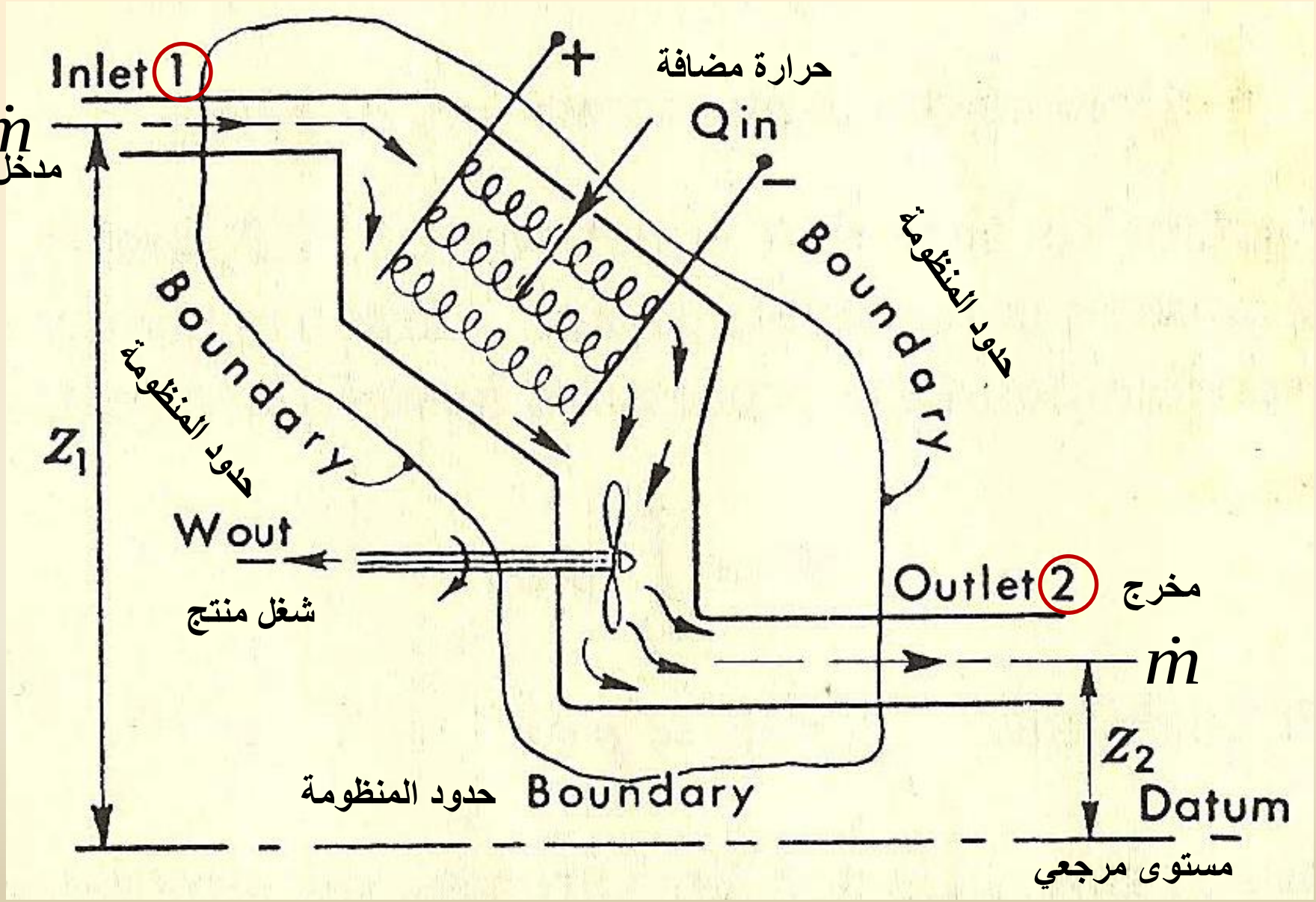
إجراءات التدفق Flow Processes

هي الاجراءات التي تتم على المنظومات المفتوحة مثل عمليات توليد القدرة في التوربينات الغازية وهي في أبسط صورها حالة الانسياب المستقر Steady Flow Process

معادلة الطاقة للانسياب المستقر:

بأخذ حالة منظومة تشمل سخان وتوربين حيث المستوى عند المدخل على ارتفاع Z_1 من المستوى المرجعي والمخرج عند مستوى Z_2 من المستوى المرجعي كما مبين في الرسم



منظومة مفتوحة Open System

إذا كان معدل انسياب الكتلة إلى ومن المنظومة في الحدود المبينة هو (m) هو مقدار ثابت يعني أن الانسياب مستقر عليه فإن معادلة الطاقة تكتب على النحو.

$$m_1(u_1+c_1^2/2+z_1g+P_1v_1) + Q + W = m_2(u_2+c_2^2/2+z_2g+P_2v_2)$$

حيث :

m = معدل انسياب الكتلة

u = الطاقة الداخلية

C = سرعة الانسياب

Z = الارتفاع عن مستوى الخط المرجعي

W = الشغل

Q = الطاقة الحرارية

v = الحجم النوعي

لكن المقدار (u+Pv) يساوي خاصية تسمى المحتوى الحراري الانثالبيا h ، عليه

$$m_1(h_1+c_1^2/2+z_1g) + Q + W = m_2(h_2+c_2^2/2+z_2g)$$

ويمكن حساب معدل الانسياب m من العلاقة :

$$m = \rho AC \quad \text{أو} \quad m = C.A/v$$

حيث ρ هي الكثافة

مثال :

Example 2.4

In the turbine of a gas turbine unit the gases flow through the turbine at 17 kg/s and the power developed by the turbine is 14 000 kW. The enthalpies of the gases at inlet and outlet are 1200 kJ/kg and 360 kJ/kg respectively, and the velocities of the gases at inlet and outlet are 60 m/s and 150 m/s respectively. Calculate the rate at which heat is rejected from the turbine. Find also the area of the inlet pipe given that the specific volume of the gases at inlet is 0·5 m^3/kg.

في محطة توربينية غازية تمر الغازات عبر وحدة التوربين بمعدل 17 kg/s حيث يتم انتاج 14000 kW من الطاقة. المحتوى الحراري للغازات عند كل من المدخل والمخرج هي 1200 kJ/kg و 360 kJ/kg على التوالي ، سرعة الغازات عند المدخل والمخرج هي 60 m/s و 150 m/s على التتابع . أحسب معدل الحرارة المطرودة في وحدة التوربين واحسب أيضًا مساحة مقطع الانبوب عند المدخل إذا علم أن الحجم النوعي للغازات عند المدخل هو 0.5 m^3/kg

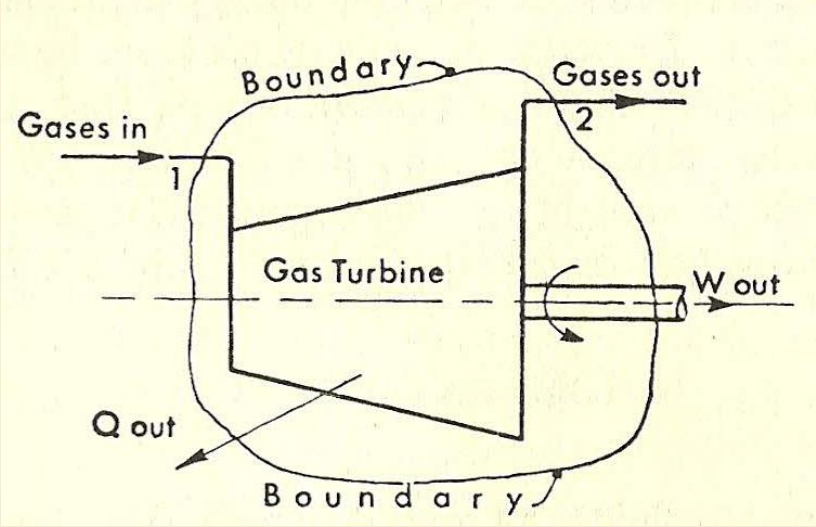
مثال:

في محطة توربينية تمر الغازات عبر وحدة التوربين بمعدل 17 Kg/s والقدرة المولدة في التوربين مقدارها 1400 KW .

المحتوى الحراري (الانثالبيا) للغازات عند المدخل والمخرج هي 1200 KJ/Kg و 360 KJ/Kg على التوالي ، سرعة الغازات عند المدخل والمخرج هي 60 m/s و 150 m/s على التتابع .

أحسب معدل الحرارة المفقودة في وحدة التوربين ، أحسب أيضًا مساحة مقطع الانبوب عند المدخل إذا كان الحجم النوعي للغازات عند المدخل هو 0.5 m^3/Kg

الرسم يوضح وحدة التوربين (مدخل الغازات عند 1 والمخرج عند 2)



العلاقة العامة لمعادلة الطاقة بين المدخل والمخرج:

$$m_1(h_1+c_1^2/2+z_1g) + Q + W = m_2(h_2+c_2^2/2+z_2g)$$

بتجاهل الفرق في طاقتي الوضع بين المدخل والمخرج:

$$h_1+\frac{C_1^2}{2}+Q=h_2+\frac{C_2^2}{2}+W$$

$$m_1(h_1+c_1^2/2) + Q + W = m_2(h_2+c_2^2/2)$$

بتعويض المعطيات عن وحدة كتلة من الغاز تنساب عبر التوربين:

طاقة الحركة عند المدخل: $\text{Kinetic energy at inlet} = \frac{C_1^2}{2} = \frac{60^2}{2}\ \text{m}^2/\text{s}^2$

$= 1800\ \text{N m/kg} = 1{\cdot}8\ \text{kJ/kg}$

طاقة الحركة عند المخرج: $\text{Kinetic energy at outlet} = \frac{C_2^2}{2}$

$= 2{\cdot}5^2 \times (\text{kinetic energy at inlet})$

$= 11{\cdot}25\ \text{kJ/kg}$ لأن $(C_2 = 2{\cdot}5C_1)$

الشغل النوعي (W) يساوي $W = \frac{14\,000}{17}\ \text{kJ/kg} = 823{\cdot}5\ \text{kJ/kg}$

بالتعويض عن مختلف القيم في معادلة الطاقة بين المدخل والمخرج نجد:-

$$1200 + 1{\cdot}8 + Q = 360 + 11{\cdot}25 + 823{\cdot}5$$

$$\therefore\ Q = -7{\cdot}02\ \text{kJ/kg}$$

∴ كمية الحرارة المزالة (Q) = 7·02 kJ/kg

= 7·02 × 17 kJ/s = 119·3 kW

أي أن الحرارة المفقودة هي 12719.3 كيلوواط

من معادلة الاستمرارية m = C.A/v

لإيجاد مساحة المقطع A من علاقة معدل الانسياب (m) على النحو :

$$\text{i.e.} \quad \dot{m} = \frac{CA}{v} \qquad \therefore \ A = \frac{v\dot{m}}{C}$$

∴ مساحة المقطع عند المدخل A_1

$$A_1 = \frac{17 \times 0{\cdot}5}{60} = 0{\cdot}142 \text{m}^2$$

مساحة المقطع عند المدخل 0.142 متر مربع

Example 2.5

مثـــــــــــال

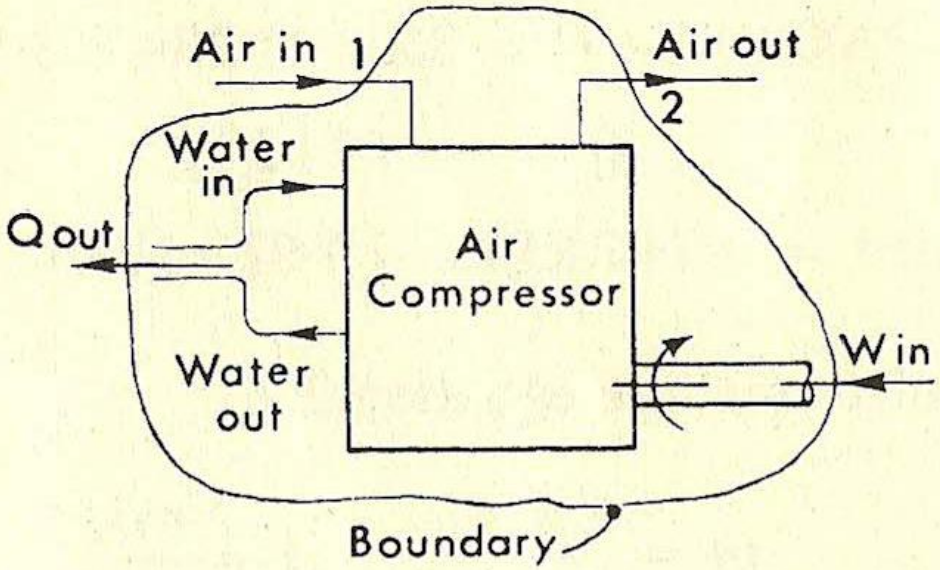
Air flows steadily at the rate of 0·4 kg/s through an air compressor, entering at 6 m/s with a pressure of 1 bar and a specific volume of 0·85 m^3/kg, and leaving at 4·5 m/s with a pressure of 6·9 bar and a specific volume of 0·16 m^3/kg. The internal energy of the air leaving is 88 kJ/kg greater than that of the air entering. Cooling water in a jacket surrounding the cylinder absorbs heat from the air at the rate of 59 kJ/s. Calculate the power required to drive the compressor and the inlet and outlet pipe cross-sectional areas.

ينساب هواء بمعدل مستقر قدره 0.4 kg/s عبر جهاز ضاغط حيث السرعة عند المدخل 6 m/s وضغط السحب 1.0 bar والحجم النوعي عند مدخل الضاغط 0,16 m^3/kg ، الطاقة الداخلية للهواء عند مخرج الضاغط أكبر بمقدار 88 kJ/kg منه عند المدخل ، ماء التبريد في الجيوب حول أسطوانة الضاغط تأخذ طاقة حرارية معدلها 59 kJ/s أحسب القدرة المطلوبة لإدارة الضاغط ومساحة المقطع عند مدخل ومخرج الضاغط.

بتجاهل طاقتي الوضع عند مدخل ومخرج الضاغط ، يمكن كتابة معادلة حفظ الطاقة بين المدخل والمخرج على النحو:

i.e. $$u_1+\frac{C_1^2}{2}+p_1v_1+Q=u_2+\frac{C_2^2}{2}+p_2v_2+W$$

الرسم في الشكل التالي يوضح وحدة الضاغط ويمكن اعتبار الحرارة المنتقلة إلى ماء التبريد كحرارة مزالة عبر حدود المنظومة:



طاقة الحركة عند المدخل :-

$$\frac{C_1^2}{2} = \frac{6 \times 6}{2} \text{ J/kg} = 18 \text{ J/kg}$$

طاقة الحركة عند المخرج :-

$$\frac{C_2^2}{2} = \frac{4{\cdot}5 \times 4{\cdot}5}{2} \text{ J/kg} = 10{\cdot}1 \text{ J/kg}$$

طاقة الضغط عند المدخل :-

$$p_1 v_1 = 1 \times 10^5 \times 0{\cdot}85 = 85\,000 \text{ J/kg}$$

طاقة الضغط عند المخرج :-

$$p_2 v_2 = 6{\cdot}9 \times 10^5 \times 0{\cdot}16 = 110\,400 \text{ J/kg}$$

فرق الطاقة الداخلية بين المخرج والمدخل :-

$$u_2 - u_1 = 88 \text{ kJ/kg}$$

بالتعويض عن مختلق القيم في معادلة الطاقة نجد :- i.e.

$$W = -88 + 85 - 110{\cdot}4 + 0{\cdot}018 - 0{\cdot}0101 - 147{\cdot}5 = -260{\cdot}9 \text{ kJ/kg}$$

الشغل المطلوب للضاغط i.e. Work input required $= 260{\cdot}9$ kJ/kg

أي قدرة الضاغط $= 260{\cdot}9 \times 0{\cdot}4$ kJ/s

i.e. Work input required $= 260{\cdot}9 \times 0{\cdot}4 = 104{\cdot}4$ kW

لحساب مساحة المقطع ، من علاقة معدل الانسياب

$$\dot{m} = \frac{CA}{v}$$

وبالتالي مساحة المقطع عند المدخل A_1

i.e. $$A_1 = \frac{0{\cdot}4 \times 0{\cdot}85}{6}\ \text{m}^2 = 0{\cdot}057\ \text{m}^2$$

i.e. Inlet pipe cross-sectional area $= 0{\cdot}057\ \text{m}^2$

بالمثل مساحة المقطع عند المخرج A_2

Similarly, $$A_2 = \frac{0{\cdot}4 \times 0{\cdot}16}{4{\cdot}5} = 0{\cdot}014\ \text{m}^2$$

i.e. Outlet pipe cross-sectional area $= 0{\cdot}014\ \text{m}^2$

مثــال: وحدة توربين تستقبل غازات ساخنة من غرفة الاحتراق تحت ضغط 7 بار ودرجة حرارة 650 درجة مئوية وسرعة دخول للتوربين 45 م/ث بفرض أن التمدد في التوربين أدياباتي رجوعي للحالة المثالية أحسب القدرة المولدة في التوربين لوحدة الكتلة للغازات خذ:

$\gamma = 1.333$, $C_p = 1.11$ kJ/kg.K

Solution **Using the flow equation for an adiabatic process**

من معادلة الانسياب (باهمال الحرارة وطاقة الوضع) نجد:

$$W = \dot{m}\left\{(h_2 - h_1) + \left(\frac{C_2^2 - C_1^2}{2}\right)\right\}$$

For a perfect gas from equation (2.18), $h = c_p T$, therefore,

للغاز المثالي:

$$W = \dot{m}\left\{c_p(T_2 - T_1) + \left(\frac{C_2^2 - C_2^2}{2}\right)\right\}$$

إذن الشغل المنتج (W) يحسب من:

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

للاجراء الأدياباتي:

i.e. $$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{7}{1}\right)^{(1.333-1)/1.333} = 1.626$$

لذلك:

therefore

لذلك:

$$T_2 = \frac{T_1}{1.626} = \frac{923}{1.626} = 567.7 \text{ K}$$

أي أن:

where $T_1 = 650 + 273 = 923$ K.

حيث درجة الحرارة (T_1):

Hence substituting for unit mass flow rate

لوحدة الكتلة المنسابة:

$$\dot{W} = 1 \times 1.11(567.7 - 923) + \left(\frac{45^2 - 9^2}{2 \times 10^3}\right)$$

أي أن:

therefore

لذلك:

$$\dot{W} = -394.4 + 0.97 = -393.4 \text{ kW}$$

إذن الشغل (W):

القدرة المولدة في التوربين = P_{out}

i.e. Power output per kilogram per second = 393.4 kW

العمليات الغير رجوعية Irreversible Processes

هي عمليات لا تتبع نفس مسارها عند عكس الاجراء بعكس العمليات الرجوعية وتمثل على المخططات كخطوط متقطعة وتشمل:

1. التمدد عبر صمام Throttling

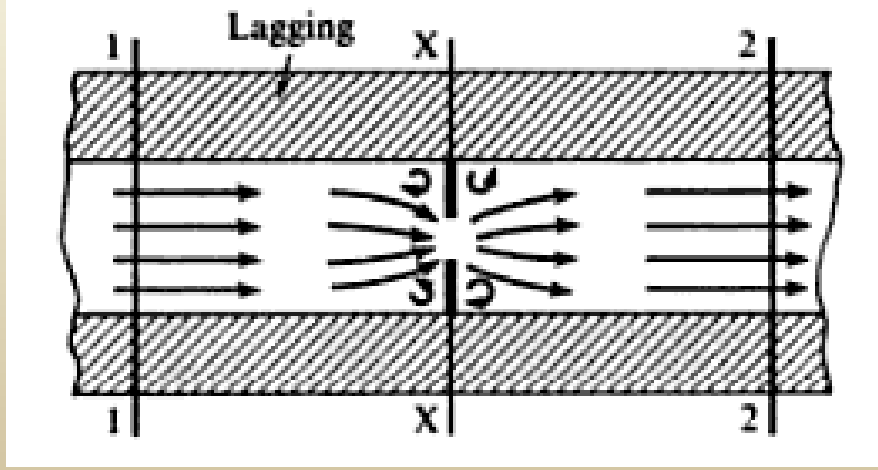
هو عملية تمدد مائع من نقطة إلى أخري فيما يعرف بالخنق

$$\dot{m}\left(h_1+\frac{C_1^2}{2}\right)+\dot{Q}+\dot{W}=\dot{m}\left(h_2+\frac{C_2^2}{2}\right)$$

Now since $Q=0$, and $W=0$, then

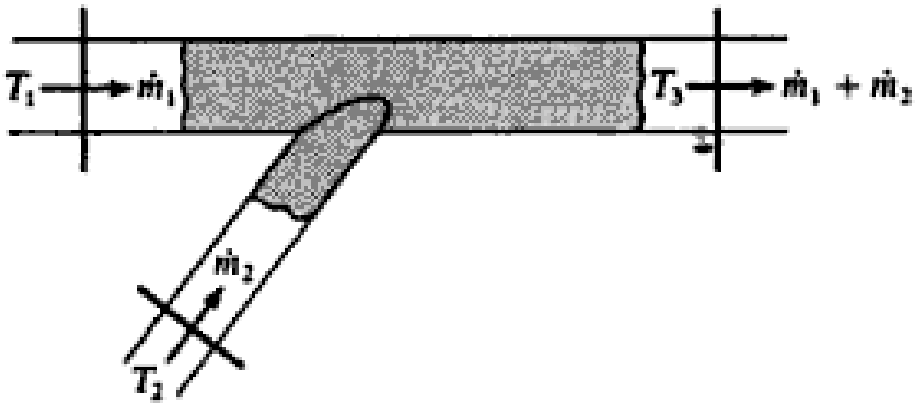
$$h_1+\frac{C_1^2}{2}=h_2+\frac{C_2^2}{2}$$

$$c_pT_1=c_pT_2 \quad \text{or} \quad T_1=T_2$$



Adiabatic Mixing

2. الخلط الأدياباتي



$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

للغاز المثالي :

$h = c_p T$, hence,

$$\dot{m}_1 c_{p_1} T_1 + \dot{m}_2 c_{p_2} T_2 = (\dot{m}_1 c_{p_1} + \dot{m}_2 c_{p_2}) T_3$$

Or, assuming that the two streams 1 and 2 are of the same fluid with the same specific heat capacity,

بفرض أن التيارين من غاز مثالي واحد له نفس الحرارة النوعية من المصدرين

علـــــيه:

$$\dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) T_3$$

PROBLEMS

تـــــمارين

2.5 A steam turbine receives a steam flow of 1·35 kg/s and delivers 500 kW. The heat loss from the casing is negligible.

(a) Find the change of enthalpy across the turbine when the velocities at entrance and exit and the difference in elevation at entrance and exit are negligible.

(b) Find the change of enthalpy across the turbine when the velocity at entrance is 60 m/s, the velocity at exit is 360 m/s, and the inlet pipe is 3 m above the exhaust pipe. (370 kJ/kg; 433 kJ/kg)

5.2. محطة توربينية بخارية تتلقى بخار ماء بمعدل 1.35 kg/s لانتاج 500 kW من الطاقة والحرارة المفقودة حول غلاف التوربين يمكن اهمالها. (أ) حسب التغير في المحتوى الحراري عبر التوربين بفرض أن فرق السرعة بين المدخل والمخرج وفرق الارتفاع بين فتحة المدخل والمخرج يمكن اهمالهما. (ب) حسب التغير للمحتوى الحراري عبر التوربين أيضا بفرض أن السرعة عند المدخل 60 m/s وعند المخرج 360 m/s وارتفاع فتحة المدخل أعلى بمقدار 3 m من المستوى عند المخرج.

{370 kJ/kg ،433 kJ/kg}

2.6 A steady flow of steam enters a condenser with an enthalpy of 2300 kJ/kg and a velocity of 350 m/s. The condensate leaves the condenser with an enthalpy of 160 kJ/kg and a velocity of 70 m/s. Find the heat transfer to the cooling fluid per kg of steam condensed.
(−2199 kJ/kg)

6. يدخل بخاء الماء وحدة المكثف في محطة توبينية بخارية بمحتوي حراري 2300 kJ/kg وسرعة انسياب 350 m/s ويغادر الماء المتكاثف الوحدة بمحتوى حراري 160 kJ/kg وسرعة خروج 70 m/s أحسب معدل الفقد الحراري أثناء عملية التكاثف عن كل كجم من البخار يتم تكثيفه.

2.7 A turbine operating under steady flow conditions receives steam at the following state: pressure 13·8 bar; specific volume 0·143 m^3/kg; internal energy 2590 kJ/kg; velocity 30 m/s. The state of the steam leaving the turbine is: pressure 0·35 bar, specific volume 4·37 m^3/kg, internal energy 2360 kJ/kg, velocity 90 m/s. Heat is lost to the surroundings at the rate of 0·25 kJ/s. If the rate of steam flow is 0·38 kg/s, what is the power developed by the turbine?

(102·8 kW)

7. توربين بخار يعمل على حالة الانسياب المستقر حيث الحالة عند المدخل هي: الضغط = 13.8 bar ، الحجم النوعي = 0.143 m^3/kg ، الطاقة الداخلية = 2590 kJ/kg ، سرعة البخار = 30 m/s ، وحالة البخار عند مخرج التوربين علة النحو: الضغط = 0.35 bar ، الحجم النوعي = 4.37 m^3/kg ، الطاقة الداخلية = 2360 kJ/kg ، سرعة البخار = 90 m/s ، يفقد البخار حرارة إلى الجوار بمعدل 0.25 kJ/s إذا علم أن معدل انسياب البخار هو 0.38 kg/s أحسب القدرة التي يتم توليدها؟

2.8 A nozzle is a device for increasing the velocity of a steadily flowing stream of fluid. At the inlet to a certain nozzle the enthalpy of the fluid is 3025 kJ/kg and the velocity is 60 m/s. At the exit from the nozzle the enthalpy is 2790 kJ/kg. The nozzle is horizontal and there is negligible heat loss from it.

(a) Find the velocity at the nozzle exit.

(b) If the inlet area is 0·1 m^2 and the specific volume at inlet is 0·19 m^3/kg, find the rate of flow of fluid.

(c) If the specific volume at the nozzle exit is 0·5 m^3/kg, find the exit area of the nozzle. (688 m/s; 31·6 kg/s; 0·0229 m^2)

8. المنفث عبارة عن جهاز يستخدم لزيادة سرعة الانسياب المستقر للمائع. المحتوى الحراري للمائع عند مدخل منفث 3025 kJ/kg وسرعة المائع عند المدخل 60 m/s ، عند مخرج المنفث وجد أن قيمة المحتوى الحراري 2760 kJ/kg بفرض أن المنفث على وضع أفقي وأن الفقد الحراري عبر المنفث يمكن تجاهله.

أ. جد السرعة عند مخرج المنفث.

ب. إذا كانت مساحة المنفث عند المدخل $0.1\ m^2$ والحجم النوعي عنده $0.19\ m^3/kg$ أحسب معدل الانسياب.

ج. إذا كان الحجم النوعي للمائع عند المخرج $0.5\ m^3/kg$ أحسب المساحة عند مخرج المنفث.

(688 m/s; 31·6 kg/s; 0·0229 m^2)