التجربة رقم (2)

ا-اسم التجربة: تعريف بالأجهزة المستخدمة في مختبر الاحتراق الداخلي وخواص المحرك Engine Parameters

ب -الغرض من التجربة:

1. التعرف على الأجهزة المستخدمة في مختبر الاحتراق
2. التعرف على الرموز والمعادلات الأساسية المستخدمة في حسابات المحرك.

جـ -وصف الجهاز:

إن اختبار كفاءة محرك الاحتراق الداخلي بعد التصميم يعتبر جزء مهم من عملية البحث والتطوير وأن وسائل الاختبار كثيرة ومختلفة منها ما تكون شاملة (أي تستخدم لقياس عدة خواص في وقت واحد) وهي التي تسمى بآلات قياس ثقيلة وعادة يتم التحكم بها بواسطة الحاسوب، وكذلك هناك أنواع أخرى من وسائل الاختبار الشائعة التي تستخدم كطريقة قياس تقليدية من قبل المشغل، حيث يتم تسجيل القراءات يدوياً من قبله. من الخواص (Parameters)

1. **Temperature**: ويتضمن قياس درجة الحرارة في موضعين:
   a. Inlet: ويشمل قياس درجة حرارة كل من الوقود الداخل، الهواء ومنظومة التبريد (تتضمن إما استخدام الماء أو الهواء كمائع تبريد)
   b. Outlet: ويشمل قياس درجة الحرارة لنواتج الاحتراق وكذلك حرارة مائع التبريد.

من الوسائل المسخ المستخدمة لقياس درجة الحرارة هي (Thermometer) الذي يكون على عدة أنواع حسب المدى الحراري المراد قياسه وتتم عملية القياس بعمل ثقب في مجرى المائع ويلحم فوق الثقب أنبوب آخر مجوف حيث يدخل فيه المحرار الحراري مباشرة ويكون شكل المحرار الحراري عادة على هيئة قرص يحتوي تدريجات ومؤشر ويتصل بأسفله أنبوب كي يثبت في الأنبوب المجوف الملحوم مع مجرى المائع.

2. **Thermocouple**: هنالك أجزاء وأماكن في المحرك لا يمكن أن نستخدم فيها المحرار الحراري وذلك لبعدها، حيث يتم استخدام (العزم الحراري) Thermocouple وهو عبارة عن سلكين من مادتين موصلين للحرارة ملحومين من جهة ومن الجهة الأخرى تتصل بنهايتهما شاشة رقمية تظهر عليها قراءة

درجات الحرارة التي يقيسها الجهاز ويمكن إجراء مقارنة بين Thermometer و Thermocouple من ناحية الدقة في القراءة، حيث أن العزم الحراري أكثر دقة من جهاز المحرار الحراري.

3. **Pressure**: من الخواص الواجب إجراء قياسها خلال عمل المحرك هي (الضغط) وتكون عملية القياس على مرحلتين:
   a. Inlet: ويشمل قياس ضغط كل من الوقود الداخل و الهواء
   b. Outlet: ويشمل قياس ضغط غازات نواتج الاحتراق.

إن لهذه العملية فوائد كثيرة خاصةً في حركة الطائرات حيث أن اندفاع الطائرة يعتمد على القوة الناتجة من (ضغط نواتج الاحتراق * مساحة النوزل Nozzle أو ما يسمى بـ Jet).

4. **Flow Rate**:
   a. Inlet: ويشمل قياس معدل الحجم أو معدل جريان الكتلة لكل من الوقود الداخل و الهواء ومائع تبريد في مرحلتي الدخول الى المحرك والخروج من الأمور المهمة التي تحدد كفاءة المحرك.
   b. Outlet: ويشمل قياس معدل الجريان لنواتج الاحتراق.

إن الفائدة من حساب معدل جريان مائع التبريد هو لغرض إجراء موازنة حرارية للمائع وحسب القانون التالي:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T = \dot{m} * C_p * (T_{out} - T_{in}) \qquad (kW)$$

يمكن توضيح الأجهزة المستخدمة لقياس معدل الجريان للوقود و الهواء كما يلي:

- مقياس الجريان (Flow meter): ويستخدم هذا الجهاز لقياس معدل جريان الوقود، حيث أن مبدأ عمله يعتمد بصورة أساسية على الضغط الذي يولده الوقود القادم من الحوض (fuel tank) حيث أن الوقود عند دخوله الى حجرة العوامة يولد هبوط في الضغط وهذا الهبوط يحدث في الصفيحة orifice المرتبطة بالحجرة ويتناسب مع مربع الجريان الحجمي. يقاس هبوط الضغط بواسطة الفرق بين عمود الوقود في حجرة العوامة وزجاجة المراقبة حيث يوجد بمحاذاة زجاجة المراقبة مقياس يعطي معدل الجريان الحجمي مباشرة.
- مقياس معدل جريان الهواء (Air flow rate): إن منظومة قياس معدل جريان الهواء تتضمن ربط مدخل الهواء الى صندوق كبير يحتوي على صفيحة الثقب عند مدخله. فائدة

كون الصندوق كبير هو لتخميد النبضات الحاصلة في الجريان ويجعله ضمن مدى السرعة الاعتيادية للمحرك. مبدأ عمله يعتمد على مقدار الهبوط الحاصل في ضغط الهواء عبر الثقب الذي يقاس عادة بواسطة (water manometer) وحسب المعادلة التالية:

$$\dot{m}_a = C_d * A_o * \sqrt{2.g.h.\rho_f.\rho_a}$$

حيث أن:

$\dot{m}_a$ = معدل جريان كتلة الهواء (kg/s)

C_d = معامل التصريف لصفيحة الثقب (orifice)

A_0 = مساحة مقطع الثقب (m^2)

g = التعجيل الأرضي (m/s^2)

h = فرق الارتفاع بين مستوى المائع عند نهايتي water manometer (m)

ρ_f = كثافة السائل (kg/m^3)

ρ_a = كثافة الهواء $(kg/m^3) = \frac{P}{R_a.T}$

5. **جهاز قياس معدل جريان نواتج الاحتراق** (Dry Analysis):يسمى هذا الجهاز بـ (dry analysis) لأنه خالي من الماء، يتألف هذا الجهاز من عدد من السحاحات ويعتمد في عمله على مبدأ الامتصاص، حيث توضع في كل سحاحة مادة لها قابلية على امتصاص إحدى نواتج الاحتراق لذا يكزن عدد السحاحات مساوي لعدد نواتج الاحتراق المتمثلة بـ $(NO_2, CO, CO_2, ...)$. تكمن الفائدة من قياس معدل الجريان لنواتج الاحتراق في تحديد كميتها وبالتالي هذا يساعد على استخدام وسائل وقائية مناسبة للتخلص من تلك النواتج حيث أن اغلب تلك النواتج مواد سامة تسبب الاختناق وتلوث البيئة. تظهر هذه النواتج نتيجة الاحتراق غير الكامل للوقود والهواء داخل المحرك حيث يمكن إضافة معلومة عن الطرق المستخدمة للتخلص من هذه النواتج وذلك بإضافة نسبة من الكحول أو الماء مع الشحنة الداخلة الى المحرك.

6. **السرعة الدورانية لعمود المرفق** (revolution per minute) .R.P.M : هنالك عدة طرق لقياس السرعة الدورانية:

❖ **Tachometer Generator**: عبارة عن جهاز ملحق بالمحرك، يربط بالمحور القلاب (الكرنك) بواسطة (shaft) حيث أن السرعة الدورانية لهذا الذراع تكون مساوية للسرعة الدورانية للمحور القلاب. تتم عملية ربط (shaft) الجهاز بـ (shaft) المتصل بالمحور القلاب عن طريق ما يسمى (الفلنجة) وهي عبارة عن قرصين دائريين مثقبين، يلحم كل قرص على حده مع (shaft) ويثبتان بواسطة براغي تدخل في تلك الثقوب المعدة مسبقاً.

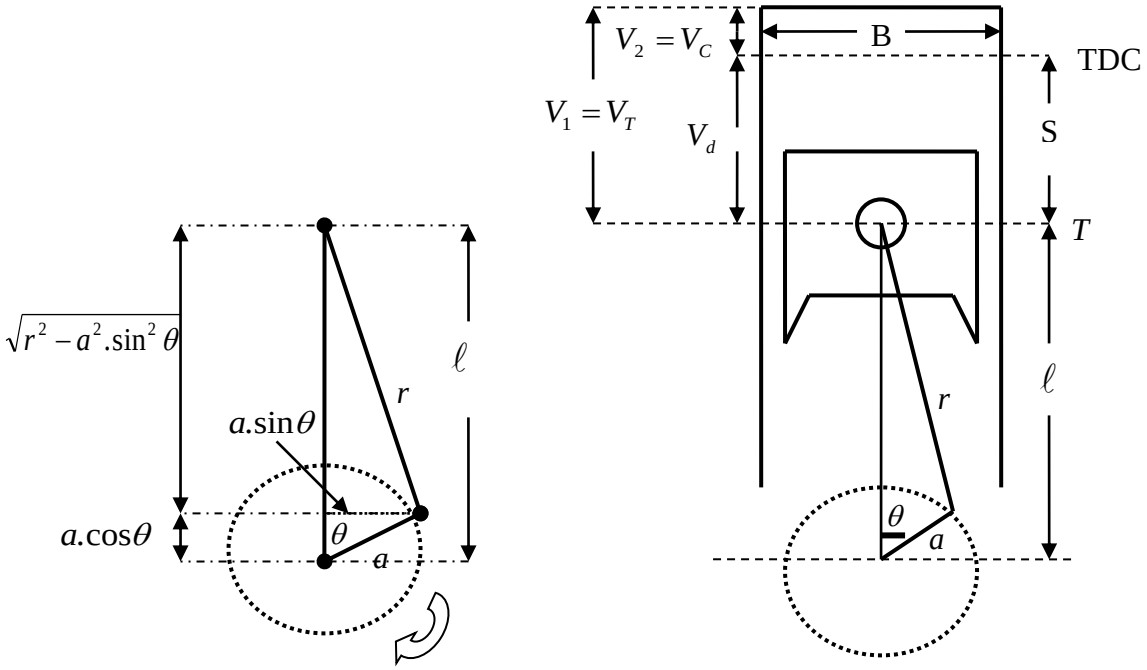
❖ **Stroboscope**: وهو تركيب كهربائي الكتروني يشبه شكل المسدس، يتألف من شاشة الكترونية تظهر عليها القراءات. يتضمن عمل الجهاز بوضع نقطة معينة على الـ crank shaft وبعدها يسلط عليها أشعة من قبل الجهاز وباستمرار دوران النقطة مع المحور القلاب تزيد كمية الأشعة المسلطة على النقطة الى أن تظهر النقطة وكأنها ثابتة على الرغم من استمرار (الكرنك) بالدوران. هذا يشير الى أن سرعة النقطة أصبحت مساوية لسرعة الأشعة وبذلك نأخذ قراءة السرعة من الشاشة الرقمية وهذه الطريقة هي الشائعة في الوقت الحالي.

إن الفائدة من حساب السرعة الدورانية للمحور القلاب هو لحساب قدرة المحرك وحسب المعادلة التالية:

$$\text{Power} = \text{Torque} * \text{R.P.M}$$
$$P = T * R.P.M$$

ولإكمال المعادلة أعلاه نحتاج الى حساب العزم (Torque)، حيث أن هناك جهاز يقيس القوة وبمعلومة ذراع العتلة (نصف قطر المحور القلاب) يمكننا حساب (Torque)

Engine Parameters:



For an engine with bore (B), crank offset-radius (a), stroke length (S) and turning at engine speed of (N):

$$\boxed{S = 2a}$$

*** Solution for SI – Engine:**

$$V_d = \frac{\pi}{4} * B^2 * S \quad (m^3)$$

$$\therefore V_D = V_d * i \quad (m^3)$$

$$\because r_C = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \Rightarrow V_c = \frac{V_d}{r_C - 1} = V_2 = V_{\min} \quad (m^3)$$

$$V_1 = V_d + V_c = V_{\max} \quad (m^3)$$

$\Rightarrow$***Mass of gas in cylinder*** **can be calculated at state (1).**

$$\underline{\underline{m_m}} = \frac{P_1.V_1}{R.T_1} = \frac{(KPa)*(m^3)}{0.287\left(\frac{kJ}{kg.K}\right)*(K)} = ---(kg) \qquad [\text{where}: (\text{kPa} * \text{m}^3 = kJ)]$$

$$\underline{\underline{m_a}} = \left(\frac{AF}{AF+1}\right) * m_m \Rightarrow \underline{\underline{m_f}} = \frac{m_a}{AF}$$

$\Rightarrow$**Process (1-2)**: The compression stroke (1-2) is isentropic.

$$\underline{\underline{P_2}} = P_1.(r_c)^{\gamma} = --- \ (kPa)$$

$$\underline{\underline{T_2}} = T_1.(r_c)^{\gamma-1} = --- \ (K)$$

$$\underline{\underline{W_{1-2}}} = \frac{m_m * R}{1-\gamma} * (T_2 - T_1) = (-) \ ..... \ (kJ)$$

$\Rightarrow$ **Process (2-3)**: **For the *heat added during one cycle***:

$$Q_{in} = Q_{2-3} = Q_A = m_f.H_L.\eta_C = m_m.C_v.(T_3 - T_2)$$

$$H_L.\eta_C = (AF+1) * C_v * (T_3 - T_2) \Rightarrow \underline{\underline{T_3}} = --- \ (K)$$

$$\frac{P_2 * V_2}{T_2} = \frac{P_3 * V_3}{T_3} \Rightarrow \underline{\underline{P_3}} = P_2 * \frac{T_3}{T_2} = --- \ (kPa)$$

$\Rightarrow$ **Process (3-4)**: The expansion stroke (3-4) is isentropic.

$$\underline{\underline{T_4}} = T_3.\left(1/r_C\right)^{\gamma-1} = --- \ (K)$$

$$\underline{\underline{P_4}} = P_3.\left(1/r_C\right)^{\gamma} = --- \ (kPa)$$

$$\underline{\underline{W_{3-4}}} = \frac{m_m * R}{1-\gamma} * (T_4 - T_3) = (+) - - - \ (kJ)$$

$$\therefore \underline{\underline{W_{net} = W_i}} = W_{1-2} + W_{3-4} = (+) - - - \ (kJ)$$

$$\therefore \underline{\underline{W_b}} = \eta_m * W_i = - - - \ (kJ)$$

$$\therefore \underline{\underline{bmep}} = \frac{W_b}{V_d} = - - - \ (kPa)$$

$$\underline{\underline{\eta_{th})_i}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{1}{r_C}\right)^{\gamma-1} = - - - \ \%$$

$$\therefore \underline{\underline{\eta_{th})_b}} = \eta_m * \eta_{th})_i = - - - \ \%$$

$$\boxed{T = \frac{bmep * 10^3 * V_D}{2 * \pi * n} \qquad (N.m)}$$

Solution for CI – Engine:

$$V_d = \frac{\pi}{4} * B^2 * S \quad (m^3)$$

$$\therefore V_D = V_d * i \quad (m^3)$$

$$\because r_C = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \Rightarrow V_c = \frac{V_d}{r_C - 1} = V_2 = V_{\min} \quad (m^3)$$

$$V_1 = V_d + V_c = V_{\max} \quad (m^3)$$

$\Rightarrow$***Mass of gas in cylinder*** **can be calculated at state (1).**

$$\underline{\underline{m_a}} = \frac{P_1.V_1}{R.T_1} = \frac{(KPa)*(m^3)}{0.287\left(\frac{kJ}{kg.K}\right)*(K)} = - - - (kg) \qquad [\text{where} : (\text{kPa} * \text{m}^3 = kJ)]$$

$$AF = \frac{m_a}{m_f} \Rightarrow \underline{\underline{m_f}} = \frac{m_a}{AF}$$

$$\underline{\underline{m_m}} = m_a + m_f$$

$\Rightarrow$**Process (1-2)**: The compression stroke (1-2) is isentropic.

$$\underline{\underline{P_2}} = P_1.(r_c)^{\gamma} = P_3 = P_{\max} - - - \ (kPa)$$

$$\underline{\underline{T_2}} = T_1.(r_c)^{\gamma - 1} = - - - \ (K)$$

$$\underline{\underline{W_{1-2}}} = \frac{m_m * R}{1 - \gamma} * (T_2 - T_1) = (-) \ \ .....(kJ)$$

$\Rightarrow$ **Process (2-3)**: **For the** ***heat added during one cycle***:

$$Q_{in} = Q_{2-3} = Q_A = m_f . H_L . \eta_C = m_m . C_P . (T_3 - T_2)$$

$$H_L . \eta_C = (AF + 1) * C_v * (T_3 - T_2) \Rightarrow \underline{\underline{T_3}} = --- \ (K)$$

$$\frac{P_2 * V_2}{T_2} = \frac{P_3 * V_3}{T_3} \Rightarrow \underline{\underline{V_3}} = V_2 * \frac{T_3}{T_2} = --- \ (m^3)$$

$$\underline{\underline{W_{2-3}}} = m_m * P_2 * (V_3 - V_2) = (+) \ ..... \ (kJ)$$

$\Rightarrow$ **Process (3-4)**: The expansion stroke (3-4) is isentropic.

$$\underline{\underline{T_4}} = T_3 . \left(V_3 \diagup V_{4=1} \right)^{\gamma - 1} = --- \ (K)$$

$$\underline{\underline{P_4}} = P_3 . \left(V_3 \diagup V_{4=1} \right)^{\gamma} = --- \ (kPa)$$

$$\underline{\underline{W_{3-4}}} = \frac{m_m * R}{1 - \gamma} * (T_4 - T_3) = (+) \ ..... \ (kJ)$$

$$\therefore \underline{\underline{W_{net} = W_i}} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} = (+) ..... \ (kJ)$$

$$\therefore \underline{\underline{W_b}} = \eta_m * W_i = --- \ (kJ)$$

$$\therefore \underline{\underline{bmep}} = \frac{W_b}{V_d} = --- \ (kPa)$$

$$\underline{\underline{\eta_{th})_i}} = 1 - \left[\left(\frac{1}{r_C} \right)^{\gamma - 1} * \left(\frac{\beta^{\gamma} - 1}{\gamma (\beta - 1)} \right) \right] = --- \ \% \qquad \text{Where}: \beta = \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} \quad (\text{Cutoff ratio})$$

$$\therefore \underline{\underline{\eta_{th})_b}} = \eta_m * \eta_{th})_i = --- \ \%$$

$$T = \frac{bmep * 10^3 * V_D}{2 * \pi * n} \qquad (N.m)$$

**** The main difference in solving problems between SI and CI engines is:***

$\underline{\underline{W_{net} = W_i}} = W_{1-2} + W_{3-4} = + - - - \ (kJ)$ ***for SI engines*** and

$\underline{\underline{W_{net} = W_i}} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} = + - - - \ (kJ)$ ***for CI engines***

$\overline{U_P} = 2 * S * N \ \ (m/\min) = \dfrac{S * N}{30} \ \ (\text{m/sec})$

$(1): \ N = 1000 (rev/\min) \Rightarrow \overline{U_P} = - - - (\text{m/sec})$

$(2): \ N = 2000 (rev/\min) \Rightarrow \overline{U_P} = - - - (\text{m/sec})$

$(3): \ N = 3000 (rev/\min) \Rightarrow \overline{U_P} = - - - (\text{m/sec})$

$(4): \ N = 4000 (rev/\min) \Rightarrow \overline{U_P} = - - - (\text{m/sec})$

$(5): \ N = 5000 (rev/\min) \Rightarrow \overline{U_P} = - - - (\text{m/sec})$

$(6): \ N = 6000 (rev/\min) \Rightarrow \overline{U_P} = - - - (\text{m/sec})$

$\underline{\underline{\dot{W}_b}} = \dfrac{bmep * V_D * N}{30 * Z} \quad (\text{kW})$

$\underline{\underline{\text{or}:}} \quad \underline{\underline{\dot{W}_b}} = \dfrac{2 * T * N}{60} \quad (\text{W})$

$\underline{\underline{\text{or}:}} \quad \underline{\underline{\dot{W}_b}} = \dfrac{bmep * A_P * \overline{U_P}}{2 * n} \quad (\text{kW})$

$(1): N = 1000 (rev/\min) \Rightarrow \dot{W}_b = - - - (kW)$

$(2): \ N = 2000 (rev/\min) \Rightarrow \dot{W}_b = - - - (kW)$

$(3): \ N = 3000 (rev/\min) \Rightarrow \dot{W}_b = - - - (kW)$

$(4): \ N = 4000 (rev/\min) \Rightarrow \dot{W}_b = - - - (kW)$

$(5): \ N = 5000 (rev/\min) \Rightarrow \dot{W}_b = - - - (kW)$

$(6): N = 6000 (rev/\min) \Rightarrow \dot{W}_b = - - - (kW)$

$\therefore \ bsfc = \dfrac{\dot{m}_f}{\dot{W}_b} = - - - \left(\dfrac{kg}{kW.hr} \right)$

$BSP = \dfrac{\dot{W}_b}{A_P} \ \left(\text{kW/m}^2\right) \ \& \ \ BOPD = \dfrac{\dot{W}_b}{V_D} \ \left(\text{kW/m}^3\right) \ \ \& \ \ BSV = \dfrac{V_D}{\dot{W}_b} \ \left(\text{m}^3/kW\right)$