## الباب الثالث
## دوائر التشغيل working cycles

**3- تصنف محركات الإحتراق الداخلى من حيث دوائر التشغيل بالآتى :**

3.a محركات رباعية الأشواط four stroke engine .

3.B محركات ثنائية الأشواط two stroke engine .

**.طريقة التشغيل .**

3.1 المحركات رباعية الأشواط four stroke engine .

وفى هذه المحركات تتم دورة التشغيل فى أربعة أشواط للمكبس ولفتين من عمود المرفق crank shaft وتشمل الدورة على شوط فعال واحد كل لفتين .

3.2 المحركات ثنائية الأشواط . two stroke engine

وفيها تتم دورة التشغيل فى شوطين من أشواط المكبس ولفة واحدة من عمود المرفق ، أى أنه يوجد شوط فعال واحد كل لفة من لفات عمود المرفق .

3.3 أولا : المحركات رباعية الأشواط :

سيوف نستعرض لشرح المحركات رباعية الأشواط وهى موضحة بدائرة التشغيل شكل 1-3 كما هو موضح بالرسم يوجد أربعة أشواط لكل لفتين من عمود المرفق ، والأربعة أشواط هى كالآتى :

شوط السحب suction stroke ، شوط ضغط الإنضغاط compression pressure stroke ،شوط التمدد expansion stroke ،

شوط العادم exhaust stroke .

**1- شوط السحب :**

يبدأ شوط السحب بنزول المكبس من النقطة الميتة العليا top dead center إلى أسفل ساحبا معه الهواء الجوى - فى المحركات التى تعمل بدن شاحن جبرى أوهواء الشحن عند إستخدام الشاحن الجبرى - عن طريق صمام الحر- السحب – suction valve المفتوح وفى نفس الوقت يكون صمام العادم exhaust valve مغلقاً وتمتلىء الإسطوانة جزئيًا بالهواء النقى هذا فى المحركات التى لا تستخدم شاحن جبرى وأما فى نظام الشاحن الجبرى يمتلئ حجم الاسطوانة الكلى ويمكن الوصول به من 3 إلى 4 بار.

ولنظافة الإسطوانة من بقايا العادم يستمر فتح صمام الحر – السحب – suction valve لدخول الهواء إلى الإسطوانة إلى ما بعد النقطة الميتة السفلى B .D . C بحوالى من $25^0$ إلى $30^0$ من زوايا عمود المرفق .

وبذلك يتيح لهواء الشحن نظافة الإسطوانة من بقايا غازات العادم ويعمل ذلك على ملىء الإسطوانة بالهواء النقى .

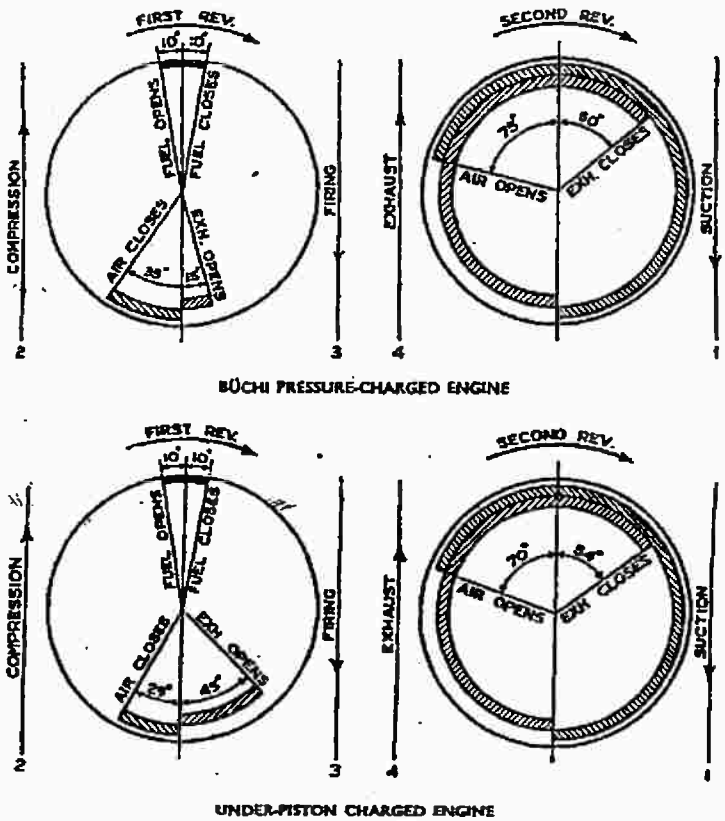


Figure 3 -1 four stroke cycle , sequence of events

**2-شوط الضغط :**

يبدأ تحرك المكبس إلى أعلى فى شوط الضغط ويعمل على ضغط الهواء فى الإسطوانة إلى حوالى 35 بار وبناءًا على زيادة ضغطه يقل حجمه وترتفع درجة حرارته .

ويسمى الضغط فى هذه الحالة ضغط بوليتروبيك polytropic وذلك لفقد الهواء للحرارة جزئيًا عن طريق جدار الإسطوانة إلى مياه التبريد وكذلك عوامل أخرى وتصبح درجة حرارته فى نهاية الشوط حوالى من 550 إلى 600 درجة منوية فى

غرفة الإحتراق ، و حجم غرفة الإحتراق تعتبر حوالى % 9 من حجم الإسطوانة الكلى .

**3- ألحريق وشوط التمدد :**

قبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا بحوالى من 10 إلى 20 درجة من درجات عمود المرفق يفتح حاقن الوقود – ألرشاش – Injector متاثرًا بضغط طلمبة الحقن Injection pump العالى ، وبحقن وقود الديزل diesel fuel يشتعل فى الحال ويستمر الحقن إلى مابعد النقطة الميتة العليا بحوالى 5 درجات من زوايا عمود المرفق .

لا يتوقف الحريق مع غلق حاقن الوقود ولكنه يستمر لبعض الوقت ومع إنحدار المكبس إلى أسفل يتمدد الغاز ، وهذا التمدد يعتبر تمدد بوليتروبيك Polytropic وذلك لفقد الغاز بعض درجات الحرارة .

ويكون الضغط حوالى 8.5 kgf/ $cm^2$ ويستمر التمدد حتى يصل ضغطه إلى حوالى 3 كيلوجرام قوة / $^2$سم وهذا الضغط هو ضغط غازات العادم الخارجة من المحرك .

**4- شوط العادم :**

يفتح صمام العادم من 20 إلى 50 درجة من زوايا عمود المرفق قبل النقطة الميتة السفلى ويتم هروب غازات العادم إلى الخارج - بمجرد فتح صمام العادم – بسرعة ويقل ضغطها ، وبصعود المكبس يطرد غازات العادم إلى الخارج عن طريق صمام العادم ويفتح صمام السحب لنظافة الإسطوانة ويعرف الوقت المشترك لفتح صمامى الحر والعادم بوقت التراقب overlap .

ويتيح هذا نظافة الإسطوانة وملؤها بالهواء النقى وبعد ذلك تبدأ الدورة الجديدة .

**3.4 ثانيا : المحركات ثنائية الأشواط Two stroke engine.**

طريقة التشغيل .

a –ألمحركات أحادية التأثير single acting .

يكون التأثير من أعلى المكبس فقط .

b – المحركات ثنائية التأثير double acting .

يكون التأثير من أعلى ومن أسفل المكبس .

وللعلم فإن المحركات ثنائية التأثير قد إنقرضت للأسباب الآتية :

1- صعوبة صيانة المحرك .

2- زيادة الإجهادات الميكانيكية والحرارية .

3- صعوبة الحصول على ثابت الإسطوانة من جانب الصناع .
4- عدم الحصول على الضغوط والمنحنيات البيانية السليمة .

3.4a المحرك ثنائى الأشواط أحادى التأثير single acting .

هى محركات ثنائية الأشواط كما هو موضح بدائرة التشغيل 3 .2 ويوجد منها نوعان .

1- محركات ذات إسطوانات بفتحات لدخول هواء الشحن وأخرى لخروج غازات العادم وللعلم فإن فتحات العادم أعلى من فتحات الحر بحوالى من20 إلى30 درجة من زوايا عمود المرفق .

2 - محركات ذات إسطوانة مجهزة بفتحات لدخول الهواء النقى ، وصمام عادم

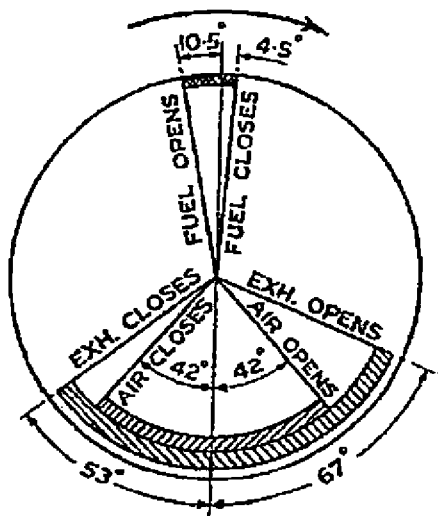


*figure 3.2 two stroke engine cycle*

أعلى الإسطوانة مركب على رأس الإسطوانة ويسمى هذا النوع uniflow direction ويتميز بأن عملية الكسح scavenging فى إتجاه واحد لأعلى . ودائرة التشغيل موضحة كما هو بالرسم 2-3 .

وتبدأ الدورة فى المحركات ثنائية الأشواط بشوط التمدد والعادم .

**شوط التمدد والعادم :**

تبدأ الدورة فى المحركات ثنائية الأشواط أحادية التأثير ذات فتحات الحر والعادم بحقن الرشاش للوقود قبل النقطة الميتة العليا top dead center بحوالى 10 درجات من زوايا عمود المرفق ويشتعل وقود الديزل مولدًا ضغطا عاليًا يدفع المكبس إلى أسفل وعند الدرجة 67 من زوايا عمود المرفق قبل النقطة الميتة السفلى يكشف المكبس عن فتحات العادم وتخرج غازات العادم ويصل ضغطه

إلى حوالى 3 بار وعند حوالى 42 درجة من زوايا عمود المرفق قبل النقطة الميتة السفلى تفتح فتحات هواء الشحن ، ويدخل الهواء النقى ويدفع أمامه غازات العادم وتسمى بعملية الكسح scavenging ويعمل على نظافة الإسطوانة من غازات العادم ، وعند وصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى وصعوده مرة أخرى إلى أعلى يقوم بقفل فتحات دخول الهواء وتستمر فتحات العادم مفتوحة إلى ما بعد حوالى 53 درجة من النقطة الميتة السفلى وعندها يقفل المكبس فتحات العادم ويبدأ بعد ذلك شوط الضغط والحريق .

شوط الضغط والحريق Firing and compression stroke :

يبدأ شوط الضغط بعد النقطة الميتة السفلى بحوالى 53 درجة من زوايا عمود المرفق ويرتفع ضغط الهواء وترتفع درجة حرارته إلى حوالى من 550 إلى 600 درجة منوية ثم يقوم الرشاش بحقن الوقود على هيئة رذاذ عن طريق ضغط طلمبة حقن الوقود المرتفع فى غرفة الإحتراق وبهذا تتم الدورة وتبدأ الدورة التالية

طرق الكسح :

3.5 طرق كسح غازات العادم a , b , c , d .

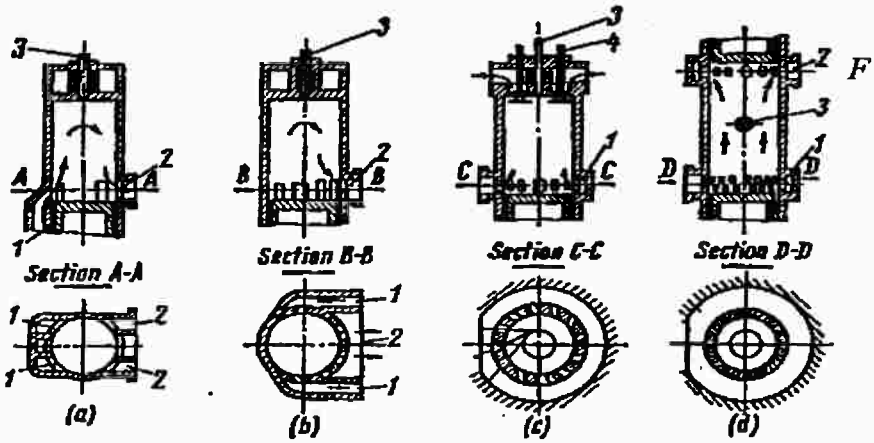


*Figure 3-3 diagrams of gas exchange employed in two stroke engine a- loop opposed port scavenging with parallel ; b- simple loop scavenging with eccentric parts ; c- uniflow scavenging with exhaust through the valve ; d- uniflow port scavenging in engines with opposed piston ; 1- scavenging ports ; 2- exhaust ports ; 3 – nozzle ; 4 exhaust valve*

3.5a ألكسح العرضى port scavenging loop opposed :
وكما هو موضح فى الشكل رقم $3.3_a$ توجد فتحات الكسح والعادم بأسفل الإسطوانة متقابلتين ويقل مستوى فتحات كسح الهواء النقى عن فتحات غاز العادم وفى بعض الأحيان يعمل السطح الأسفل للمكبس كضاغط لشحن الهواء بسحبه من الخارج عن طريق شرائح من الصلب مركب عليها شرائح من الصلب بها إنحناء تقوم بالضغط عليها والجميع تكون صمام لدخول الهواء .
وبصعود المكبس إلى أعلى يتولد تفريغ أسفل المكبس يعمل على إندفاع الهواء إلى داخل حيز الإسطوانة السفلى ، وبنزول المكبس إلى أسفل يقفل صمام شرائح الصلب ويتم ضغط الهواء إلى المحرك عن طريق فتحات السحب .
ومن سيئات هذا النظام أن نسبة الفقد فى شحنة الهواء كبيرة علاوة على عدم نظافة وخلو الإسطوانة تماما من غازات العادم حيث يتبقى جزء من الغازات فى أركان الإسطوانة .

3.5b ألكسح الدائرى البسيط Simple loop scavenging .
كما هو موضح بالرسم $3.3_b$ يتم دخول الهواء النقى عن طريق فتحات الكسح ويتجه إلى أعلى ويتم دورانه إلى أسفل فى إتجاه فتحات العادم .
وبتطوير الفتحات أمكن زيادة كفاءة الكسح ويمتاز هذا النوع بالتخلص من النظام السابق لصمامات شرائح الصلب الموجودة على فتحات العادم وبالتالى تقل الصيانة .
ويسمح بتصميم أنسب غرفة إحتراق للحصول على أعلى كفاءة إحتراق ويستخدم هذا النظام فى محركات sulzer , M A N.

3.5c- ألكسح الطولى Uniflow scavenging.
كما هو موضح بالشكل $3.3_c$ يتم دخول الهواء عن طريق فتحات دخول الهواء النقى ويكسح أمامه غازات العادم إلى أعلى ويخرج عن طريق صمام علوى ويعتبر هذا النوع من الكسح من الطرق الممتازة للحصول على أعلى كفاءة والهواء يسير فى حركة حلزونية مما يساعد على جودة الحريق .

3.5d- ألكسح الطولى لمحركات Dixford :

الكسح الطولى عن طريق فتحات أعلي وأسفل الإسطوانة وهذه الطريقة مصممة فى المحركات المضادة المكابس opposed piston مثل محركات dixford كما هو مبين بالشكل $3.3_d$ والفتحات السفلى تعمل على دخول الهواء بعد كشف تاج

المكبس piston crown لها . والفتحات العلوية خاصة بخروج العادم نتيجة إزاحة هواء الشحن لها من أسفل وتعتبر هذه الطريقة أيضًا من الطرق المستحبة لكفاءة كسح العادم تمامًا من الإسطوانة .

**3.6- مقارنة بين محركات الديزل رباعية وثنائية الأشواط :**

عند المقارنة بين محركات الديزل رباعية وثنائية الأشواط والتى لها نفس الأبعاد وعدد اللفات وذلك فى الماضى ولكن الآن يوجد الشحن التربينى الذى يتخذ حركته من غازات العادم .

a- وجد أن المحرك ثنائى الأشواط يجذب الإهتمام خصوصًا فى القدرات الكبيرة والتى تتجاوز العشرة آلآف كيلواط وذلك لمضاعفة القدرة النظرية عن مثيلاتها من المحركات رباعية الأشواط وعملياً تقل بنسبة % 10 نظرًا لوجود طلمبة الكسح الملحقة بالمحرك وذلك فى الماضى ولكن الآن يوجد الشاحن التربينى الذى يأخذ حركته من غازات العادم بالإضافة إلى الفقد فى شحنة الهواء النقى عبر بوابات العادم .

b- سهولة نظافة الإسطوانة من غازات الإحتراق فى المحركات رباعية الأشواط نظرًا لطول الفترة المتاحة لإتمام ذلك – فترة التراكب overlap – مما يساعد على تحسين الجودة الحجمية volume efficiency وبالتالى الجودة الحرارية $\eta th$ .

c- تتعرض غرفة الإحتراق فى المحركات ثنائة الأشواط لإجهادات حرارية عالية تكون ضعف الحالة فى المحركات رباعية الأشواط نظرًا لتعرضها لدرجات حرارة كبيرة كل شوطين وليس كل أربعة أشواط ، وذلك يتطلب الدقة التامة فى إختيار المعادن التى تتميز بتحسين الخواص الميكانيكية وكذلك الحرارية .

d – فى المحركات ثنائية الأشواط يلاحظ التحسن فى توزيع عزم الدوران على عمود المرفق نظرًا لأن دورة التشغيل تتم فى شوطين من المكبس ولفة واحدة من عمود المرفق crank shaft كذلك عدم وجود شغل سالب مفقود فى شوط السحب والعادم كما هو فى المحركات الرباعية .

e- سهولة صيانة المحركات ثنائية الأشواط لوجود فتحات لهواء الشحن وأخرى للعادم حيث أن الصمامات تحتاج دائمًا إلى صيانة مستمرة بالإضافة إلى سهولة تصميم رأس الإسطوانات مما يسبب الحصول على أنسب شكل لغرفة الإحتراق .

f- سهولة عكس الحركة للمحركات ثنائية الأشواط وذلك لعدم وجود عمود كامات وصمامات الهواء والعادم .

g- تقل الكفاءة الحجمية بصورة واضحة عند زيادة السرعة للمحركات ثنائية الأشواط .

## 3.7 ألقدرة الحصانية البيانية Indicated horse – power .

$$i.h.p = \frac{N\,x\,P\,x\,L\,x\,a\,x\,n}{4500}. \qquad 3\text{-}1$$

where i.h.p = indicated horse – power of engine (meter horse power ) ; N = number of cylinders on one engine ;

p = mean indicated pressure ( m.i.p) in cylinders kgf/$cm^2$ ;

L = engine stroke, in meters ;

n= number of working stroke per min ;

a= cross – sectional area of one cylinder in $cm^2$.

4500= kg meter per min = metric horse – power

## 3.8 ثابت الإسطوانة Cylinder constant .

يكون إهتمام المهندسين العاملين على السفن بنوع وحجم المحرك وعمل حسابات كثيرة لقدرة المحرك وبإستطاعتهم الإستعاضة عنها بواسطة إستخدام ثابت الإسطوانة فى حسابات القدرة .

i.h.p =mip x R x C ( per cylinder ) ; 3-2

where mip = mean indicated pressure in kgf / $cm^2$;

R = rev /min ;

C = cylinder constant .

and ihp = mip x R x K ( per engine). 3-3

where K = C x number of cylinders

.ihp = $\frac{plan}{4500}$ per cylinder .

for a single - acting four- stroke engine where n = $\frac{R}{2}$

$\therefore \frac{p\,x\,l\,x\,a\,x\,n}{4500} = p\,x\,R\,x\,\frac{(l\,x\,a)}{9000}$

where $\frac{l\,x\,a}{9000}$ = cylinder constant .

. example of cylinder constant مثال على ثابت الإسطوانة

650 mm bor , 1400 mm stroke S . A . 4C

C =٠.5162 ( one cylinder ) .

K = 4.1296 ( eight cylinders ) .

740 mm , 1500 mm stroke , S . A ,4C.

C =0.7168 ( one cylinder ) .

K = 4.3008 ( six - cylinder engine ) .

570mm bor , 2000mm totat stroke S . A .2C .

C = 1.9635 ( one cylinder ) .

K = 13.7445 ( seven- cylinder engine ) .

ولقد وضحنا من قبل صعوبة تحديد ثابت الإسطوانة من قبل الصناع للمحركات ثنائية الأشواط ثنائية التأثير .

## 3.9 الكفاءة الميكانيكية Mechanical efficiency .

$$\eta mec = \frac{out\ put\ at\ crank\ shaft}{input\ at\ cylinder} = \frac{bhp}{ihp} \qquad 3\text{-}4$$

or $bhp = ihp \times \eta_m$.

وعادة تحدد القدرة الفرملية بواسطة dynamometer لقياس القدرة بواسطة فرشة إختبار المصنع أما على ظهر السفينة يكون بواسطة torsion meter مقياس اللى ، وذلك بوضعه خلف كرسى الدفع .

وتكون القدرة المحسوبة بجهاز torsionmeter أقل من القدرة الفرملية المأخوذة من جهاز dynamometer نتيجة القدرة المفقودة بواسطة كرسي الدفع ويوضح الشكل رقم 4- 3 جهاز dynamometer وجهاز اللى torsion meter الشكل رقم 5-3 .

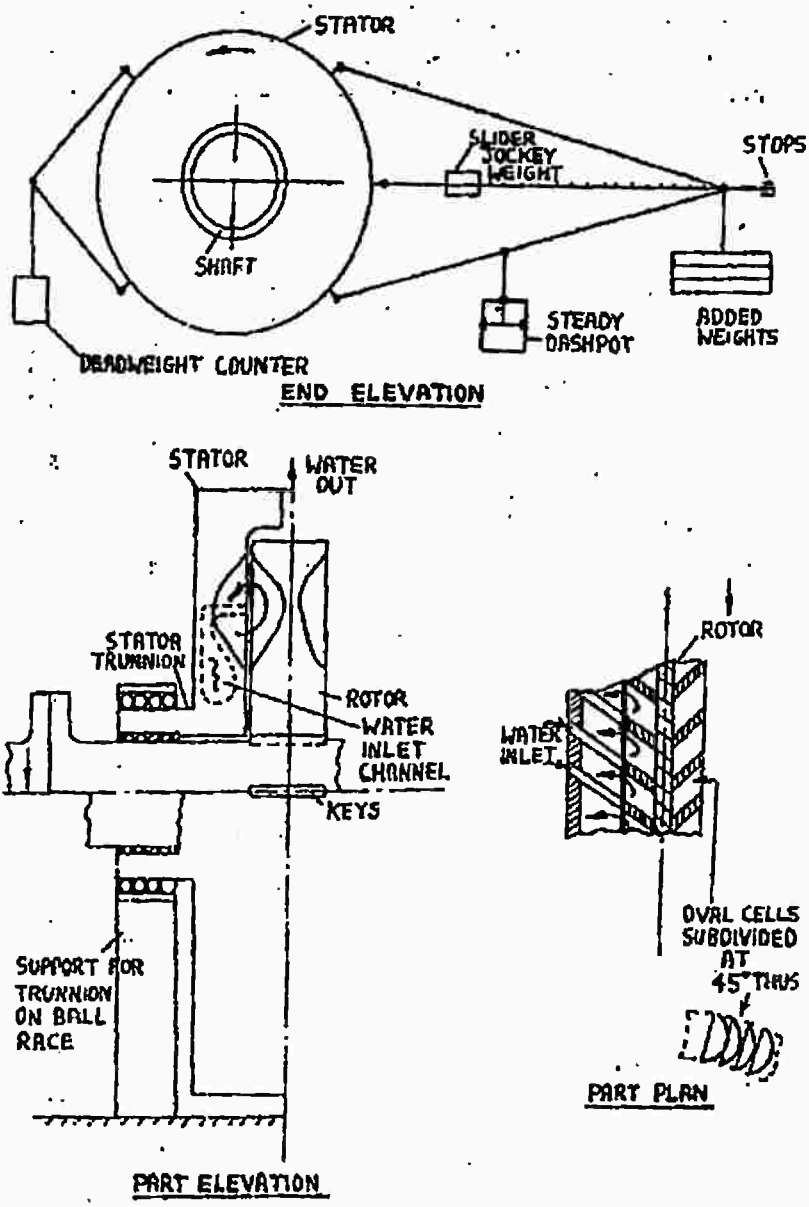
STATOR
SLIDER JOCKEY WEIGHT
STOPS
SHAFT
STEADY DASHPOT
ADDED WEIGHTS
DEADWEIGHT COUNTER
END ELEVATION
STATOR
WATER OUT
STATOR TRUNNION
ROTOR
WATER INLET CHANNEL
KEYS
SUPPORT FOR TRUNNION ON BALL RACE
PART ELEVATION
ROTOR
WATER INLET
OVAL CELLS SUBDIVIDED AT 45° THUS
PART PLAN

*Figure 3- 4*

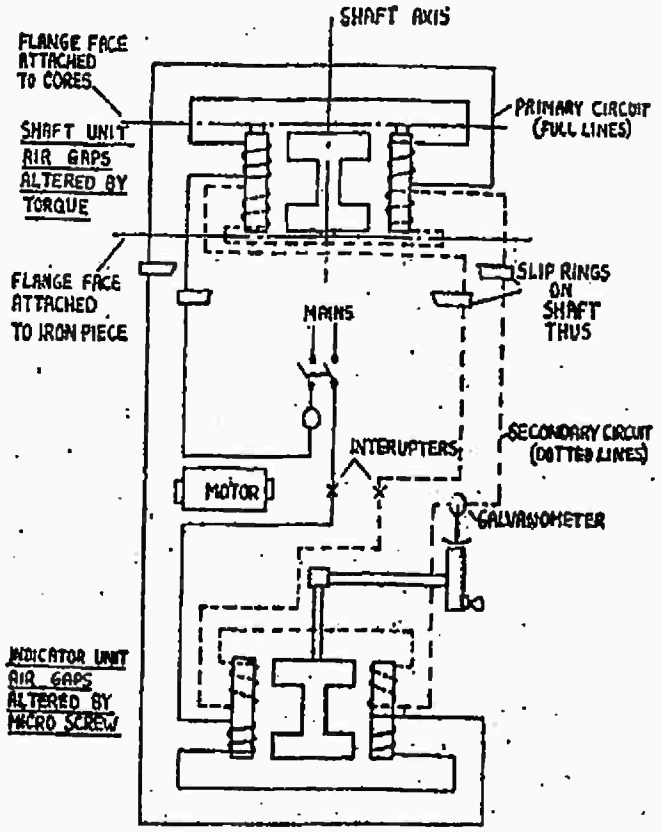


*Figure 3-5*

## 3.10 الضغط المتوسط البيانى للإسطوانة Mean indicated pressure

$$mip = \frac{workdone\ in\ cyl\ on\ working\ stroke}{swept\ vlume} = \frac{mip \times a \times l}{a \times l} \quad 3\text{-}5$$

ومن الناحية العملية فإن جهاز المبين للضغط المتوسط البيانى الحصول على منحنى كامل للشغل المبذول لكل إسطوانة .

ولحساب المساحة للمنحنى شكل 3-6 يقسم طول المنحنى إلى عشرة أقسام نصفين بالجانبين وتسعة أقسام كاملة بالوسط ، ويقاس إرتفاعات الأعمدة عند هذه الأقسام ويؤخذ متوسطها وتقسم على 10 لنحصل على متوسط الضغط البيانى كما هو موضح بالشكل3.6 .

وبتقدم العلم فقد تم إنتاج أجهزة للحصول على الضغط المتوسط البيانى وكذلك الحصول على القدرة البيانيه للإسطوانة فورًا .

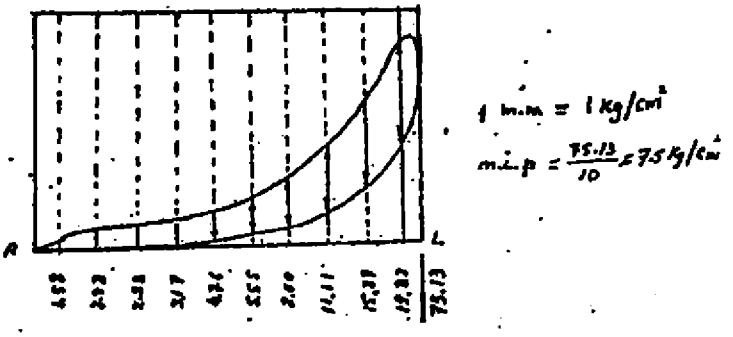

*Figure 3 - 6*

## 3.11 السرعة المتوسطة للمكبس piston mean speed

Mean piston speed( meters /sec $= \frac{l \times R}{30}$ . 3-6

where $l$ = stroke in meters .

$R$ = rev/min .

## 3.12 إستهلاك الوقود فى ٢٤ساعة fuel consumption per 24 hours

In metric units .

$$W = \frac{w \times shp \times 24}{10^6} . \quad 3\text{-}7$$

$$w = \frac{10^6 \times W}{24 \times shp} . \quad 3\text{-}8$$

Where W = total fuel consumption per day metric tons ;

$w$ fuel consumption rate, g /shp h ( metric )

one metric ton = $10^6$ grams .

in SI units

$$W = \frac{w \times kw \times 24}{10^3} . \quad 3.9$$

$$w = \frac{10^3 \times W}{kw \times 24} . \quad 3.10$$

where $w$ = fuel consumption kg / kwh .

W = total fuel consumption per day , tonnes .

one tonne = 1000 kg.