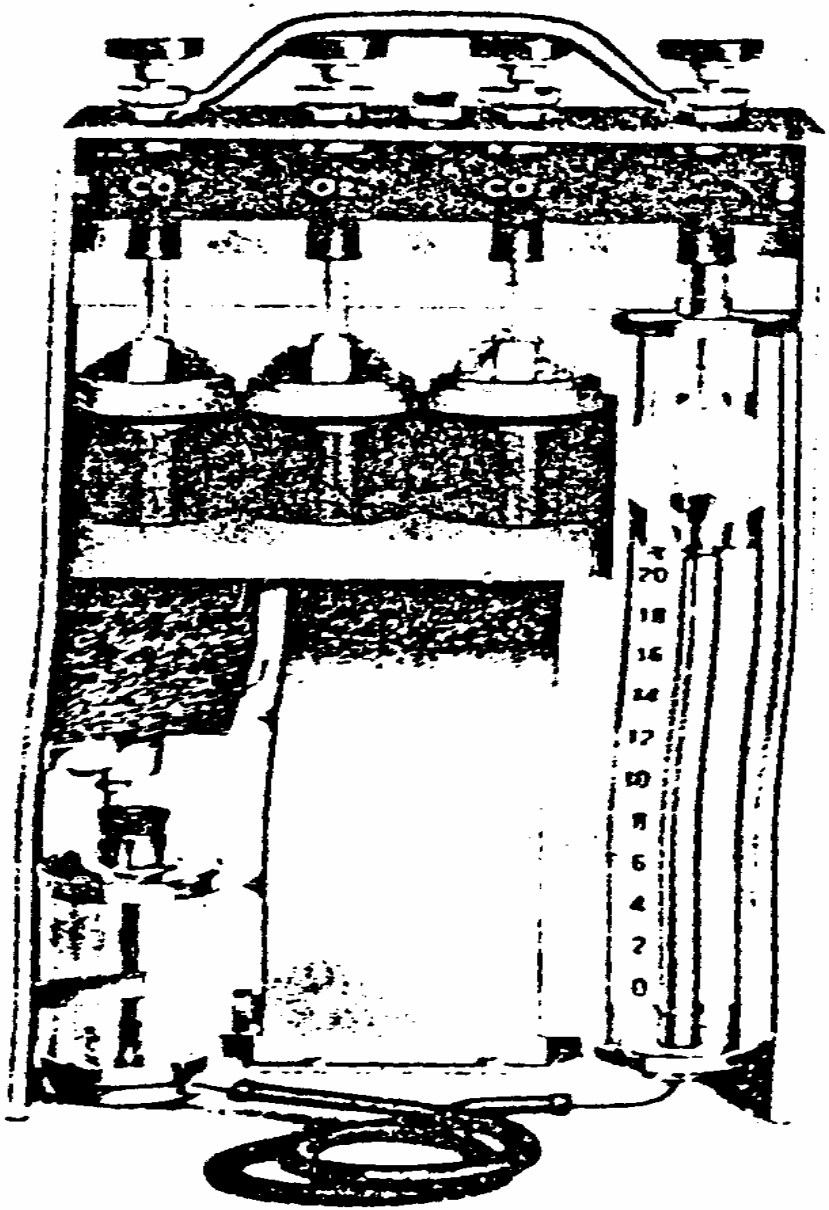
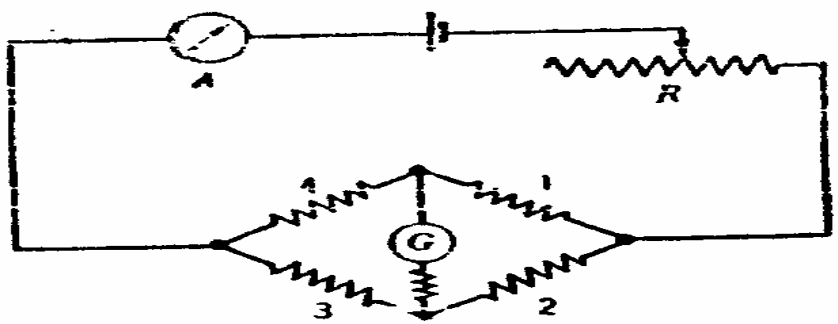
# جهاز اختبار غاز العادم
# Engine Test Apparatus – Exhaust Gas

يوضح الشكل جهاز اختبار غازات العادم و تعتمد فكرة عمله على نظرية قنطرة هويستون و خاصية اختلاف التوصيل الحرارى لغازات العادم تبعا لما تحتويه من أول و ثانى أكسيد الكربون، و من ثم فأن حرارة السلك البلاتين الموضوع فى غازات العادم سوف تعتمد على درجة التوصيل الحرارى لهذه الغازات.

- الأسلاك الحلزونية الأربعة المتشابهة محصورة فى خلايا منفصلة، فإذا احتوى زوج من هذه الخلايا على الهواء بينما احتوى الزوج الأخر على غاز العادم ( الذى يدخل فى مكوناته $CO_2$و CO بنسبة أساسية مقارنة بالهواء) فان كلا الزوجين سيكون لهما درجات حرارة مختلفة عن بعضيهما البعض و لهما ومقاومات مختلفة مما يسبب انحراف الجلفانوميتر.و يتم معايرة الجلفانوميتر ليحدد النسبة المئوية لمكونات الخليط مباشرة.

# جهاز اختبار العادم Gas Analyser Orsat محلل أورست

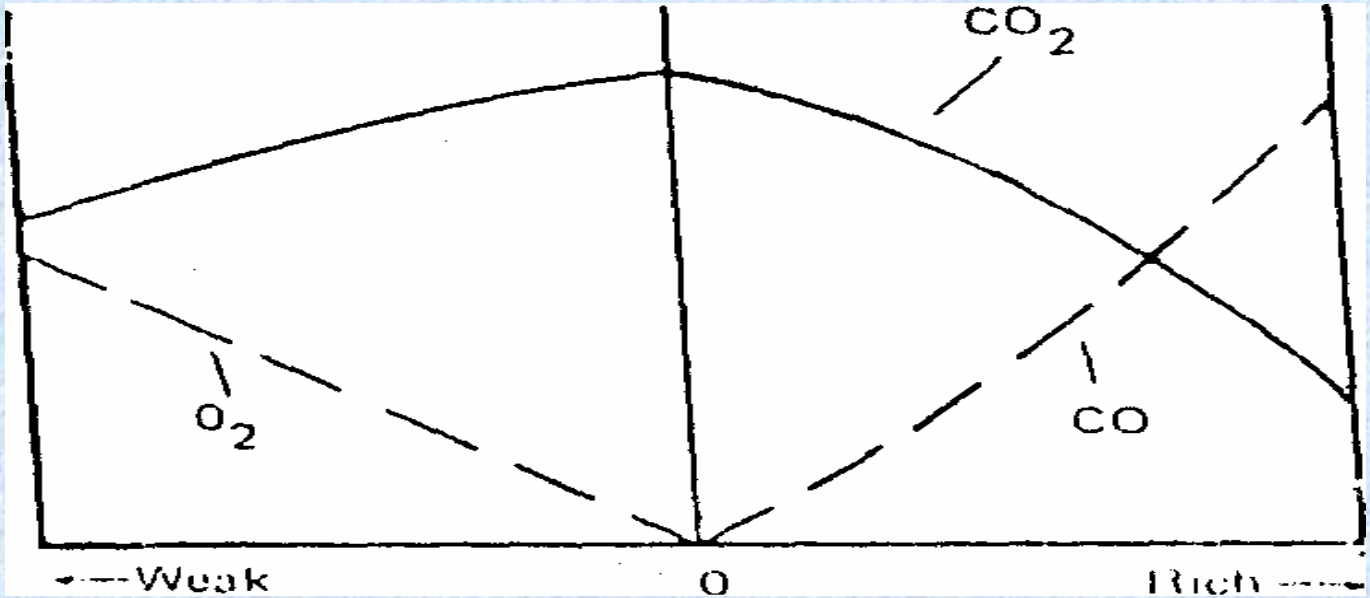


و يجب مقارنة قياسات تحليل غازات العادم بقياسات القدرة الفرملية و استهلاك الوقود و استهلاك الهواء و ذلك خلال نسب متعدده من / air ) fuel ratios ).

والشكل البيانى التالى يوضح الاختلاف فى مكونات العادم باختلاف ( air / fuel ratios ) لمحرك بنزين .

مثل هذه الاختبارات يمكن أجرائها مع محرك ديزل فى نطاق من الأحمال المختلفة، إلا أن النتائج فى هذه الحالة ستكون أقل انتظاما نظرا لزيادة CO2 و انخفاض O2 مع زيادة القدرة الناتجة.




# Air / Fuel Ratio
# Relation between Exhaust Gas Composition and Air / Fuel Ratio

# أداء محركات الاشتعال بالانضغاط

# Performance of C.I . Engines

الشكل التالى يمثل نموذجا لأداء محرك ذو إشعال بالضغط عند أحمال مختلفة مع ثبات السرعة . و نظرا لأن كفاءة هذه المحركات أكبر من نظيرها فى المحركات ذات الاشتعال بالشرارة، فان اجمالى الفواقد فى الأخيرة تكون أكبر.

يتضح من الشكل أيضا ازدياد متوسط الضغط الفرملى الفعال و كذلك القدرة الفرملية مع زيادة الحمل. و هذا الأمر يختلف عن ما هو عليه فى محركات الاشتعال بالشرارة اذ أن ازدياد متوسط الضغط الفرملى الفعال يكون بشكل مستمر و لا يتحدد إلا بالدخان. أما بالنسبة لدرجة حرارة العادم فهى تتناسب طرديا مع الحمل. يلاحظ أيضا من المنحنى أن الحد الأدنى لاستهلاك الوقود النوعى يحدث عند حوالى ٨٠% من الحمل الكامل .

**في الشكل التالي**
**أداء محرك الاشتعال بالانضغاط:**

1- عند سرعة ثابتة و حمل متغير
2-عند سرعة متغيرة.

1500 RPM
bsfc
bP
bmep
درجة حرارة العادم
135
165
0
20
40
60
80
100
الحمل %
0
2
4
6
8
150
200
250
300
350
400
450
50
100
150
200
300
400
500
600
700
20
40
60
80
100
N.m
(الكيلو واط)
درجة حرارة غازات العادم
متوسط الضغط الفعلي
bar
استهلاك الوقود النوعي الفرملي
جم/ك وات. ساعة

أما فى حالة المحرك الديزل ذو السرعة المتغيرة ( رباعى الأشواط )، فان منحنيات الأداء توضح أن العزم يبلغ ذروته عند حوالى ( ٧٠ % ) من السرعة القصوى – فى حين تبلغ هذه القيمة حوالى ( ٥٠ % ) فى محركات البنزين – أما الاستهلاك النوعى الفرملى للوقود فانه قليل خلال معظم مدى السرعة فى محركات الديزل .

# خرائط أداء المحركات
# Engine
# Performance Maps

تستخدم هذه الخرائط فى وصف أداء محركات الاحتراق الداخلى ( الاشتعال بالشرارة أو الاشتعال بالانضغاط ) عند مختلف درجات الحمل و السرعة. و خريطة أداء المحرك عبارة عن منحنى يمثل العلاقة بين متوسط الضغط الفعال الفرملى و سرعة المكبس. و من ثم فانه يمكن تقييم أداء المحركات ذات الحجوم المختلفة عن طريق تحويل سرعة المحرك

(دورة / دقيقة ) إلى سرعة المكبس، و تحويل القدرة إلى قدرة لوحدة المساحة لسطح المكبس.

و عموما فان المحركات بكافة أحجامها لها نطاق يكون فيه استهلاك الوقود أقل ما يمكن، و ذلك متى كانت سرعة المكبس منخفضة و متوسط الضغط الفعال الفرملى مرتفع إلى حد ما.

# منحنيات معدل استهلاك الوقود النوعى الفرملى

# B. S. F. C - BHP

ترسم هذه المنحنيات مع ثبات السرعة و بذلك يمكن تحديد مقدار الحمل الكامل الذى عنده يكون تشغيل المحرك اقتصاديا ( أقل معدل لاستهلاك الوقود

و يجب ان لا يتجاوز الحمل الزائد للمحرك عن ١٠% من الحمل الكامل و لمده لا تزيد عن ساعتين، أو ٢٠% من الحمل الكامل و لمده لا تزيد عن ساعة واحدة لنجنب حدوث سخونة زائدة للمحرك و اجهادات حرارية قاسية قد تؤدى إلى كسره.

الشكلان البيانيان التاليان يوضحان الاتى:

1- الكفاءة الحرارية الفرملية و الكفاءة الحرارية البيانية و الكفاءة الميكانيكية واستهلاك الوقود النوعى لمحرك اشتعال بالشرارة.

2- القدرة البيانية و القدرة الفرملية ومتوسط الضغط الفرملى الفعال و استهلاك الوقود النوعى .

## ***ملاحظات :***

المنحنيات السابقة توضح الاتى:

النسبة المئوية للحرارة المفقودة إلى منظومة التبريد تزداد مع انخفاض السرعة، وتقل مع السرعة العالية مع ملاحظة أن كمية الحرارة الخارجة مع العادم تزداد عند السرعة العالية.

يمكن الحصول على كفاءة حرارية فرملية قصوى داخل تطاق السرعة المتوسطة.

يتأثر كل من العزم و متوسط الضغط الفعال أساسيا بالكفاءة الحجمية و فواقد الاحتكاك أكثر من تأثريهما بسرعة المحرك، حيث يتطابق موقع أقصى عزم مع موقع الكفاءة الحجمية القصوى. تبلغ ذروتا منحنى العزم و منحنى متوسط الضغط الفعال حول منتصف مقياس القدرة نسبيا.

يتضاعف العزم بمضاعفة حجم المحرك، فى حين لا يتأثر متوسط الضغط الفعال بهذا.
زيادة السرعة تؤدى الى زيادة القدرة تدريجيا إلى أن نصل لأقصى قدرة ممكنة.

عندما تكون سرعة المحرك منخفضة، فان القدرة الاحتكاكية تكون أقل ما يمكن ومن ثم تقترب قيمة القدرة الفرملية من قيمة القدرة البيانية. و مع زيادة سرعة المحرك تزداد القدرة الاحتكاكية بمعدلات عالية مصحوبة بزيادة فى القدرة الفرملية إلى أن تصل لذروتها، ثم تأخذ فى الانخفاض التدريجى بالرغم من استمرار القدرة البيانية فى

- الازدياد. مع الاستمرار فى زيادة سرعة المحرك لدرجة أعلى من نطاق التشغيل الطبيعى فان القدرة الاحتكاكية ترتفع بمعدل سريع إلى أن تصل القدرة البيانية إلى الذروة ، لتأخذ بعدها فى الانخفاض إلى أن تتساوى قيمة كلتا القدرتين ( الاحتكاكية و البيانية ) فى نقطة معينة تنخفض معها قيمة القدرة الفرملية للصفر .

# تصميم اجزاء المحرك

# الاجزاء الرئيسية للمحرك Engine Parts

تتكون محركات الاحتراق الداخلي مهما اختلفت تصميماتها من الاجزاء التالية-:

## الأجزاء الثابتة في المحرك وتشمل:

كتلة الاسطوانات cylinders block

رأس الاسطوانات cylinders head

علبة المرفق (علبة الكارتير crank case

الكراسي الرئيسية (المحاور bearing

# الاجزاء المتحركة وتسمى المجموعة المرفقية

**وتشمل :**

المرفق(الكرنك) Crank Shaft

المكبس piston

ذراع التوصيل Rod connecting

- الحدافة Flywheel

## 3- مجموعة فتح وغلق الصمامات وتشمل:

- عمود الكامات Camshaft
- الصمامات Valves
- عمود التكيهات Rockers

وتصنع الاجزاء السالفة الذكر من معادن مختلفة تتعرض لاحمال واجهادات مختلفة فنجد أنة قد تتعرض قطعة من المعدن محمولة على حاملين عند طرفيها لأى من الأحمال الآتية

حمل استاتيكي Static Loadingأى أنه يظل ثابتا فى مكانة ويعبر عن ذلكA-loading

حمل ديناميكي Dynamic loading يسبب انبعاجا Deflection , ويتغير الحمل من (max---o---max) ويسمىB-loading

حمل يسبب تعب Fatigueويتغير تأثيره من(max—o-C-loading ويسمى--max---o---max)

تحميل مفاجئ قد يسبب صدمة وكسر D- Shock loading

وبفرض ان الإجهاد المسموح به في الحالة (ا) هو δبار ويكون٢/٣ δ فى الحالة الثانية و ٣/١ δ فى الحالة الثالثه و ١٠/١ δ في الحالة الرابعة.

هذا وقد تتسبب الأحمال في اجهادات مختلفة تتوقف على اتجاه تأثير القوة وتنقسم هذه الاجهادات الى-:

اجهادات شد Tensile Stress

اجهادات ضغط Compression

اجهادات قص Shear

اجهادات التواء Torsional

اجهادات لى Bending

اجهادات مسحوب بثني Buckli

اجهادات الصدمات Shock

و اجهادات الالتواء تماثل اجهادات القص و اجهادات الثني الضغط المصحوب بالثنى تسبب شدا لبعض أجزاء المعدن وضغطا لبعض الآخر.

واجهادات الصدمات تكون كبيرة لدرجة يتحطم معها المعدن

والسؤال الآن ما الذى يجب تحديده قبل البدء فى تصميم أى جزء من أجزاء المحرك؟

إن الذى يجب تحديده بكل دقة قبل البدء فى تصميم أى جزء من أجزاء المحرك ما يلى بالترتيب-:

قيمة الحمل المؤثر واتجاهه ونوعه حسب البند السابق.

تحديد نوع المعدن أقصى إجهاد مسموح به.

حساب القطاع المعدني اللازم لتحمل هذه القوة المؤثرة .
قوة تحمل المعادن المستخدمة فى صناعة
المحركات Strength of Materials
المعروف أن الحديد الزهر يتحمل اجهادات الضغط
Compression Stressفى حين انه لا يقوى على
تحمل اجهادات الشد الكبيرة. Tensile Stress أما الصلب
فانه يتحمل اجهادات الشد والضغط معا.

وتتنوع المعادن المستخدمة فى المحرك ويختلف تركيبها وقوة تحملها فمثلا عمود المرفق يصنع من صلب يسمى Cr Ni(hardened) steel for Crankshaftويتحمل اجهادات شد قد تصل إلى. δ t=15000 bar

صلب رلمان البلى Ball Bearing يتحمل اجهادات ضغط تبلغ
δ c=21000 bar
الصلب المسقى بالنتروجين يتحمل اجهادات ضغط δ c=17000 bar

# والجداول التالية تعطى بيانات عن المعادن المستخدمة فى المحركات

| q bar | E/bar | Constituents | Material |
|---|---|---|---|
| 400 Tensile | 1.200.000 | C: 3-3.5% Si:1.5-2.5% Mn:0 – 0.5% Ni:0- | C.I. |
| 4500 | 2.100.000 | C:1% 0.25% | Steel |
| 2000 | 1.150.000 | 99.9% | Cu |
| 5000 | 900.000 | Cu :60% | Brass |
| 5500 | 1.100.000 | Cu :88% Zn:40% Sn:12% | Phosphor Bronze |
| 4000 | 0 | Cu: 54% Ni:46% | Constantan |
| 200 | 160.000 | Pb: 73% Sb=16% Sn: 10% Cu= 1% | White Metal |
| 1400 | 700.000 | Al: 85.5% Si= 12.5% Cu:0.6% Ni=0.2% Mg=1.2% | Aluminum Cast alloy |

# -تصميم بدن المحرك cylinder block

قد تصل أقصي قوة مؤثرة علي سطح المكبس الي ٢٥٠ طن في المحركات الكبيرة وأقصي قوة جانبية عمودية علي اتجاه حركة المكبس ١٠ طن وهذه القوي الكبيرة يلزمها قطاعات معدنية كبيرة لتحملها .

## وتصميمات البدن تتوقف عن نوع المحرك فهناك

أ- محركات ذات قميصliner ومحركات بدونها
ب- محركات ذات بدن مغلق وأخرى ذات بدن مفتوح
ج- محركات مبردة بالماء وأخرى بالهواء
د- محركات ذات بوابات وأخرى ذات صمامات

وهكذا تتنوع المحركات والتصميمات ويصنع البدن من الحديد الزهر وقاعدته Bed plate من الصلب والمسامير اللازمة للربط من الصلب ،و قميص الاسطوانة من C.I. nitrogen hardened centrifugal cast material 3.5% والاجهادات المسموح بها لصلب (شد وضغطَ(=١٠٠٠ bar fc.t وللحديد الزهر fc =1000bar =َ ٣٠٠ft bar

# تصميم الاسطوانة او القميص

# Cylinder or Liner

تصنع كتلة الاسطوانة من الزهر الرمادى الذى يحتوى على ٣% كربون وغالبا من الجرافيت المنفصل والذى يعطى الزهر اللون الرمادى ، ويتميز الزهر الرمادى بأنة رخيص الثمن ويتحمل درجة الحرارة والضغوط العالية التى تحدث داخل الاسطوانة دون حدوث أى اعوجاج فية ، كما انة ذو نعومة تساعد على سهولة تشكيله.

كذلك الزهر الرمادى يقاوم التآكل وقادر على امتصاص الذبذبة ويقاوم الصدأ ، واذا ما تطلب الحال زيادة فى صلادته وقوته صنع على شكل سبيكة باضافة النيكل أو الكروم اليه وربما تصنع كتلة الاسطوانات من الصلب كما يستعمل الالومنيوم ، ويوضح الشكل التالى كتلة الاسطوانات و من ناحية الاجهادات الميكانيكية يمكن استخدام القانون التالى لحساب اقصى سمك لكتلة الاسطوانات

وقد وجد أن هذا التكهف يحدث حتى عند استخدام مياه تبريد نظيفة مقطرة خالية من الاملاح . ويمكن وقف هذا التآكل بتغطية جدار القمص بطبقة من الكروم أو الالومنيوم لزيادة عمرة أو تقليل أثر الذبذبات بتعديل التصميم وتقريب المسافة بين سطوح ارتكازه على الاسطوانة

هذا وقد تزود كتل الاسطوانات عادة بجلب الاسطوانة (بطانة) وهى عبارة عن اسطوانة رقيقة من حديد الزهر المسبوك الرمادى او الصلب او غير ذلك من السبائك المعدنية . و فى بعض الحالات تعالج حراريا لآكسابها درجة صلادة خاصة و ذلك لزيادة مقاومة السطح لتآكل

ويمكن تغيرها بسهولة بدلا من خراطة الاسطوانة نفسها ، وهناك نوعان رئيسيان من جلب الاسطوانات وهما البطائن المبتلة التى تحيط بها مياه التبريد ، والبطائن الجافة التى لا تلامسها مياه التبريد.

## ii- رأس الاسطوانات Cylinders head :-

عند تصميم رأس الاسطوانة تراعى الاجهادات الحرارية الميكانيكية فرأس الاسطوانات وهو العطاء العلوى لراس لكتلة الاسطوانات وعادة تسمى رأس الاسطوانات ويوضح الشكل التالى نموذج لرأس الاسطوانات

وتصنع رأس الاسطوانات من الحديد الزهر الرمادى وقد تستعمل فى صناعته سبيكة من الالومنيوم التى تمتاز بقدرتها على التوصيل الحرارى ، وهذه الخاصية مرغوبة لشدة تعرض

رأس الاسطوانات لدرجات الحرارة العالية الناتجة من الاحتراق ، ومزود راس الاسطوانات بغرف الاحترق وتجاويف الصمامات وفتحات خاصة لشمعات الاحتراق أو رشاشات حقن الوقود حسب نوع المحرك ، بالاضافة الى تجاويف لمرور مياه التبريد

ويثبت راس الاسطوانات باحكام بكتلة الاسطوانات بواسطة مسامير ربط ويجب أن تكون الوصلة بين رأس الاسطوانات وكتلة الاسطوانات محكمة وقادرة على تحمل الضغط والحرارة الناتجة من الاحتراق ، لذلك يوضع جوان بينهما يعرف بجوان راس الاسطوانات كما هو موضح بالشكل

وتصنع الجوانات من أنواع رقيقة من معدن طرى أو اسبستوس ، وقد تكون من نحاس خالص أو من لوحين رقيقين من نحاس خالص أو من لوحين رقيقين من النحاس بينهما اسبستوس أو من صلب مجعد ويحتوى الجوان على فتحات لتوافق جميع فتحات الماء أو الاسطوانات والصمامات و

فتحات مسامير رأس الاسطوانات فى كتلة الاسطوانات وعند وضع هذا الجوان فى مكانة بين الكتلة و رأس الاسطوانات وبالربط المحكم للمسامير نحصل على احكام للوصلة بدرجة فعالة مما يؤدى الى منع مياه التبريد من التسريب الى غرف الاحتراق أو منع تسرب الغازات بين الاسطوانات .

## iii- علبة المرفق

## "علبة الكارتير Crank Case"

تصنع عادة علبة المرفق من صلب مضغوط ، و تثبت فى الجانب السفلى لكتلة الاسطوانات وللحصول على مانع تسرب محكم يوضع جوان بينهما وتحتوى علبة المرفق على الزيت اللازم

لتزييت المحرك ونظرا لضرورة تغير هذا الزيت من حين لآخر فان الحوض يزود بفتحة لتصريف الزيت يوضح الشكل التالى نموذج لعلبة الكارتير

# 17- الكراسى الرئيسيةBearing

يطلق على الكراسى التى تحمل المرفق ويدور فيها اسم الكراسى الرئيسية ، و يتركب كرسى المحور عادة من جزئين أو نصفين يقع أحدهما أسفل الآخر فالنصف الاسفل يشكل فى كتلة الاسطوانات ويثبت معة النصف الآخر "الغطاء Bearing Cap"بواسطة مسامير قلاووظ ويكون

معظم التآكل فى النصف السفلى من الكراسى نظرا لأنة يتحمل بمفردة وزن المرفق بمفردة وزن المرفق كما يقع علية دفع المكبس

ويوجد مع الكراسى لقم تعرف بلقم الكراسى وهو الجزء الملامس للمحور مباشرة وتصنع عادة من معدن ذى مقاومة احتكاك قليلة وتتحمل الضغوط الكبيرة والسريعة العالية والحرارة المرتفعة أثناء التشغيل و أصلح المعادن هى البرونز الفوسفورى أو السبيكة البيضاء و البرنز الفوسفورى

شديد النشوفة ، لذا تتحمل اللقم المصنوعة منه مدة طويلة بعكس اللقم المغطاة بطبقة من السبيكة البيضاء الا أن اللقم البرونزية تحتاج الى نسبة أكبر من زيت التزييت عنها فى اللقم المصنوعة من السبيكة البيضاء .

# تصمبم الأجزاء المتحركة
# (المجموعة المرفقية )

تقوم هذه المجموعة بتحويل حركة المكبس الترددية الى حركة دورانية على عمود المرفق "الكرنك" وتتكون هذه المجموعة من الوحدات الرئيسية التالية -:

المكبس وذراع التوصيل – عمود المرفق والحدافة

# تصميم المكبس
# Piston Design

# هناك تصميمات مختلفة منها-:

المكبس ذو القطعة الواحدة

المكبس المركب(من أكثر من قطعة)

المكبس المبرد من الداخل بالزيت أو الماء

يتوقف شكل مكابس محركات الاحتراق الداخلى على نوع الدورة الحرارية التى تعمل بها هذة المحركات، فمثلا فى محركات الديزل نجد عادة تجاويف فى رؤوس المكابس لتشغل جزء من

غرفة الاحتراق وكذلك لتعمل على سرعة خلط الهواء مع الوقود و قد كانت المكابس تصنع فى البداية من الحديد الزهر الرمادى ، و بمرور الوقت أصبحت هذة المادة غير مناسبة و

حلت محلها السبائك الخفيفة ، و أهم مزايا هذة السبائك خفة الوزن وبالتالى تخفض أحمال القصور الذاتى الى أقل ما يمكن وسهولة التنظيف ما يتراكم عليها من كربون وعدم تآكل الاسطوانة اذا ما تمدد نتيجة للحرارة و ذلك نظرا لسرعة تخلصة من الحرارة ، كما أن

عمليات انتاج المكابس المصنوعة من السبائك الخفيفة أبسط من عمليات المكابس المصنوعة من الحديد الزهر ، وبالتالى أقل منها تكلفة و يوضح الشكل التالى نماذج لمكابس المحرك

ويراعى فى تصميم المكبس أن سبائك الالومنيوم تتمدد أكثر من الزهر ويفضل الخلوص التالى عند التصميم

| Material | C.I. | Al.Allors |
|---|---|---|
| Clearance in piston crown | 3.5% | 4.5 - 3.5 % |
| Clearance in piston barrel | 0.9% | 1.5 – 1.1 % |

**ولحساب سمك الجزء الاسطوانى من المكبس:**

أقصى سمك خلف الشنبر ٠,١١ --- D mmsأقل سمك ٠,٠٣ D mms

و فيما يختص بالاجهادات الحرارية يتعرض سطح المكبس العلوى لغازات ساخنة تحسب درج

حرارتها $\theta g$ من القانون التالى

حيث $\alpha$ معامل انتقال الحرارة اللحظى من الغازات الى سطح غرفة الاحتراق ,

$\theta g$ درجة حرارة الغازات داخل غرفة الاحتراق التى تتغير زمنيا ويتضح ذلك من الشكل التالى

التغيرات فى درجة حرارة اسطوانة محرك ديزل ثنائى الاشواط

ومن أهم العوامل التى تؤثر على الاجهادات الحرارية فى قاعدة المكبس الفرق بين درجتى حرارة السطح عند منتصف المكبس وعند حافتة

$$D2.\ q$$
$$16\ \lambda\Delta\ \theta\ .100$$

Crown thickness h =

Where:-

q= heat flow gas- piston Kal/ $m^2$ *hr

$\lambda$ = Conductivity Kal /m. hr C

D = Piston diameter cms

ويجب اختيار سمك قاعدة المكبس h بحيث تتحمل الاجهادات الحرارية والميكانيكية معا.

# سريان الحرارة فى المكبس

# Heat flow through the piston

من الأهمية بمكان دراسة انتقال الحرارة داخل المكبس .، فالغازات الساخنة الموجودة فى غرفة الاحتراق تعطى جزءا من حرارتها الى سطح قاعدة المكبس ، و معظم هذه الحرارة تنتقل من المكبس الى سطح الاسطوانة أو القميص مباشرة بواسطة الشنابر كما أن جزءا

يسيرا جدا ينتقل من المكبس الى القميص مباشرة بسبب وجود خلوص بينهما يسبب مقاومة لانتقال الحرارة . كما وأن جزءا من الحرارة ينتقل من السطح العلوى الى السطح السفلى للمكبس و منة الى الهواء وأبخرة زيت التزيت الموجودة فى ملامسة هذا السطح.

**و فيما يلى العوامل المؤثرة على درجة حرارة المكبس-:**

-1المعدن المصنوع منة المكبس و أقصى درجات الحرارة للمكبس تصل الى ٥٠٠ درجة مئوية اذا كان مصنوعا من الحديد الزهر ، والى ٣٠٠ درجة مئوية اذا كان مصنوعا من سبائك الالومنيوم و ذلك فى حالة الحمل الكامل

-2وضع الشنابر فلو كانت الشنابر أقرب ما يمكن من سطح المكبس قلت θp وكلما بعدت عن السطح ذادتθp

-3درجة حرارة مياه التبريد . كلما زادت تزداد θp

-4الخلوص بين المكبس وجدار الاسطوانة الداخلى . كلما زاد تزدادθp

– 5سرعة المحرك . كلما زادت السرعة كلما زادت θp لأن معامل انتقال الحرارة سيزداد وستنتقل كمية أكبر من الحرارة الى سطح المكبس مما يزيد درجة حرارته

-6شكل المكبس من الداخل من حيث وجود زعانف Ribs تزيد من المساحة الداخلية و بذلك تزداد انتقال الحرارة الى داخل المحرك مما يقلل θp .

# تصميم البنز Gudgeon pin :-

هو الجزء الذى يصل المكبس بالنهاية الصغرى لذراع التوصيل ويحمل البنز فى ثقبى المكبس ويمر داخل النهاية الصغرى لذراع التوصيل ويصنع من الصلب السبائكى نظرا لكونة أحد

الاجزاء التى تعرض لأجهادات شديدة للمحرك ويصلد سطحة ويجلخ ويصقل حتى يكون ناعم السطح . ويصمم بنز المكبس بحيث يكون مصمتا أو مجوفا لتخفيف وزنة.

D= piston diameter

d= outer pin diameter.

l= length on the con. rod small end.

L=total length = D+l/2

pin diam (d) =0.3-0.425

# Bearing Stress:-

$$\frac{\text{Load}}{\text{projected area}} = \frac{\text{max pressure x piston area}}{d}$$

ويصنع البنز من الصلب المقسى بالنتروجين Nitrogen
hardened steelأو صلب النيكل كروم المقسى Case
hardenedويسمح فيه بالاجهادت التالية:

bearing stress =300 bar
comp. or Tensile Stress = 1200 bar
Shear stress = 800 bar

# تصميم الشنابر Rings Design :-

يختلف عدد وانواع الشنابر باختلاف نوع المحرك و معظم المحركات ذات ثلاثة أو أربعة شنابر ، و تنقسم الشنابر الى نوعين منها شنابر الضغط و منها شنابر التزييت

ويتراوح عدد شنابر نقل الحرارة بين ٢ الى ٥ طبقا لطول المكبس . كما و أن حوالى ٣٠% من الحرارة التى تمر فى المكبس تنتقل خلال أول شنبر والناقى خلال الشنابر التالية

حينما يتحرك المكبس الى أعلى يكون سطح الشنبر لأسفل متلامسا مع جدار المكبس ، وحينما المكبس أسفل يكون سطح الشنبر العلوى متلامسا مع جدار المكبس ( ماعدا الشنبر العلوى أثناء شوط التمدد بسبب الضغط المرتفع داخل الاسطوانة )

ولضمان عدم تحطم المكبس عند تجويف الشنبر الاعلى يصمم هذا التجويف من مادة الصلب الأووستينى Austenitic Iron Insert Ring ويتم ذلك بطريقة التئام جزيئات المعادن Carrier

وعند تصمم الشنبر و بفرض أن طول الشنبر الضاغط على الاسطوانة , b و aالعرض

$$\sqrt{\frac{3.p}{f_b}} = \frac{D}{25}$$

B =1-1.3 a. = D

P = pressing force (ring on Cyl.) = 0.3-1 bar

# Ring Clearances:-

Axial clearance = 0.05 mm
Diam of drain holes =0.025 D mms.
Clearance behind the ring =0.05 mm for compression ring
Clearance behind the ring =0.125 mm for oil ring

وتصنع الشنابر من الحديد الزهر Centrifugally cast C. I. close grainويسمح فية بالاجهادات

لا تزيد عن-:

fbr =480 bar

b = 1000 bar f

# تصميم ذراع التوصيل: Connecting Rod

هو الذراع الذى ينقل ضغط الغازات المؤثر على المكبس الى عمود المرفق والحدافة ويثبت مفصليا فى بنز المكبس والمرفق، وبواسطة ذراع التوصيل تتحول الحركة الترددية للمكبس الى حركة دائرية

ويصمم ذراع التوصيل على الضغط والثنى معا Buckling فاذا كان L و r نصف قطر المرفق ، فان

L/r= 3-4.8

ويكون الذراع مسلوبا بين طرفية ٥%---١٠% ويستخدم قانون أويلر لحساب قوة تحميل ذراع التوصيل.

$$\text{Safe Load} = \frac{\text{S.L.}}{\text{L2}} = TT^2.E.I.$$

I= Least moment of Inertia

E = Modulus of Elasticity = $2*10^6$ bar

- الذى التوصـ ـيل ذراع القطاع أبعاد ولحساب I شكل يأخذ غالبـا

**h= height of I section = 0.4D**

**b= width of I section = 0.3D**

**t= thiekness of I section = 0.05 D**

- Safe به المسموح الحمل يكون أن ويجب > من أكـبر Euler قانون من المحسوب Load داخل ضغط أقصى عن تنشـأ الـتى القوة الاسـطوانة .

$$S.L. \quad 5\ TT/4\ D^2\ P_{max}$$

ويتكون اجهاد ضغط δc ناتج عن تأثير القوة TT/4 D2. Pmax بالاضافة الى اجهاد ضغط δb ناتج عن تأثير الحركة الدورانية للطرف الأكبر Big End وهذه القوة الأخيرة تعادل

$$F = A.L\ W2\ r\sin(\theta + \phi)$$

حيث

$\phi$ = زاوية عمود المرفق

$\gamma$ = كثافة المعدن المصنوع منه ذراع التوصيل

$\theta$ = زاوية ذراع التوصيل

A = مساحة المقطع

= طول ذراع التوصيل

w = السرعة الزاوية لعمود المرفق

وتبلغ السرعة الزاوية لعمود المرفق أقصاه عند

$$1 = \% + \theta Sin$$

$$Fmax = \frac{\gamma .A.I}{\frac{w^2 r}{2g}}$$

وهذه القوة تتسبب فى اثناء ذراع التوصيل وبغرض ان
Fmax 2/3 تؤثر عند الطرف الكبير Big End
Small End Big end.
(1/3 F) ( 2/3F)

$$b = S_{bending} = \frac{2}{3} F_{max} \cdot L/Z$$

Where :-

Z-modulus of section.

وعليه يكون مجموع الاجهادات الناتجة .

**δ total = δ c + δt**

ويصنع ذراع التوصيل من الصلب المطروق Forged steel

O2 Mo-steel

Tensile strength 7000-8000 ban

**Elongation 18%**

Yield stress 5000

والاجهادات المسموح بها

max. bearing pressure

300 bar

max. compression Tensile stress 1700 bar

اذا صنع من سبائك الألومنيوم Dural

يكون الإجهاد المسموح به ٣٠٠ bar

# تصميم الطرف الصغيرلذراع التوصيل

راجع تصميم البنز Gudgeon pin السابق
وتصنع الوسادة من البرنز Bronge Bush
الذى يتحمل صلادة

**Brinel Hardness No. = 250**

ويسمح بإجهاد br=200-300bar

# تصميم الطرف الكبير لذراع التوصيل Big End

راجع تصميم عمود المرفق .

# تصميم مسامير الطرف الكبير Big End Bolto

و تتعرض المسامير لقوة شد ناتجة عن تأثير الأجزاء الترددية الحركة ( وزنها يعادل وزن المكبس ، و ٣/١ ذراع التوصيل ) بالاضافة الى تأثير الأوزان الدائرية (٣/٢ وزن ذراع التوصيل وملحقاته (

وتصنع هذه المسامير من الصلب اللبن Mild steel

و اجهاد الشد والضغط المسموح بها يبلغان

t.c=1200 bar δ

# تصميم عمود المرفق Cran Kshaft

يصنع عمود المرفق الموضح بالشكل التالى من الصلب النيكل كرومى أو الصلب المصبوب أو الصلب المطروق مع تقوية السطح الخارجى بحيث يكون ذى مقاومة ميكانيكية عالية .

وعند تصميم عمود المرفق نستخدم المعادلة التصميمة التالية

$$d = \sqrt[3]{D2\,(L + Bx)}$$

where:-

D: bore L = stroke

ومقدار هذه الثوابت يوضحها الجدول التالى

| | Single | Multi cyl. |
|---|---|---|
| $\alpha$ | 0.089 | 0.131 |
| | 0.056 | 0.050 |

والاجتهادات المسموح بها فى الصلب

Material : C.Steel 4500 bar for big engines

High quality steel. 12000 bar for small Engines

Torsional stress 350 bar

Fatigue 500 bar

# تصميم الحدافة Fly wheel

# فوائد الحدافة

1- الاحتفاظ بذبذبة صغيرة للسرعة يجعلها ثابتة

2- منع التغير المفاجئ للسرعة إذا حدث تغير مفاجئ الأحمال .

3- فى المحركات البطيئة الحركة الكبيرة الحجم تساعد الحدافة على تحريك المكبس أثناء شوط الإنضغاط .

**IHP x Constant = E.N.**

**حيث E تمثل كمية الطاقة المحترقة .**

**W= weight of flywheel. بفرض**

**K=Radius of Gyration.**

**N = Engine Speed.**

**$C_f$ = Speed fluxuation factor = 1/50**

**1/200**

WK2 = Kg m2

**Allowable peripheral speed 39 – 40 m / sec**

ويلاحظ أن حوالى ٩٠% من وزن الحدافة يتمركز فى الشفة الخارجية RIM وتصنع الحدافة من الحديد الزهر ويبلغ أقصى جهاد شد مسموح به ٥٠٠ BAR واقصى اجهاد ضغط ١٠٠٠ BAR

# تصميم الصمامات

ويراعى عند تصميم الصمامات ان تكون زاوية ميل القاعدة.

$\Psi = 30 : 40^{o}$

**$C_1 = C$ متوسط سرعة مرور الغازات فى الصمام**

**D : المكبس c وقطر المكبس:**

**Fv . مساحة مقطع مرور الهواء فى الصمام**

**C = 65- 75 m/sec for high speed Engines .**

يتراوح قطر الصمام بي
وقطر الصمام القادم أصغر من قطر صمام - الدخول . ويتعرض الصمام لاجهادات حرارية عالية بالاضافة إلى إجهادات ميكانيكية شديدة . ناتجة عن ضربات الصمام على قاعدته

يجب أن يكون معدن الصمام ذا مقاومة غالية للاجهادات الحرارية والاجهادات الميكانيكية بالاضافة إلى التأكل ، وأن يكون قابلا للطرق Forgingوالتشغيل تستخدم معادن مختلفة فى صناعة الصمامات منها :

**Co – Cr – Steel & Si – Cr – Steel**

التغير فى الضغط الناشئ عن مرور الغازات فى الصمام بسرعة. C

**التوزيع الحرارى داخل صمام العادم :**

لعل صمام العادم هو أسخن جزء فى غرفة الاحتراق لأنه يتعرض لغازات العادم الساخنة التى تخرج منه ، وقد تصل درجة حرارته إلى ٧٠٠ ° م مما يدعو إلى شدة الحرص فى تصميمه

وفى بعض الأحوال يبرد الصمام داخل بواسطة مادة مبردة Sodium لحمايته من التشقق والكسر فهو أشد سخونة من صمام السحب . وأقصى درجة حرارة تقع فى مركز قرص الصمام.

ويلاحظ أن متوسط درجة حرارة سطح قرص الصمام أعلى من متوسط درجة حرارة سطح مقعد الصمام ، Valve Seat وذلك لأن الحرارة تنتقل أثناء التلامس الصمام إلى مقعده. كذلك تزداد درجة حرارة الصمام كلما زادت سرعة المحرك أو زاد الحمل

وتتوقف درجة حرارة الصمام على نوع المحرك -:

فى محركات البنزين غير المشحونة تصل أقصى درجة حرارة إلى ٨٠٠ ° م

فى محركات الديزل غير المشحونة تصل أقصى درجة إلى ٦٠٠ ° م

كذلك ترتفع درجات الحرارة صمام العادم فى المحركات ثنائية الأشواط التى تستخدم طريقة الكسح الطولى Uniflow عن مثيلاتها فى المحركات رباعية الأشواط.

وتستخدم المعادن ذات صلادة Brinell ( B.H.N ) hardness فى صناعة الصمامات ويغطى عمود الصمام بطبقة من الكروم ، Cr ويغطى سطحه المعرض للغازات بطبقة من النيكل والكروم Ni Cr ،كما تغطى قاعدته بسبيكة الستيليت. Stellite

**Stellite : 40 % Co – 25% Cr – 15 – 20 % Wo**

وتصنع صمامات العادم فى محركات الطيران من الصلب المطروق وتكون مجوفة من الداخل ويملأ حوالى ٦٠% من حجم التجويف بالصوديوم لتبريدها وتصل درجات حرارة الصمام إلى القيم المغطاه

تقاس عادة بتقدير درجة الصلادة ( H . B . N) وبخار الصوديوم يصل ضغطة داخل الصمام لأن درجة غليان حوالى ٨٠٠ ٥ م.

فى المحركات المبردة بالهواء يتعرض صمام العادم لاجهادات حرارية أعلى من المبرد بالماء لذا يلزم زيادة الزعانف المبردة حول صمام العادم لخفض درجة حرارته

## ملحوظة:

يصنع صمام الدخول من صلب أقل صلابة نسبيا من نظيرة صمام العادم نظرا لأنه معرض للتسخين الشديد بواسطة غازات العادم الساخنة . فإذا حدث خطأ ما فى ضبط توقيت صمام الدخول بحيث يصير مفتوحا بعض الشىء ستهرب الغازات الساخنة إلى داخل جسم الصمام يسخن الساق تحدث إجهادات عنيفة فى منطقة تلاقى الساق بالقاعدة يسبب شروخا تؤدى إلى كسر الصمام.

وفى إحدى هذه الحالات إختبرت القاعدة المكسورة عن تلاقيها بالساق فوجد أن درجة الصلابة B.H.N بلغت ٣٠٠ عند سطح الكسر فى حين أنها ٤٠٠ عند سطح القاعدة المعرض لغرفة الاحتراق مما يدل على إضعاف منطقة الكسر.

# تصميم كامة الصمام-:

عند تصميم الكامة Cam التى تحرك الصمام ، يراعى ما يلى:

أقصى قيمة لعجله 2 600 m/sec Follower

أقصى قيمة لعجله 1400 m/sec Pushrod 2

# تصميم الياات: Springs

أقصى إجهاد مسموح به ٤٠-٥٠ بار

# تصميم غرف الاحترا ق-:

فى محركات الديزل السريعة تستخدم عدة طرق لتقليل التأخير فى إشتعال الوقود ونسبة الاحتراق ومن المعروف أن التأخير فى الاشتعال قد يؤدى إلى حدوث ضغوط ذاتية كبيرة جدا

# نظام الغرفة المفتوحة The open chamber

فى هذا النظام يكون رأسى الاسطوانة مقعر . وخلط الوقود بالهواء يتم بجعل الهواء يدور حلزونيا أو بجعله يتحرك من ا لحافه الخارجية للمكبس إلى المركز.

# نظام غرفة الاشتعال الابتدائى -:

# The pre-compustion chamber

وهى تكون عادة جزء من رشاش الوقود وقد تكون جزء من رأس الاسطوانة ويحقن الوقود فى غرفة الاشتعال الابتدائى والتى تكون ٢٥% - ٤٠% من حجم الخلوص فى نهاية مشوار الضغط وبمقارنة هذا النوع ذو الغرفة المفتوحة وجد أن لها المميزات التالية:

أ- تحتاج إلى ضغط أقل لحقن الوقود.

ب- المقدرة على إستخدام مدى واسع من الوقود.

ج- ومن عيوبها الاستهلاك النسبى للوقود.

# نظام غرفة الاشتعال الدوامية -:

# Turblance Chamber

-1وقد يسمى هذا النظام بنظام غرفة الاشتعال الابتدائى والعكس صحيح وهذا لأنها متماثلة ببعض الشىء ، وكلاهما محيط برشاشات الحقن.

-2 فى شوط الضغط فإن الهواء يدخل إلى الغرفة فى حركة دائرية وعندما يتم الاحتراق يحدث سريان معاكس وتندفع الغازات من الغرفة إلى الاسطوانة.

-3نلاحظ أن فعل التدويم يتناسب مباشرة مع سرعة المحرك ويلاحظ أن هذه الغرفة مثل غرفة الاشتعال الابتدائى لا تبرد بمياه التبريد وبذلك يعطى الهواء الداخل كمية كبيرة من الحرارة وهذا يحس من الاحتراق.

# نظام غرفة الاشتعال الاضافية -:

# The auxiliarg chanber

-1وهذه تسمى بغرفة الهواء أو غرفة الطاقة حسب موضعها فى المكبس أو الاسطوانة وعموما هذه الغرفة تكون بعيدة عن رشاشات الحقن بالغرفة المرفقة بالاسطوانة تكون النوع الشائع والأفضل فى عمليات الصيانة.

-2 وفى التشغيل نجد أن حوالى ٦٠% من الوقود المندفع من الرشاشات يوجه إلى الغرفة الاضافية والتى تحتوى على ١٠% تقريبا من حجم الخلوصى واللهب الناتج من إحتراق الوقود فى الغرفة الاضافية يوجه إلى بقية الوقود المحروق من الرشاش وبالتالى مخلوط الوقود والهواء فى جميع فراغات الاسطوانة.

-3وقد يضاف فعل تدويم إلى حركة الهواء والوقود عند غرفة رأس المكبس فى وسط المسافة بين الغرفة الاضافية ورشاشات الحقن.

٤- ويلاحظ أن الدقة والاعتناء برشاشات الحقن يجب أن يكون أكبر من الأنواع الأخرى – وذلك لأن الوقود يجب أن يوجه بدقة إلى فتحه صغيرة والتى تكون بعيدة عدة بوصات عن الرشاش.