقة هو V عند p و T)

$$\text{i.e. } \dot{m} = \frac{1.013 \times 14 \times 10^5}{0.287 \times 288 \times 10^3} = 17.16 \text{ kg/min}$$

(حيث $T = 15 + 273 = 288 \text{ K}$)

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n}$$

$$\text{i.e. } T_2 = 305 \times \left(\frac{7}{0.95} \right)^{(1.3-1)/1.3} = 305 \times 1.586 = 483.7 \text{ K}$$

(حيث $T_1 = 32 + 273 = 305 \text{ K}$).

من المعادلة (12)،

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{n}{n-1} \dot{m} R (T_2 - T_1)$$

$$= \frac{1.3}{0.3} \times 17.16 \times 0.287 (483.7 - 305)$$

$$= 3813 \text{ kJ/min}$$

$$\therefore \text{i.p.} = \frac{3813}{60} = 63.55 \text{ kW}$$

كما في سابقه،

$$V_d = V_c \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n}$$

$$\text{i.e. } V_d = 0.05 V_s \left(\frac{7}{0.95} \right)^{1/1.3} = 0.05 V_s \times 7.369^{0.769}$$

$$= 0.05 V_s \times 4.65 = 0.233 V_s$$

$$\therefore V_a - V_d = V_a - 0.233 V_s = 1.05 V_s - 0.233 V_s = 0.817 V_s$$

مستخدماً المعادلة (17)،

$$F.A.D / cycle = (V_a - V_d) \frac{T}{T_1} \frac{p_1}{p}$$

$$\text{i.e. } F.A.D / cycle = 0.817V_s \times \frac{288}{305} \times \frac{0.95}{1.013} = 0.724V_s$$

بالتالي من المعادلة (15)،

$$\eta_v = \frac{V}{V_s} = \frac{0.724V_s}{V_s} = 0.724 \text{ أو } 72.4\%$$

لوحظ أنه إذا كانت الكفاءة الحجمية في المثال عاليه يتم تقويمها باستخدام المعادلة (16)

بالتالي،

$$\eta_v = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right\} = 1 - \frac{0.05V_s}{V_s} \left\{ \left(\frac{7}{0.95} \right)^{1/1.3} - 1 \right\}$$

$$\text{i.e. } \eta_v = 1 - 0.05(4.65 - 1) = 1 - 0.183 = 0.817 \text{ أو } 81.7\%$$

يكون هنالك فرقاً معتبراً بين القيمتين، بما أن الإجابة الأخيرة تتجاهل الفرق في درجة الحرارة والضغط بين حالات الهواء الطليق وحالات السحب.

2.7 الانضغاط متعدد المرحلة: (Multi – Stage Compression)

لقد تم سابقاً تأسيس أنه ولشغل أدني يجب أن يكون إجراء الإنضغاط ثابت درجة الحرارة.

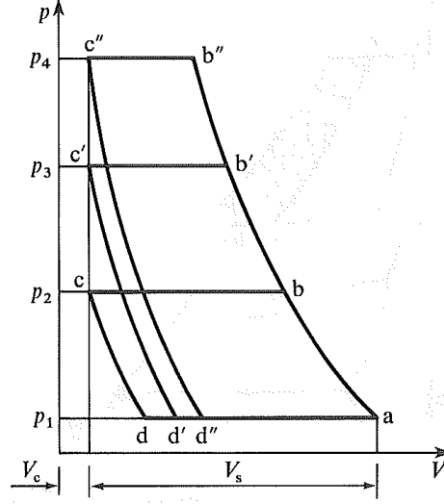
عموماً فإن درجة الحرارة بعد الانضغاط تُعطي بالمعادلة $T_2 = T_1(p_2/p_1)^{(n-1)/n}$. تزيد درجة

حرارة التصريف بزيادة نسبة الضغط. إضافياً، من المعادلة (16)،

$$\eta_v = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right\}$$

يمكن ملاحظة أنه كلما زادت نسبة الضغط نقصت الكفاءة الحجمية. هذه يتم توضيحها

في الشكل (2.11) أدناه،



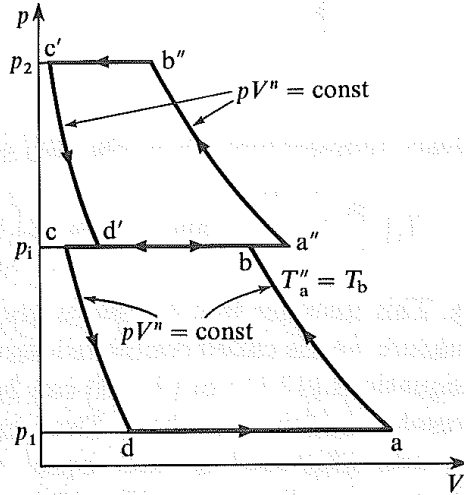
شكل (2.11) تأثير الكفاءة الحجمية لزيادة ضغط التصريف

لانضغاط من p_1 إلى p_2 تكون الدورة $abcd$ و الـ $F.A.D$ للدورة $V_a - V_d$ ؛ لانضغاط من p_1 إلى p_3 تكون الدورة $ab'c'd'$ والـ $F.A.D$ للدورة $V_a - V_{d'}$ ؛ لانضغاط من p_1 إلى p_4 تكون الدورة $ab''c''d''$ والـ $F.A.D$ للدورة $V_a - V_{d''}$. عليه لـ $F.A.D$ مطلوب سيزيد

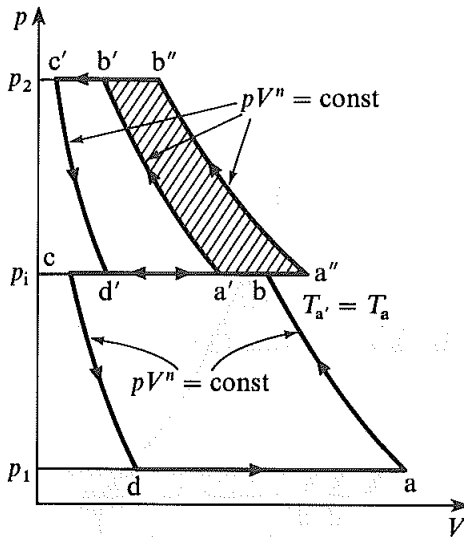
مقاس

الأسطوانة كلما زادت نسبة الضغط.

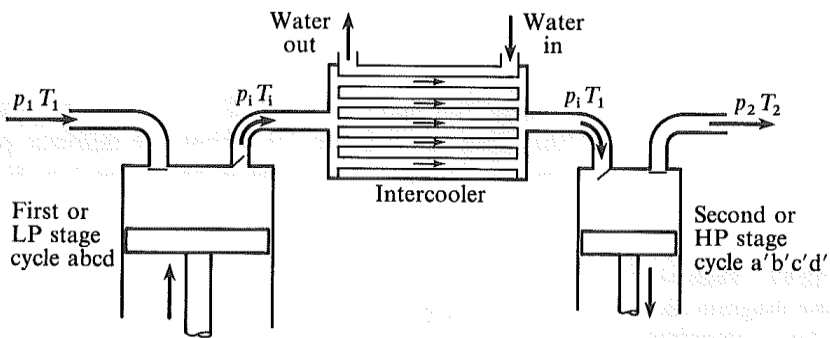
يمكن تحسين الكفاءة الحجمية بتنفيذ الانضغاط في مرحلتين. بعد المرحلة الأولى للانضغاط يتم تمرير المائع إلى أسطوانة أصغر يتم فيها انضغاط الغاز إلى الضغط المطلوب. إذا كانت هنالك مرحلتان للماكينة سيتم تصريف الغاز عند نهاية المرحلة، لكن يمكن تصريفه إلى أسطوانة ثالثة لنسب ضغط أعلى. تكون أسطوانات المراحل المتعاقبة متناسبة لأخذ حجم الغاز المصرف من المرحلة السابقة.



شكل (2.12) مخطط الضغط ضد الحجم لانضغاط ذو مرحلتين



شكل (2.13) أثر التبريد البيني على شغل الانضغاط



شكل (2.14) التبريد البيني بين مراحل الضاغط

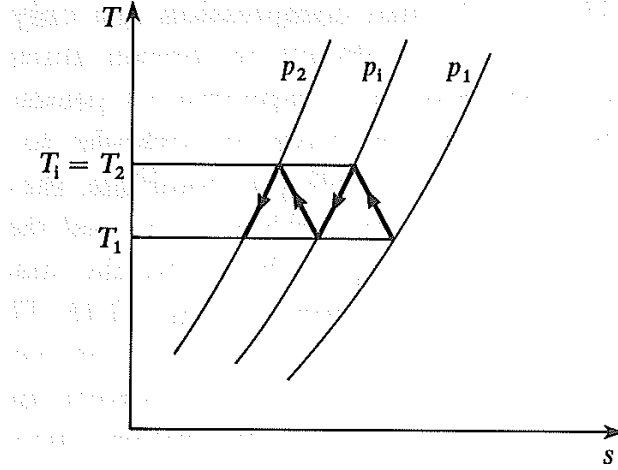
يتم توضيح مخطط البيان لماكينة ذات مرحلتين في الشكل (2.12). في هذا المخطط يتم افتراض أن إجراء التصريف من المرحلة الأولى أو مرحلة الضغط المنخفض وإجراء السحب للمرحلة الثانية أو مرحلة الضغط العالي، يكونا عند نفس الضغط. يمكن الحصول على انضغاط ثابت لدرجة الحرارة مثالي فقط إذا كان التبريد المثالي متصلاً. هذه من الصعوبة بمكان الحصول عليها أثناء الانضغاط العادي. بانضغاط متعدي المرحلة يتم تبريد الغاز كلما يتم نقله من أسطوانة إلي أخرى، يتم بتمريره خلال مبرد بيني (intercooler). إذا كان التبريد كاملاً، سيدخل الغاز المرحلة الثانية عند نفس درجة الحرارة التي دخل بها المرحلة الأولى. يتم توضيح الشكل المتحصل عليه بالتبريد البيني بالمساحة المظللة في الشكل (2.13) ومخطط المحطة في الشكل (2.14). يتم توضيح مخططي البيان abcd و a'b'c'd' بضغط مشترك، p_1 . هذا لا يحدث في ماكينة فعلية لأن هنالك هبوط صغير في الضغط بين الأسطوانتين، يمكن تركيب مبرد بعدي (after cooler) بعد إجراء التصريف لتبريد الغاز. تعطي درجات حرارة التصريف من المرحلتين

ب ،

$$T_i = T_1 \left(\frac{p_i}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \quad , \quad T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n}$$

على الترتيب. هذا يفترض أن الغاز يتم تبريده في المبرد البيني إلي حرارة المدخل، ويسمي بالتبريد الكامل. لحساب —— i.p. يمكن تطبيق المعادلات (12) و (13) لكل مرحلة بانفصال وإضافة النتائج لبعضها. يتم تمثيل الانضغاط ثنائي المرحلة بتبريد بيني كامل

وتبريد بعدي، ونسب ضغوط متساوية في كل مرحلة على مخطط $T - s$ في الشكل (2.15) أدناه.



شكل (2.15) مخطط يوضح التبريد البيني والتبريد البعدي

مثال (6):

في ضاغط هواء ترددي مفرد التشغيل - ثنائي المرحلة يتم انضغاط 4.5kg من الهواء في الدقيقة من 1.013bar و 15°C خلال نسبة ضغط مقدارها 9/1. كلا المرحلتين لها نفس نسبة الضغط، ويكون قانون الانضغاط والتمدد في كلا المرحلتين هو $PV^{1.3} = \text{const}$. إذا كان التبريد بيني كاملاً، أحسب القدرة البيانية الحجم المكتسحة المطلوبة للأسطوانة. افترض أن حجوم الخلوص لكلا المرحلتين هما 5% من حجومهما المكتسحة وأن الضاغط يشتغل بسرعة مقدارها 300rev/min.

الحل:

يتم توضيح مخططا البيان متراكبين في الشكل (2.16). تكون دورة مرحلة الضغط

المنخفض هي abcd ودورة الضغط العالي هي 'a'b'c'd'

الآن،

$$p_2 / p_1 = 9$$

$$\therefore p_2 = 9p_1$$

$$p_i / p_1 = p_2 / p_i$$

أيضاً

$$\therefore p_i^2 = p_1 p_2 = 9p_1^2$$

$$\therefore p_i^2 = 9p_1^2 \text{ ، } \therefore \frac{p_i}{p_1} = \sqrt{9} = 3$$

مستخدماً المعادلة التالية ،

$$\frac{T_i}{T_1} = \left(\frac{p_i}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \quad \therefore \frac{T_i}{288} = 3^{(1-1.3)/1.3}$$

(حيث $T_1 = 15 + 273 = 288 \text{ K}$ و T_i هي درجة الهواء الداخل للمبرّد البيني).

$$\text{i.e. } T_i = 288 \times 1.289 = 371 \text{ K}$$

الآن بما أن n ، m ، وفرق درجة الحرارة هي نفسها لكلا المرحلتين، بالتالي فإن الشغل

المبذول في كل مرحلة هو نفسه. i.e. مستخدماً المعادلة (12)،

$$\text{الشغل الكلي المطلوب في الدقيقة} = 2 \times \frac{n}{n-1} mR(T_i - T_1)$$

$$= 2 \times \frac{1.3}{1.3-1} \times 4.5 \times 0.387(371-288)$$

$$= 930 \text{ kJ/min}$$

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{930}{60} = 15.5 \text{ kW}$$

يكون معدّل سريان الكتلة في الدورة هو،

$$m = \frac{4.5}{300} = 0.015 \text{ kg/cycle}$$

يتم تمرير الكتلة خلال كل مرحلة على الترتيب.

لأسطوانة الضغط المنخفض، بالرجوع للشكل (2.17)،

$$V_a - V_d = \frac{\dot{m}RT_1}{p_1} = \frac{0.015 \times 287 \times 288}{1.013 \times 10^5} = 0.0122 m^3 / cycle$$

مستخدماً المعادلة (16)،

$$\eta_v = \frac{V_a - V_d}{V_s} = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \left(\frac{p_i}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right\} = 1 - 0.05(3^{0.769} - 1)$$

$$\therefore \eta_v = 1 - 0.066 = 0.934$$

$$\therefore V_s = \frac{V_a - V_d}{\eta_v} = \frac{0.0122}{0.934} = 0.0131 m^3 / cycle$$

i.e. الحجم المكتسح لأسطوانة الضغط المنخفض = $0.0131 m^3$

لمرحلة الضغط العالي، يتم سحب كتلة مقدارها 0.015 kg/cycle عند 15°C وضغط

$$\cdot p_i = 3 \times 1.013 = 3.039 \text{ bar} \text{ مقداره}$$

$$\begin{aligned} \text{i.e. الحجم المسحوب} &= \frac{0.015 \times 287 \times 288}{3.039 \times 10^5} \\ &= 0.00406 m^3 / cycle \end{aligned}$$

مستخدماً المعادلة (16) لمرحلة الضغط العالي،

$$\eta_v = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_i} \right)^{1/n} - 1 \right\}$$

وبما أن V_c/V_s هي نفسها كما لمرحلة الضغط المنخفض وأيضاً $p_2/p_i = p_i/p_1$ وبالتالي η_v

تكون مساوية لـ 0.934 كما في عاليه.

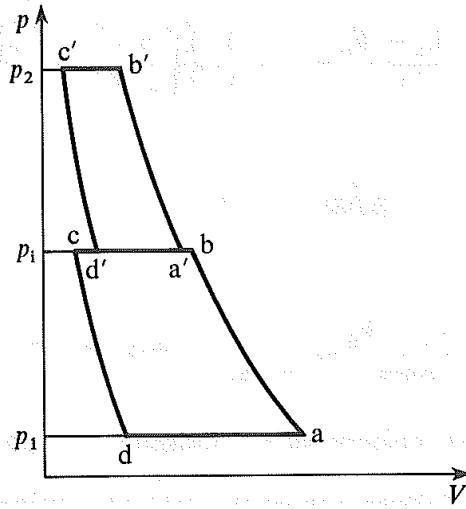
$$\therefore \text{الحجم المكتسح لمرحلة الضغط العالي} = \frac{0.00406}{0.934} = 0.00436 m^3$$

لاحظ أن نسبة الخلوص هي نفسها في كل أسطوانة، ودرجات حرارة السحب هي نفسها

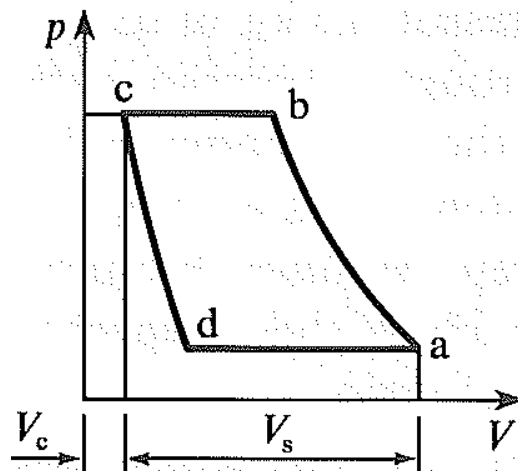
بما أن التبريد البييني يكون كاملاً، عليه فإنّ الحجم المكتسحة تكون في نسبة ضغوط

السحب.

i.e. $V_H = \frac{V_L}{3} = \frac{0.0131}{3} = 0.00436m^3$



شكل (2.16) مخطط الضغط ضد الحجم موضعاً كل المرحلتين للمثال (6)



شكل (2.17) مخطط الضغط ضد الحجم لمرحلة الضغط المنخفض للمثال (6)

الكتب والمراجع

الكتب والمراجع العربية:

1. أسامة محمد المرضي سليمان ، "مذكرات انتقال الحرارة الجزء الأول، الثاني والثالث" ، جامعة وادي لنيل ، كلية الهندسة والتقنية ، قسم الهندسة الميكانيكية، (2000م).
2. أسامة محمد المرضي سليمان ، "مذكرات انتقال الكتلة بالانتشار والحمل الجزء الأول، الثاني" ، جامعة وادي لنيل ، كلية الهندسة والتقنية ، قسم الهندسة الميكانيكية، (2005م).
3. أسامة محمد المرضي سليمان ، "مذكرات ديناميكا حرارية(1) و ديناميكا حرارية(2)" ، جامعة وادي لنيل ، كلية الهندسة والتقنية ، قسم الهندسة الميكانيكية، (2007م).
4. برهان محمود العلي ، أحمد نجم الصبحة ، بهجت مجيد مصطفى ، " ترجمة كتاب أساسيات انتقال الحرارة" ، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر ، جامعة لموصل ، الجمهورية العراقية ،(1988م).

الكتب والمراجع الإنجليزية

1. T. D. Eastop and A. McConkey, "Applied Thermodynamics for Engineers and Technologists", Longman Singapore Publishers, 1994.
2. Eastop T. D. and Craft D. R., "Energy Efficiency", Longman, 1990.
3. Douglas J. F., Gasiorek J. M. and Swaffield J. A., "Fluid Mechanics", 2nd Edition, Longman, 1986.
4. Rogers G. F. C. and Mayhew Y. R., "Engineering Thermodynamics, Work and Heat Transfer", 4th Edition, Longman, 1992.
5. National Engineering Laboratory, "Steam Tables", HMSO, 1964.

6. Haywood R. W., "Analysis of Engineering Cycles", Pergamon, 1991.
7. Walker G., "Stirling Engines", Oxford University Press, 1980.
8. Harker J. H. and Bachurst J. R., "Fuel and Energy", Academic Press, 1981.
9. Hickson D. C. and Taylor F. R., "Enthalpy – Entropy Diagram for Steam", Basil Blackwell, 1980.
10. Eastop T. D. and Watson W. E., "Mechanical Services for Buildings", Longman, 1992.
11. Cohen H., Rogers G. F. C. and Saravanamuttoo H. I. H., "Gas Turbine Theory", 3rd Edition, Longman, 1987.
12. Shapiro A. H., "The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Flow", Volumes 1 and 2, Kreiger, 1983.
13. Dixon S. L., "Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery", 3rd Edition, Pergamon, 1978.
14. Kearton W. J., "Steam Turbine Theory and Practice", Pitman, 1960.
15. Heywood J. B., "Thermal Combustion Engines Fundamentals", McGraw-Hill, 1988.
16. Taylor C. F., "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice", Volumes 1 and 2, MIT Press, 1977.
17. Watson N. and Janota M. S., "Turbo charging the IC Engines", Macmillan, 1984.
18. Dossat R. J., "Principles of Refrigeration", 2nd Edition, Wiley, 1990.
19. Reay D. A. and Macmichael D. B. A., "Heat Pumps", 2nd Edition, Pergamon, 1987.

20. Rogers G. F. C. and Mayhew Y. R., "Thermodynamics and Transport Properties of Fluids", 4th Edition, Basil Blackwell, 1987.
21. Kemp D. D., "Global Environmental Issues", Routledge, 1990.
22. Threlkeld J. L., "Thermal Environmental Engineering", 2nd Edition, Prentice, 1970.
23. Jones W. P., "Air Conditioning Engineering", 3rd Edition, Edward Arnold, 1985.
24. Welty J. R., "Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer", 3rd Edition, John Wiley, 1984.
25. Craft D. R. and Lilley D. G., "Heat Transfer Calculations Using Finite Difference Equations", Pavic Publications, 1986.
26. Incropera F. P. and De Witt D. P., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 3rd Edition, John Wiley, 1990.
27. Eckert E. R. and Drake R. M., "Analysis of Heat and Mass Transfer", Taylor and Francis, 1971.
28. Kern D. Q., "Process Heat Transfer", McGraw – Hill, 1950.
29. Walker G., "Industrial Heat Exchangers", 2nd Edition, McGraw – Hill, 1990.
30. Kays W. M. and London A. L., "Compact Heat Exchangers", 3rd Edition, McGraw – Hill, 1984.
31. McAdams W. H., "Heat Transmission", 3rd Edition, McGraw – Hill, 1954.
32. Dunn P. D., "Renewable Energies: Sources, Conversion, and Applications", Peter Peregrines, 1986.
33. Culp(jr) A. R., "Principles of Energy Conversion", McGraw – Hill, 1980.

34. Mohammed Elmardi Osama, "Solution of Problems in Heat Transfer, Transient Conduction or Unsteady Conduction", Lambert Academic Publishing, 2017.
35. Mohammed Elmardi Osama, "Further Experimental research work on water Current Turbines, Case Study On Atbara Water Turbine", Lambert Academic Publishers, 2015.

نبذة عن المؤلف:



أسامة محمد المرضي سليمان وُلِدَ بمدينة عطبرة بالسودان في العام 1966م. حاز على دبلوم هندسة ميكانيكية من كلية الهندسة الميكانيكية - عطبرة في العام 1990م. تحصّل أيضاً على درجة البكالوريوس في الهندسة الميكانيكية من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا - الخرطوم في العام 1998م ، كما حاز على درجة الماجستير في تخصص ميكانيكا المواد من

جامعة وادي النيل - عطبرة في العام 2003م ودرجة الدكتوراه من جامعة وادي النيل في العام 2017م. قام بالتدريس في العديد من الجامعات داخل السودان، بالإضافة لتأليفه لأكثر من ثلاثين كتاباً باللغة العربية ولعشرة كتب باللغة الإنجليزية بالإضافة لخمسين ورقة علمية منشورة في دور نشر ومجلات عالمية إلى جانب إشرافه على أكثر من ثلاثمائة بحث تخرج لكل من طلاب الماجستير، الدبلوم العالي، البكالوريوس، والدبلوم العام. يشغل الآن وظيفة أستاذ مساعد بقسم الميكانيكا بكلية الهندسة والتقنية - جامعة وادي النيل. بالإضافة لعمله كاستشاري لبعض الورش الهندسية بالمنطقة الصناعية عطبرة. هذا بجانب عمله كمدير فني لمجموعة ورش الكمالي الهندسية لخرطة أعمدة المرافق واسطوانات السيارات والخرطة العامة وكبس خراطيش الهيدروليك.