

## الفصل الثالث - الطاقة

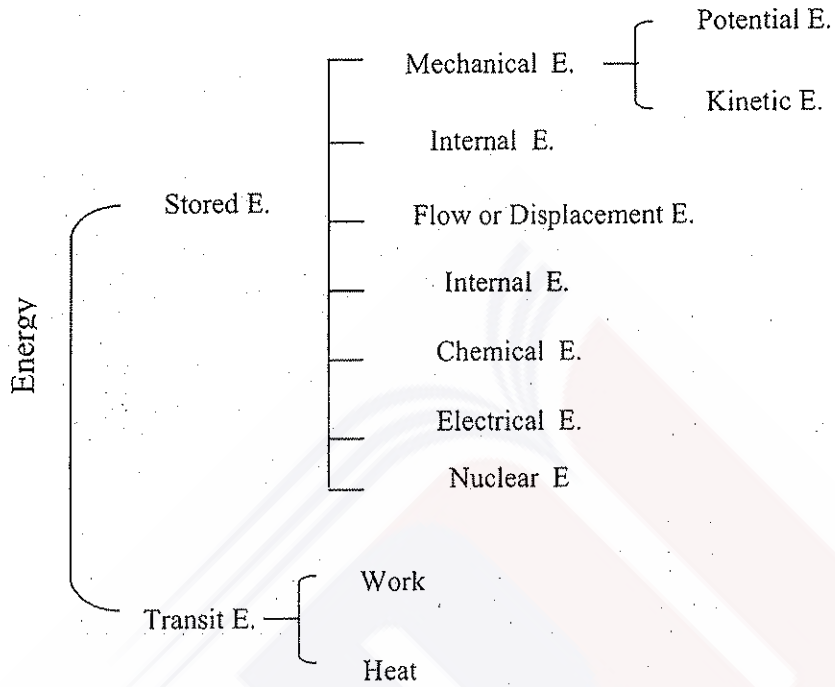
### (3.1) - الطاقة Energy

يهتم علماء الديناميكا الحرارية بالطاقة وتحولاتها من شكل لآخر. هذه التحولات تنظم بضوابط معينة هي قوانين الديناميكا الحرارية. فالطاقة تساعد في صياغة القانون الاول الذي يعبر عن مفه وم الطاقة.

يمكن تعريف الطاقة بأنها القدرة على إنجاز شغل، رمزها (E). اما الشغل فهو نتيجة لحركة قوة ما مسافة معينة، يحتوي الوقود على طاقة كامنة بصيغة كيميائية، فعند حرقه في المحرك تتحول هذه الطاقة الى طاقة ميكانيكية تحرك السيارة، ومنه فان شغلاً قد حصل لأن قوة يدري تحريكها بمسافة معينة نتيجة لحرق الوقود تؤدي الى زيادة درجة الحرارة والطاقة الداخلية للمائع إن وحدات الطاقة هي (القوة × المسافة) أي (N.m) وهو الجول (J) ولأنه وحدة صغيرة فيستعمل الكيلو جول (kJ) الذي يساوي ( $10^3$  J).

### (3.2) - مصادر واشكال الطاقة Sources & Forms of Energy

- 1- مصادر ذات كميات محدودة وتشمل الوقود (العادي، الفحم، النووي).
  - 2- مصادر ذات كميات غير محدودة لتوليد القدرة الكهربائية مثلاً وتشمل:
    - أ. الطاقة الشمسية
    - ب- المد والجزر
    - ج- امواج البحر
    - د- مساقط المياه
    - هـ- طاقة الرياح
    - و- الحرارة المخزونة تحت الارض.
- اما اشكال الطاقة فموضحة في المخطط التالي:-



### (3.2.1) - الطاقة المخزونة Stored Energy

هي الاشكال المختلفة لطاقة المائع موجودة ضمن المائع نفسه، وتشمل:

#### أ- الطاقة الكامنة Potential Energy

تسمى ايضاً بطاقة الوضع، رمزها (PE)، تتوقف على وزن الجسم وارتفاعه بالنسبة لمنسوب ثابت كطاقة المياه المحجوزة على منسوب معين وراء احد السدود أي انها الطاقة التي يكتسبها الجسم او المائع (النظام) عندما يكون على ارتفاع مقداره (Z) بالذسبة لسطح الارض. إن قوة الجذب الارضي للكتلة يساوي (F = m×g) حيث (g) تمثل التعجيل الارضي، فإذا تحركت هذه القوة (او الوزن) خلال مسافة شاقولية مقدارها (Z)، فإن الطاقة الكامنة تساوي:

$$PE = F \times Z = m \times g \times z \quad \dots\dots (3.1)$$

اما التغير في الطاقة الكامنة:

$$\Delta PE = mg \times \Delta Z \quad \dots\dots (3.2)$$

والطاقة الكامنة النوعية تساوي:

$$PE = g \times Z \quad \dots\dots (3.3)$$

ليس للطاقة الكامنة أهمية كبيرة، حيث يكون التغير صغيراً جداً يقترب من الصفر في معظم المحركات الحرارية.

### ب- الطاقة الحركية Kinetic Energy

رمزها (KE). هي طاقة الجسم أو المائع، أي طاقة النظام، تتوقف على وزن الجسم وسرعته إذا كان في حالة حركة أو عند تبطينه. يكون حددها الأقصى عندما يبطئ الجسم إلى السكون. يمكن أن تكون ذات أهمية كبيرة في بعض الأنظمة مثل المحركات النفاثة، توربينات البخار والغاز والضاغط .... الخ. وعندما تكون (C) السرعة، (t) الزمن، (m) الكتلة، (a) تعجيل الكتلة، فتكون القوة الخارجية الكلية المؤثرة في الجسم في الاتجاه الموازي لأزاحته (dL) يساوي:

$$F = m.a = m \frac{dc}{dt} \dots\dots\dots (3.4)$$

وسيكون الشغل الكلي المبذول أو الطاقة الكلية بوساطة الجسم ضد هذه القوة لتقليل السرعة من

$$W_t = \int FdL \dots\dots\dots (3.5) \quad (C) \text{ الى الصفر يساوي:}$$

$$= \int m \frac{dc}{dt} . dL = \int m \frac{dc}{dt} . dc = \int mc dc$$

$$= \int \frac{m}{2} d(c)^2 = m \left[ \frac{c^2}{2} \right]_0^c = \Delta \frac{mc^2}{2}$$

$$\therefore KE = \frac{mc^2}{2} \dots\dots\dots (3.6)$$

اما التغير في الطاقة الحركية فيساوي:

$$\Delta KE = \frac{m\Delta c^2}{2} \dots\dots\dots (3.7)$$

اما الطاقة الحركية النوعية فتساوي:

$$\Delta KE = \frac{\Delta c^2}{2} \dots\dots\dots (3.8)$$

ونتعرف على وحدات (KE) من خلال التحويل التالي للوحدات:

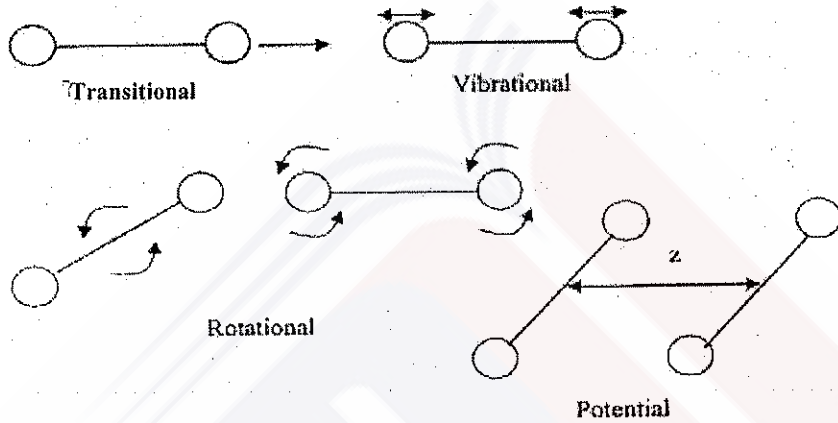
$$\frac{kJ}{kg} = 10^3 \frac{J}{kg} = 10^3 \frac{N.m}{kg} = 10^3 \frac{kg \times \frac{m}{s^2} \times m}{kg} = 10^3 \frac{m^2}{s^2} \dots\dots\dots (3.9)$$

فإذا اريد ان تكون الـ (KE) بوحدات (kJ/kg) فتصبح المعادلة (3.8) كالتالي:

$$\Delta KE = \frac{\Delta c^2}{2} = \frac{m^2/s^2}{2} \cdot \frac{kJ/kg}{10^3 m^2/s^2} = \frac{\Delta c^2}{2 \times 10^3} (kJ/kg) \dots\dots\dots (3.10)$$

### ج. - الطاقة الداخلية Internal Energy

تتألف المادة من الذرات والجزيئات. فعند التسخين ستحصل المادة على طاقة حركية بسبب حركة الجزيئات الانتقالية (Transition)، الاهتزازية (Vibration)، والدورانية (Rotation)، وكذلك ستحصل المادة على طاقة كامنة بسبب قوة التجاذب الموجودة بين الجزيئات، كما في شكل (3.1).



شكل (3.1) - حركة الجزيئات داخل المادة

إن كل الطاقات التي تمتلكها المادة والمخزونة فيها تسمى بالطاقة الداخلية، يرمز لها (U) والنوعية ( $\mu$ ). في الغازات تتحرك الجزيئات والذرات بحرية أكبر مما هو عليه في المواد الصلبة، لذا سيولد ارتطامها وحركتها ضغطاً على الجدار. لذا فإن الطاقة الداخلية دالة لحركة الجزيئات والذرات، وبالتالي فهي خاصية من خواص المادة تعين بدلالة أي خاصيتين مستقلتين مثل (T, P). إن زيادة الطاقة الداخلية لا يؤدي دائماً إلى زيادة درجة الحرارة، فمثلاً عند تغير الماء إلى بخار فإن درجة الحرارة ستبقى ثابتة في حين تزداد الطاقة الداخلية وتتفصل الجزيئات ليتحول الماء إلى بخار. وهذه الحالة تنطبق على تحويل الصلب إلى سائل كما سيتوضح في الفقرة (4.1)، انظر شكل (4.2).

لا يمكن تحديد قيمة الطاقة الداخلية على أساس مطلق، بل يتمثل بمقدار التغير في رأي ( $\Delta U_{12} = U_2 - U_1$ ). فعند تسخين النظام ترتفع درجة حرارته وتزداد حركة الجزيئات والذرات وبالتالي تزداد الطاقة الداخلية، والعكس صحيح، فعندما تكون الجزيئات والذرات في حالة سكون فتكون الطاقة الداخلية صفراً. أي إن الطاقة الداخلية دالة لدرجة الحرارة كما سيتوضح فيما بعد.

### د- الطاقة الازاحية او التدفقية (طاقة الجريان) Flow or Displacement Energy

هي الطاقة الناتجة بسبب ازاحة او جريان (تدفق) المائع سواء كان غازاً أو سائلاً. تكون على

شكل نوعين:

أ. طاقة او شغل ازاحي.

ب. طاقة أو شغل جرياني (تدفقي).

أن الشغل الازاحي هو الشغل المبذول بواسطة قوة مؤثرة على مكبس تزيحه من مكان لأخر من أجل ذلك شغلا ازاحياً. أبسط مثال على ذلك هو ما يحدث في اسطوانة محرك. فبعد احتراق الوقود داخل الاسطوانة تتولد طاقة. فتتمدد الغازات التي تدفع (او تزيح) المكبس من نقطة لآخرى من أجل ذلك شغلا خارجياً موجبا. وعند انضغاط الغازات يحتاج المكبس شغلا داخلياً سالبا ليزاح أيضاً من نقطة لآخرى. فإذا كان ( $P$ ) تمثل الضغط المؤثر الثابت (وزن المكبس مثلاً). وان ( $V_1$ ) الحجم الابتدائي للغاز، ( $V_2$ ) الحجم النهائي. فإن الشغل المنجز من قبل الغاز ( $W$ ) والذي يزيح المكبس من نقطة ( $V_1$ ) الى نقطة ( $V_2$ ) سيكون:

$$W_{12} = P\Delta V_{12} = P(V_2 - V_1)$$

### (3.2.2) - الطاقة المنتقلة او العابرة Transit Energy

يمكن تشبيه هذه الطاقة بالمطر، فعندما يهطل المطر على بحيرة يتحول هذا المطر الى ماء اضافي ضمن البحيرة، ولا يسمى عندئذ مطراً، فالماء ضمن البحيرة يشبه الطاقة المخزونة، بينما المطر يشبه الشغل او الحرارة. فبعد انتقال الشغل او الحرارة الى النظام يتحولان الى طاقة مخزونة. لذلك من الخطأ ان يقال ان النظام يحتوي على كمية حرارة، وإنما يقال انه يحتوي على طاقة مخزونة، ينتهي وجودهما كشغل او حرارة ويتحولان الى زيادة في الطاقة الداخلية والحركية والكامنة. اذا كانت كمية الحرارة المنتقلة الى النظام اكبر من الشغل الخارج فستزداد الطاقة المخزونة في النظام والعكس صحيح. يتبين من المناقشة ان الطاقة المنتقلة تشمل الشغل والحرارة.

### (3.3) - حفظ الطاقة The Conservation of Energy

ينص قانون حفظ الطاقة على ان الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتحول من شكل الى آخر. أبسط مثال لتوضيح هذا المفهوم هو محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية ثم الى شغل يقوم بتدوير المولدة الكهربائية (Electrical generator). أي ان هذا الشغل قد تحول الى طاقة كهربائية ترسل الى المستهلك لأستعمالها في اجهزة مختلفة لإنتاج الحرارة او الضوء او القوة. وبالتأكيد لا تتحول كل الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية بسبب تسرب الطاقة او المفقودات الحرارية، والامتثلة على محطات توليد الطاقة هي:

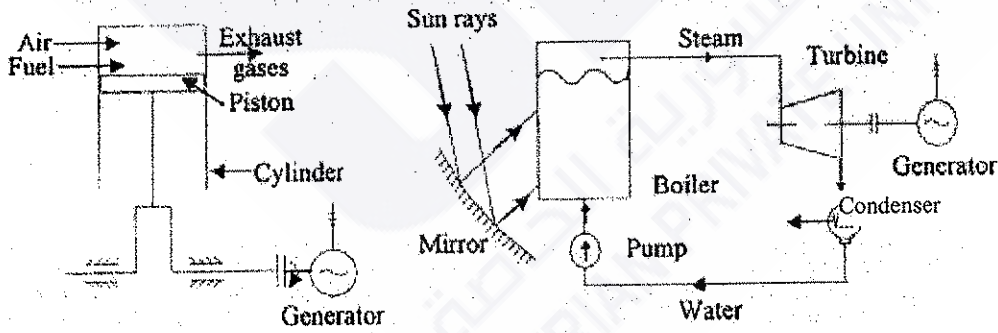
- 1 المحطة الشمسية شكل (3.2-a)
- 2 محطة ديزل شكل (3.2-b)
- 3 المحطة الغازية شكل (3.3-a)
- 4 المحطة البخارية شكل (3.3-b)
- 5 المحطة النووية الغازية شكل (3.4-a)
- 6 المحطة الهيدروليكية شكل (3.4-b)

وغيرها من محطات تحويل الطاقة. وسنسلط الضوء على بعض من هذه المحطات.

### -1 محطة ديزل

بعد حرق الوقود داخل محرك ديزل، تتحول الطاقة الكيميائية الموجودة في الوقود الى طاقة حرارية، نواتج الاحتراق (Product of Combustion) تتمدد ويتحرك المكبس حركة ترددية (Reciprocating) ثم تتحول الى حركة دورانية (Rotary) بواسطة آلية المرفق وذراع التوصيل (Crank Connecting rod mechanism) يستغلها المولد لإنتاج الطاقة الكهربائية. أي ان:

الطاقة الكيميائية ← محرك ديزل ← طاقة ميكانيكية ← المولد ← طاقة كهربائية



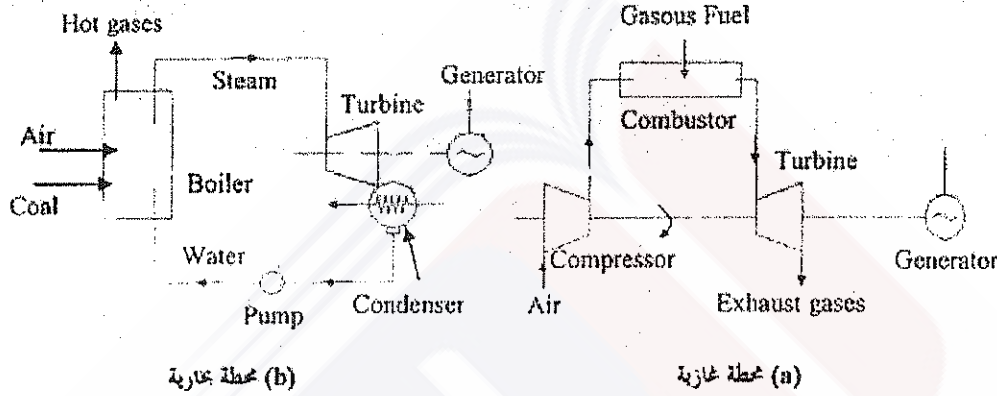
(b) محطة ديزل

(a) محطة شمسية

شكل (3.2) - محطة توليد الطاقة

## 2- المحطة الغازية

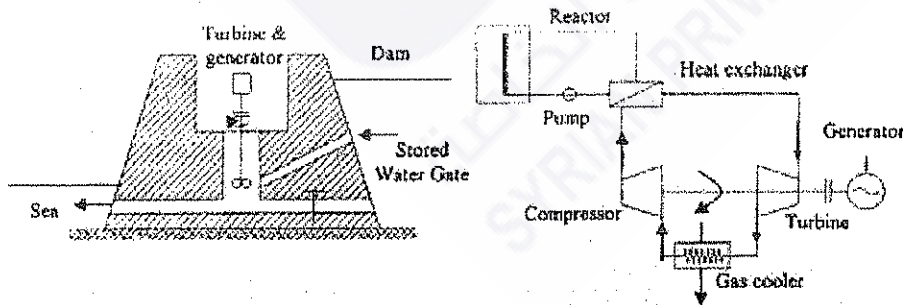
يضغط الهواء خلال الضاغط (Compressor). نواتج الاحتراق الناتجة في غرفة الاحتراق (Combustor) تتمدد خلال التوربين (Turbine) وتعطي الشغل اللازم لإدارة المولد الكهربائي.



شكل (3.3) - محطة توليد الطاقة

## 3- المحطة البخارية

عند حرق الوقود (سولار او فحم)، تعمل الحرارة في المرجل (Boiler) على توليد البخار. عندما يتمدد البخار خلال التوربين فان جزء من الطاقة الحرارية المخزونة في البخار تتحول الى طاقة ميكانيكية، يستخدمها المولد لإنتاج الطاقة الكهربائية. أي ان:  
الطاقة الكيميائية ← المرجل ← طاقة حرارية ← التوربين ← طاقة ميكانيكية ← المولد ← طاقة كهربائية.

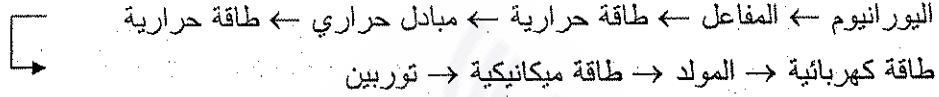


شكل (3.4) - محطة توليد الطاقة

شكل (3.4) - محطة توليد الطاقة

#### 4- المحطة النووية الغازية

يضغط الغاز خلال الضاغط (Compressor)، ثم يسخن في المبادل الحراري بواسطة الحرارة المتولدة في المفاعل (Reactor)، والمنتقلة من المفاعل الى المبادل الحراري بواسطة مادة ناقلة للحرارة، عندما تتمدد الغازات الساخنة خلال التوربين، جزء من الطاقة المخزونة في الغازات تتحول الى شغل يعمل على إدارة المولد الكهربائي، أي ان:



وخلص القول إذا كانت محطات تحويل الطاقة انظمة ثرموديناميكية فسيكون مجموع الطاقة الداخلة الى النظام ( $\sum E_{in}$ ) تساوي مجموع الطاقة الخارجة ( $\sum E_{out}$ ) وتغير الطاقة داخل النظام  $\Delta E_{system}$  كما في شكل (3.5)، أي:



شكل (3.5) - طاقة النظام

$$\sum E_{in} = \sum E_{out} + \Delta \sum E_{system} \quad \dots\dots (3.11)$$

وعندما تكون حالة النظام مستقرة أي ( $\Delta \sum E_{system} = 0$ ) فسيكون:

$$\sum E_{in} = \sum E_{out} = \sum E_{constant}$$

وعندما يكون النظام معزول (Isolated) فإن:

$$E_{system} = \text{Constant}$$

#### (3.4) - الشغل والحرارة Work and Heat

##### (3.4.1) - خلفية تاريخية Historical Background

ظهرت نظرية في القرن الثامن عشر تعد الحرارة احد انواع الموائع أي انها مادة تخزن وتنساب من الاجسام الحارة الى الباردة. لكن هذه النظرية فندت واصبحت في الوقت الحاضر رديئة مقبولة لأنه برهن وأثبت عملياً وعلمياً ان الحرارة (1) تتكون بالاحتكاك و (2) تنساب حتى من الاجسام الباردة و (3) تنتقل من الاجسام الحارة الى الباردة تلقائياً.

لقد قام العالم السير همفري ديفي بتقريب جسمين باردين من بعضهما ثم مسح احدهما بالآخر فوجد ظهور الحرارة نتيجة الاحتكاك ما بين هذين الجسمين الباردتين. وقام العالم نفسه بأخذ قطعتين من الثلج ووضع احدي القطعتين فوق الاخرى وبدأ عملية المسح ببعضهما البعض فأد صهرت القطعتين



وكونا ماءً وبهذا الدليل اثبت ان الحرارة تتكون بالاحتكاك ما بين جزيئات المادة لأن هذه الجزيئات تكون في حالة حركة دائمية لذلك تتساقط حتى من الاجسام الباردة.

اما العالم كونت رمفورد الذي اكد عام (1798) ان الحرارة تتولد بالاحتكاك من خلال ارتفاع درجة حرارة رايش النحاس الاصفر في عملية تجويف ماسورة مدفع.

يقصد بالاحتكاك الشغل المبذول والمسؤول عن انسياب الحرارة، لذلك ومن خلال التجارب اعلاه تبين ان هناك تكافؤاً متيناً بين الحرارة الناتجة والشغل المبذول، هذا التكافؤ اوجده الدكتور جيمس بريسكو جول (1818 - 1889) وهو عالم فيزيائي انكليزي من خلال بحثه التاريخي في موتر الرابطة البريطانية في كورك عام (1843)، إذ قام بحساب القيمة العددية الثابتة للعلاقة بين الحرارة والشغل الميكانيكي والتي تساوي  $(J=4.186 \text{ kJ/kcal})$  وتسمى بمكافئ جول، أي ان  $(W/Q=J)$  عندما يكون الشغل  $(W)$  بوحدات الجول  $(J)$  والحرارة  $(Q)$  بوحدات  $(Kcal)$ . وفي نظام الوحدات العالمي  $(SI)$  فإن وحدات الحرارة نفس وحدات الشغل وهي الجول  $(J)$  ويساوي  $(J=N.m)$ ، لذا فإن قيمة المكافئ ليس ضرورياً في المعادلات، فبقيت قيمته التاريخية فقط.

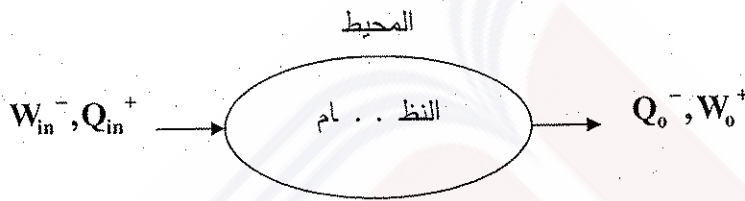
#### (3.4.2) - العلاقة بين الحرارة والشغل Relationship between Heat & Work

عند انتقال الحرارة او الشغل الى النظام يتحولان الى طاقة مخزونة بعد دخولهما الى النظام لا يمكن تمييزهما او فصلهما عن الطاقة التي يمتلكها النظام. يمكن تشبيه ذلك بالمطر في البحيرة، فالمطر هو الحرارة والشغل، وماء المطر في البحيرة يشبه الطاقة المخزونة. نستنتج من ذلك ان الحرارة او الشغل هما طاقة منتقلة عبر حدود النظام، أي انها ظاهرة وقتية تلاحظ عند حدود النظام، وتتوقف عندما يتوقف الانتقال.

إذن الشغل والحرارة هما شكل من اشكال الطاقة، كمية منتقلة وليس خاصية، لذلك فهما دالة للمسار، أي لا يعتمدان فقط على الحالة الابتدائية والنهائية بل ايضاً على الحالات البينية (الوسطية)، أي على المسار.

### (3.4.3) - إشارة ووحدات الحرارة والشغل Sign. of Heat & Work

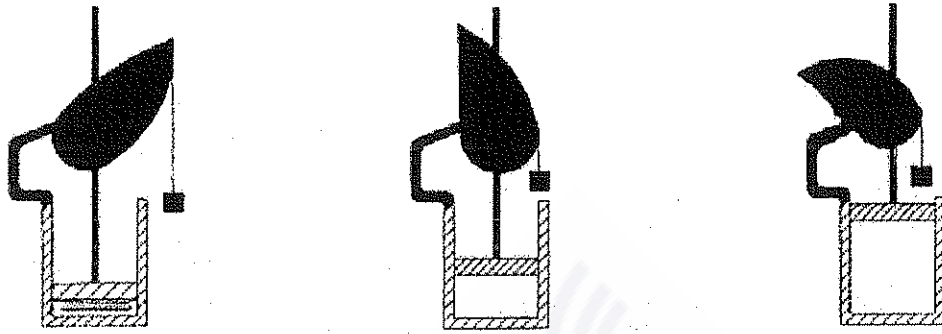
رمز الشغل ( $W$ ) والنوعي ( $w$ ) الذي يساوي ( $w=W/m$ )، ورمز الحرارة ( $Q$ ) والحرارة لكل ( $1\text{Kg}$ ) بالرمز ( $q$ ) والتي تساوي ( $q=Q/m$ ). ويقال عن الشغل المنتقل من النظام إلى المحيط بالشغل الخارجي (External Work) ورمزه ( $W_{out}$ ) وإشارته موجبة. وعن الشغل المنتقل من المحيط إلى النظام بالشغل الداخلي (Internal Work) ورمزه ( $W_{in}$ ) وإشارته سالبة. أما الحرارة المنتقلة فأشارتها عكس إشارة الشغل، وكما مبين في شكل (3.6).



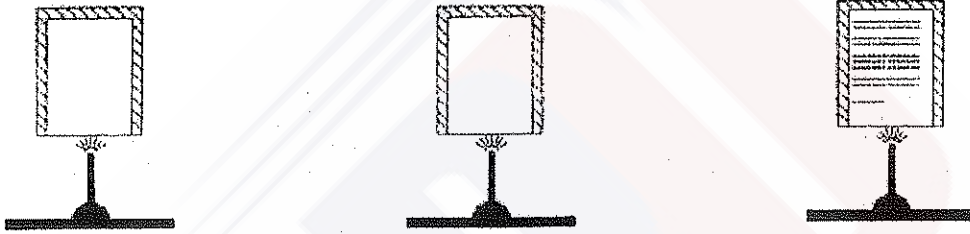
شكل (3.6) - رمز وإشارة الحرارة والشغل

وللأشارة إلى معدل إنجاز الشغل نضع نقطة فوق الرمز ( $W$ ) ويساوي الشغل المنجز لكل وحدة زمنية، أي ( $\dot{W} = W/t$  "KW") وللأشارة إلى معدل إنتقال الحرارة، نضع نقطة فوق الرمز ( $Q$ ) ويساوي الحرارة المنتقلة لكل وحدة زمنية، أي ( $\dot{Q} = Q/t$  "KW")

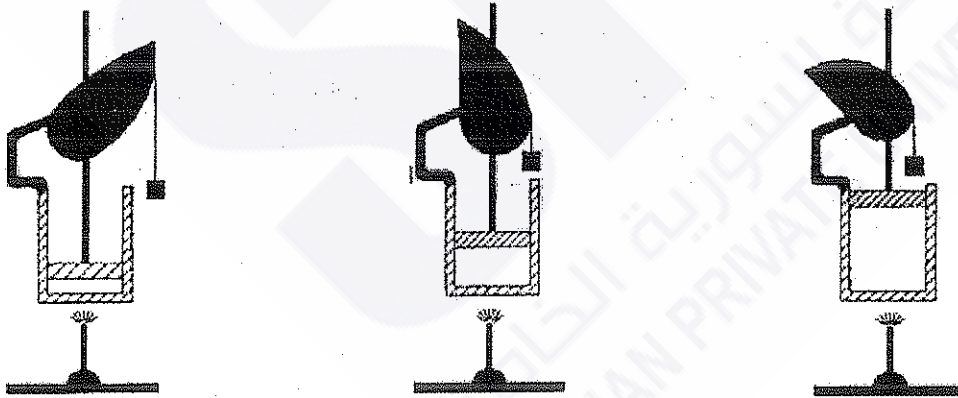
ولكي نميز بين الحرارة والشغل ننظر إلى شكل (3.7)، فأن (أ) يوضح أن المائع يتمدد ادياباتياً، بتخفيض الوزن وينجز شغلاً، بينما يبذل المائع قريباً من حالة الاتزان. وفي (ب) تنتقل حرارة بدون شغل، وفي (ج) تنتقل حرارة فيتمدد المائع وينجز شغلاً.



(أ) شغل أدرياتي



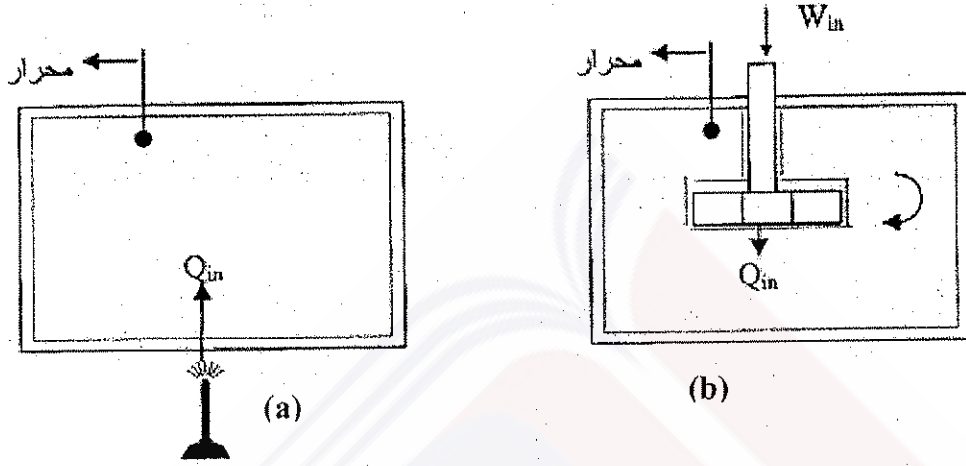
(ب) حرارة بدون شغل



(ج) شغل وحرارة

شكل (3.7) - التمييز بين الحرارة والشغل

ومن الممكن ان نطرح السؤال التالي: ماذا يحدث للحرارة بعد انتقالها ؟  
 فيكون الجواب على ذلك هو بما ان النظام لا يستطيع خزن الطاقة على شكل حرارة، فبعبور الحدود



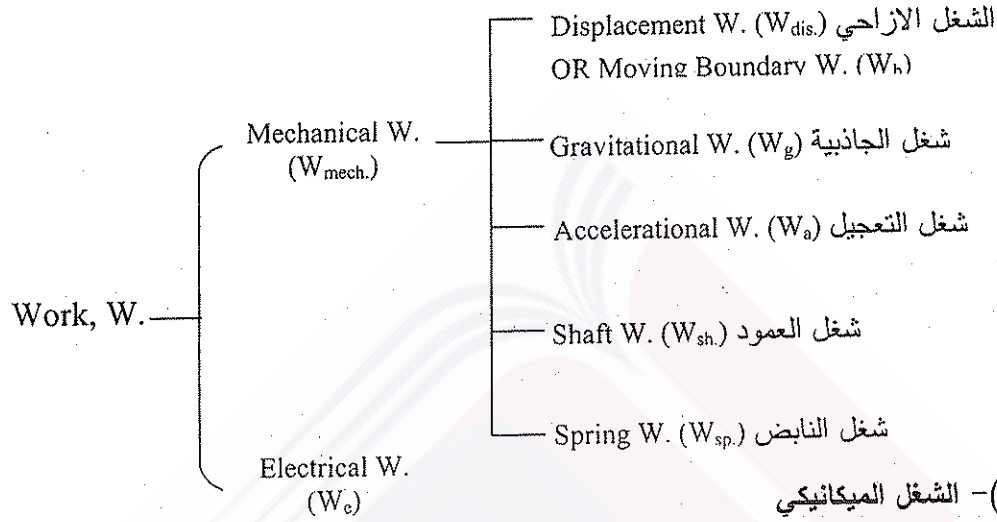
شكل (3.8) - الشغل والحرارة شكلان متبادلان من اشكال الطاقة

تتحول الطاقة الحرارية الى شكل آخر من اشكال الطاقة والذي يمكن ان يحتفظ به النظام، ويدت تحويل مماثل عند انتقال طاقة الشغل، كما في شكل (3.8) الذي يوضح بان الماء الموجود في خزان ترتفع درجة حرارته بنفس المقدار سواء عن طريق التسخين (a) او عن طريق الاحتكاك (b) ذلك فان الحرارة والشغل هما شكلان متبادلان من اشكال الطاقة.

يمكن التعبير عن الحرارة بوحدات الشغل التي هي الجول (J) ويعرف بأنه مقدار الشغل المنجز بواسطة قوة مقدارها نيوتن واحد (N) عندما تتحرك هذه القوة مسافة متراً واحداً (m) بالاتجاه الذي تعمل فيه تلك القوة، أي ان:  $(J=N.m)$ .

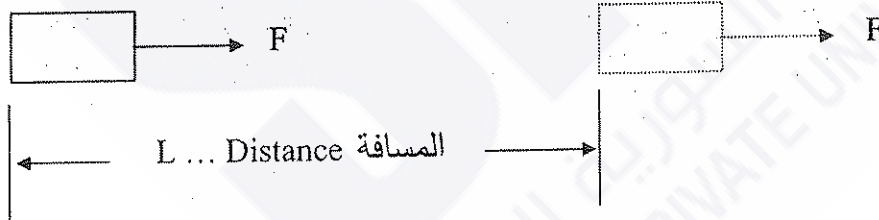
### (3.5) اشكال الشغل Forms of Work

يمكن ان يكون الشغل بأشكال مختلفة موضحة في المخطط الآتي:



#### (3.5.1) الشغل الميكانيكي

يعتمد على مبدأ، إذا لم تكن حركة، لم يكن شغل. الشغل الميكانيكي هو الطاقة المبذولة للتغلب على قوة ما او مقاومة. فمثلاً عند بذل طاقة لرفع كتلة، فإن الاحساس العضلي للتغلب على الجاذب الارضي للكتلة (أي وزنها) هو شعور بوجود قوة. وعند بذل طاقة لضغط نابض باليد سيولد شعوراً بوجود مقاومة. فالشغل ينجز حين تتحرك قوة عبر مسافة معينة.



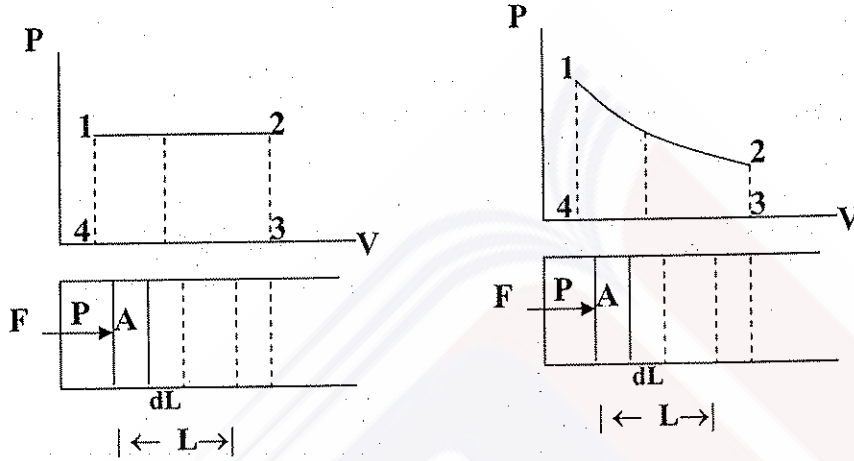
شكل (3.9) - إذا لم تكن حركة، لم يكن شغلاً

لذا يمكن تعريف الشغل، وكما موضح في الشكل (3.9) بأنه حاصل ضرب القوة (F) في المسافة (L). أي:

$$W_{\text{mech.}} = F \cdot L = \int_1^2 F dL \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

### (3.5.2) - الشغل الازاحي Displacement Work

ان الشغل شيء يظهر عند الحدود عندما تتغير حالة النظام بسبب تحرك جزء من الحدود تحت تأثير القوة وكما هو الحال في الميكانيك نقول ان الشغل ينجز حين تتحرك قوة عبر مسافة معينة، فإذا تعرض جزء من الحدود الى الإزاحة تحت تأثير الضغط فان هذا هو الشغل الازاحي.



شكل (3.10) - المساحة تمثل الشغل

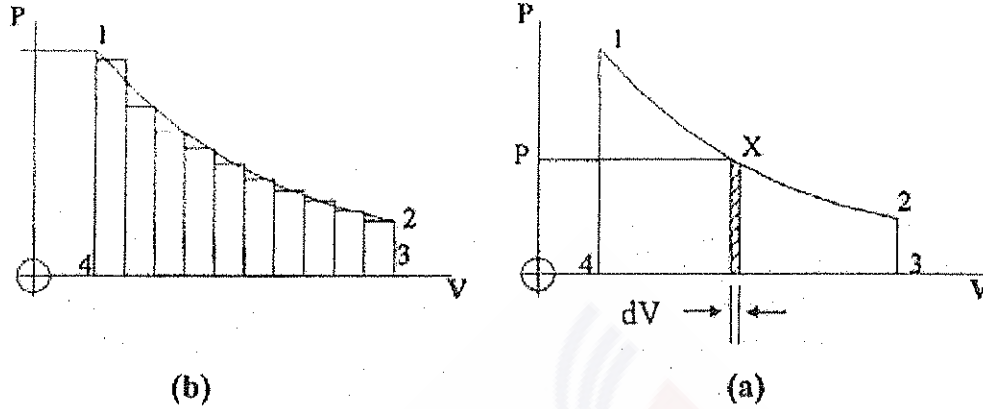
الشغل الازاحي في اجراءات عدم التدفق هو الشغل المبذول بواسطة قوة مؤثرة على مكبس نزيحه من مكان لآخر لنفترض وجود كمية من غاز حجمه (V) وضغطه (P) في اسطوانة محكمة يتحرك بداخلها مكبس مساحة مقطعه العرضي (A) عديم التسرب والاحتكاك، تؤثر فيه قوة (F) نزيحه من الحالة (1) الى الحالة (2) كما في شكل (3.10). عندما نفترض ان (P) تبقى ثابتة أثناء تحرك متناهي الصغر للمكبس لمسافة (dL) فان:

$$dW = F \cdot dL = PA \, dL = P \, dV \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

أي القوة × المسافة التي تقطعها القوة في نفس اتجاهها. هذا تغير متناهي الصغر. فالشغل الازاحي نوجده بواسطة جمع التزايدات أي:

$$\int dW = \int P \, dV \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$$W_{dis.} = P \Delta V = \text{area 1234} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$



شكل (3.11) - الشغل هو مجموع المساحات الجزئية

عندما يكون الأجراء على شكل منحنى على مخطط (P-V) ولأيجاد المساحة التي تمثل الشغل المنتقل، نقسم المساحة تحت المنحنى على مستطيلات صغيرة كما في الشكل (3.11-b)، مساحة كل مستطيل تمثل الشغل الجزئي ومجموع المساحات الجزئية يساوي المساحة الكلية المكافئة للشغل الكلي. فلو اخذنا نقطة (X) على منحنى التمدد، كما في الشكل (3.11-a)، فإن هذه النقطة تمثل تغير جزئي أو صغير للحجم، أما الضغط فلصغره يعد ثابتاً، لذلك سيكون للشغل الجزئي (dW) مساوياً للمساحة الجزئية للمستطيل الصغير التي تمثل بتفاضل ناقص (Inexact Differential). أي أن :

$$dW = P dV = \text{المساحة الجزئية}$$

ومجموع المساحات الجزئية تمثل المساحة الكلية المكافئة للشغل الكلي أي قيمة المساحة بحسابات التكامل. فعند تكامل المعادلة المذكورة آنفاً يصبح:

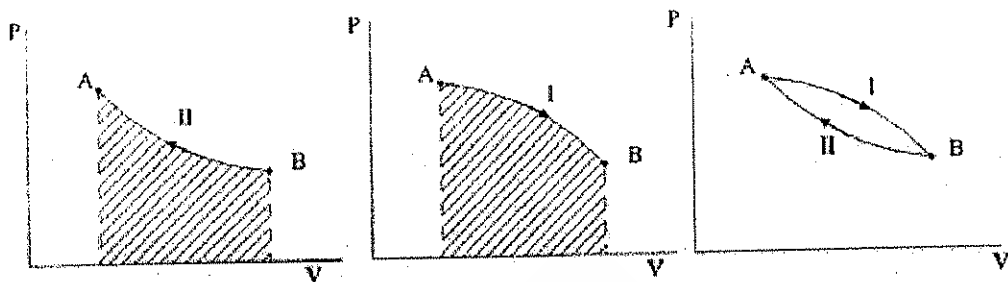
$$\int dW = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \sum P dV \dots\dots\dots(3.16)$$

$$\therefore W = P \Delta V_{12} = \text{area 1234} \dots\dots\dots (3.17)$$

$$= W_{\text{Friction}} + W_{\text{atm}} + W_{\text{crank}} = \int_1^2 (\text{Friction} + P_{\text{atm}} A + F_{\text{crank}}) dL \dots\dots (3.18)$$

Net Work الشغل الصافي (3.5.3)

إن حالة الانضغاط هي عكس حالة التمدد من حيث الاتجاه على مخطط (P-V). وإن المناقشة المذكورة آنفاً تنطبق على الحالتين ماعدا اعتبار مساحة التمدد كقيمة موجبة



(a) شغل التمدد والانضغاط

(b) صافي الشغل

شكل (3.12) - الشغل الصافي عند مرور النظام بدوره

ومساحة الانضغاط كقيمة سالبة. فالشكل (3.12-a) يبين حالة التمدد من (A) الى (B) عبر المسار (I) والانضغاط من (B) الى (A) عبر المسار (II). فبرغم ان التغيير في الخواص ( $\Delta V, P\Delta$ ) خلال المسارين متشابه، إلا ان الشغل مختلف، وهذا موضح بالمساحة المظللة. اما المساحة المغلقة ( $A \rightarrow I \rightarrow B \rightarrow II \rightarrow A$ ) فتمثل الشغل المنجز او الصافي في الدورة، كما في الشكل (3.12-b)، الذي يوضح ان النظام يمر بدوره. ويرمز لتكامل المقدار بـ  $\oint$ ، إذ تعود خواص النظام الى حالتها الاصلية، أي ان  $\oint dP=0, \oint dV=0, \oint dT=0$ . ولكن الشغل المنجز الذي يمثل المساحة المغلقة في شكل (3.12-b) لا يساوي صفرًا، أي ان  $\oint dW \neq 0$ .

يمكن القول ان  $\int_1^2 dV = \Delta V_{12} = V_2 - V_1$ ، ولكن من الخطأ القول ان  $\int_1^2 dW = \Delta W_{12} = W_2 - W_1$  لأن الشغل لا يظهر عند الحالتين الابتدائية والنهائية، كما في خواص النظام، وإنما يظهر في بين الحالتين الابتدائية والنهائية، أي خلال المسار، لذا فالشغل (او الحرارة) دالة للمسار تمثل بتفاضل غير تام. اما خواص النظام فهما دالة الحالة تمثل بتفاضل تام مثلًا ( $dP, dV, dT, \dots$  الخ).

هذه المناقشة نستطيع ان نفهمها عندما نتصور راكب دراجة ينتقل من النقطة (1) بارتفاع  $(Z_1, m)$  فوق سطح البحر الى النقطة (2) على رابية ارتفاعها  $(Z_2, m)$  فوق سطح البحر. فإذا اعتبرنا راكب الدراجة بأنه النظام، يمكن اعتبار ارتفاعه فوق سطح البحر خاصية للنظام لأن التغيير في الارتفاع  $(Z_2 - Z_1)$  مستقل عن الطريق الذي يسلكه راكب الدراجة، أي الاجراء من (1) الى (2). إن

$dW, dQ$  مشتقيين غير صحيحين (تفاضل غير تام او ناقص)



الشغل الذي يقوم به راكب الدراجة غير مستقل عن الاجراء لانه يعتمد على طول او قصر الطريق وكذلك فيما إذا كانت الرياح مرافقة له او معاكسة. ومن ذلك نرى انه بالرغم من ان الشغل المبذول كمية قابلة للقياس الا انه ليس بخاصية وتتنطبق هذه الحالة على الحرارة بوصفها طاقة منتقلة.

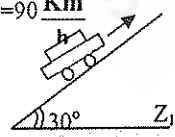
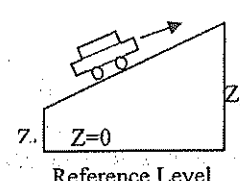
### (3.5.4) القدرة الميكانيكية Mechanical Power

هي المعدل الزمني لأنجاز شغل، أي  $(P = \frac{W}{t})$  بوحدات الواط (W) او (KW) او (MW). الواط هو شغل منجز (J) لكل ثانية (s)، أي  $(W = \frac{J}{s})$ . وهو بديل للوحدة القديمة المسماة بالقوة الحصانية (HP). ان التسمية واط نسبة الى جيمس واط (1736-1814) مخترع الماكينة البخارية.

### 3.5.5 اشكال الشغل الميكانيكي Mechanical Forms of Work

يعد الشغل الازاحي من اهم انواع الشغل الميكانيكي في دراسة الترموديناميكا الحرارية، ومع ذلك لا بد من ان نتعرف على بقية اشكال الشغل الميكانيكي والموضحة في جدول (3.1).

جدول (3.1) اشكال الشغل الميكانيكي

Work	المعادلات والامثلة
1- Displacement W. الشغل الازاحي	$W_{dis.} = \int FdL = \int P adL = \int PdV = P\Delta V_{12}$
2- Gravitational W. شغل الجاذبية	$\dot{W}_g = \sum_1^2 Fdz = \sum_1^2 mgdz = mg\Delta Z$ $\dot{W}_g = mg \frac{\Delta Z}{\Delta t} = mg \cdot C_{vertical}$ $= 1200Kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 90 \frac{Km}{h} \times \sin 30$ $\times \left( \frac{m/s}{3.6Km/h} \right) \times \left( \frac{KJ/Kg}{10^3 m^2/s^2} \right) = 147 KW$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><math>m=1200Kg</math> <math>C=90 \frac{Km}{h}</math></p>  </div> <div style="text-align: center;">  <p>Reference Level</p> </div> </div>

3- Accelerational W.  
شغل التعجيل

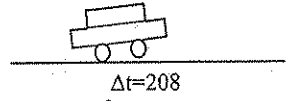
إذا كان (C) السرعة، (L) الازاحة او الم سافة، (t) ال زمن، فسيكون:

$$F = ma = m \frac{dc}{dt} \quad (\because a = \frac{dc}{dt})$$

$$M=900\text{kg}$$

$$0 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \rightarrow 80 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$dL = Cdt \quad (\because c = \frac{dL}{dt})$$



$$W_a = \int_1^2 FdL = \int_1^2 (m \frac{dc}{dt}) \cdot (Cdt) = m \int_1^2 cdc$$

$$= \frac{1}{2} m (c_2^2 - c_1^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 900 \text{ kg} \cdot \left[ \left( \frac{80000\text{m}}{3600} \right)^2 - 0^2 \right] \left( \frac{\text{kJ/kg}}{1000\text{m}^2/\text{s}^2} \right)$$

$$= 222.2 \text{ kJ}$$

$$\dot{W}_a = \frac{W_a}{\Delta t} = \frac{222.2}{20\text{s}} = 11.1 \text{ kW}$$

4- Shaft W.  
شغل العمود

$$F = \frac{T}{r} \quad (\because T = F \cdot r)$$

$$L = 2\pi rN$$

$$W_{sh.} = F \times L = \frac{T}{r} (2\pi rN) = 2\pi NT \text{ (kJ)}$$

$$\dot{W}_{sh.} = 2\pi NT =$$

$$= 2\pi (4000 \frac{1}{\text{min}}) (200 \text{ N.m}) (\frac{1 \text{ min}}{60\text{s}}) (\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ N.m}})$$

$$= 83.7 \text{ kW}$$

