المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص تقنية الآلات الزراعية

محركات الديزل

(نظري)

١٧٢ ثقل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " محركات ديزل " لمتدربي قسم" تقنية الآلات الزراعية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

محركات ديزل

أساسيات محركات الديزل

الجدارة :

- التعرف على دورة المحرك الرباعية والعمليات التي تحدث في هذه الدورة .
- التعرف على دورة المحرك الثنائية والعمليات التي تحدث في هذه الدورة .
- التعرف على تقسيمات (تصنيف) محركات الديزل وكيفية حدوث عمليات الاحتراق داخل أسطوانة المحرك .
- التعرف على وقود الديزل وخصائصه وتأثيراته على عملية الاحتراق وكذلك مراحل عملية الاحتراق .
- التعرف على الطرق ومسبباته والأضرار الناتجة منه .

الأهداف :

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على :

١- معرفة دورة المحرك الرباعية .
٢- معرفة دورة المحرك الثنائية .
٣- معرفة تقسيمات (تصنيف) محركات الديزل .
٤- معرفة كيف يحدث الاحتراق داخل أسطوانة المحرك .
٥- معرفة التركيبة الكيميائية لوقود الديزل .
٦- معرفة خصائص وقود الديزل وتأثيره على عملية الاحتراق .
٧- معرفة مراحل عملية الاحتراق .
٨- معرفة الطرق وأسبابه وتأثيره .

مستوى الأداء المطلوب :

- أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ٩٠٪ .

الوقت المتوقع للتدريب : ٢ ساعة .

الوسائل المساعدة :

- جهاز لعرض شرائح الصور والجداول والمنحنيات .

متطلبات الجدارة :

- تخطي مقرر تقنية المعدات الثقيلة .

مقدمة

هذه الحقيبة تمثل المدخل الأساسي والرئيس لمعرفة محركات الديزل من جوانب متعددة حيث سيتم دراسة : دورتي المحرك (الرباعية ـ الثنائية) الأشواط وتقسيمات (تصنيف) محركات الديزل حسب مجالات كثيرة منها : نوع دورة التشغيل ، فعالية المكبس ، عدد الأسطوانات ، ترتيب الأسطوانات ، سرعة المحرك وقدرته . . . إلخ .

كما سيتم معرفة الفروق الفنية التي تخص محركات الديزل عن محركات البنزين بالإضافة إلى شرح عمليات الاحتراق وكل ما يختص بداخل محركات الديزل وخواص وقود الديزل وكيفية تحديد رقم السيتان الخاص بتحديد جودة وقود الديزل ، وكذلك معرفة الطرق ومنع حدوثه بمحركات الديزل .

الدورة الرباعية لمحركات الديزل

يعمل محرك الديزل بدورة ثنائية ودورة رباعية وهنا سوف نبدأ بالدورة الرباعية لانتشارها في محركات الديزل ، وبعد إكمال هذه الدورة سيتم الحديث عن الدورة الثنائية وكيفية الأشواط بها .

يعمل محرك الديزل ذو الدورة الرباعية بأربع أشواط :

١- شوط السحب : يتم سحب الهواء فقط بكمية تعتمد على أبعاد الأسطوانة وشكل تصميم مجاري السحب .

٢- شوط الضغط : يتم فيه ضغط الهواء الموجود بداخل الأسطوانة .

أ- نسبة انضغاط المحرك حوالي ٢٠ : ١ في المحركات المزودة بالشاحن التربيني .

ب- نسبة الانضغاط ١٨ : ١ في المحركات العادية .

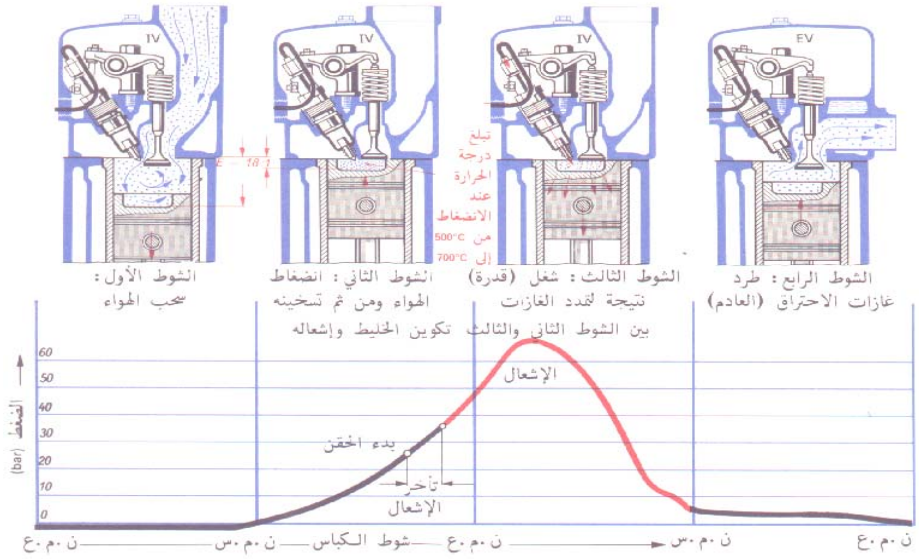
ج- ضغط الانضغاط ٣٠- ٥٥ بار تقريباً .

د- درجة حرارة الهواء ٥٠٠- ٧٥٠ درجة مئوية تقريباً .

كل هذا يساعد على اشتعال الوقود ذاتياً عند حقنه .

٣- شوط القدرة : يتم فيه الاستفادة من الشغل الناتج من عملية الاحتراق وهو (الشوط الموجب) .

٤- شوط العادم : يتم فيه طرد الغازات الناتجة عن عملية الاحتراق .

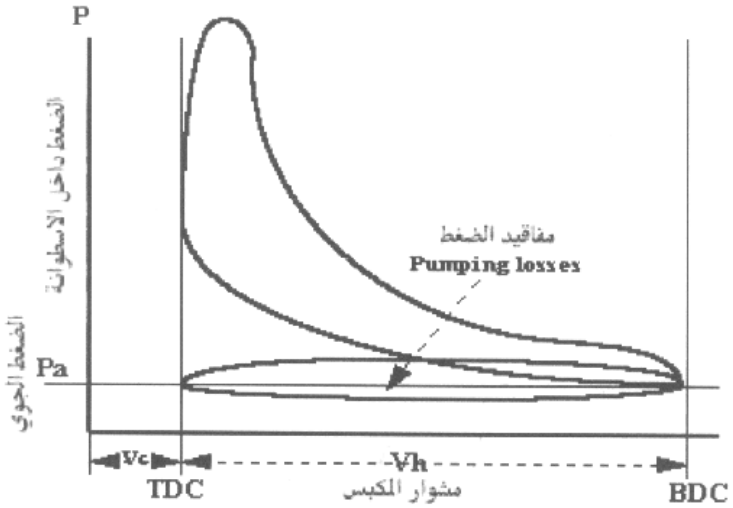


طريقة عمل محرك الديزل

ومنحني تغير الضغط في الأسطوانة

دورة المحرك الحقيقية :

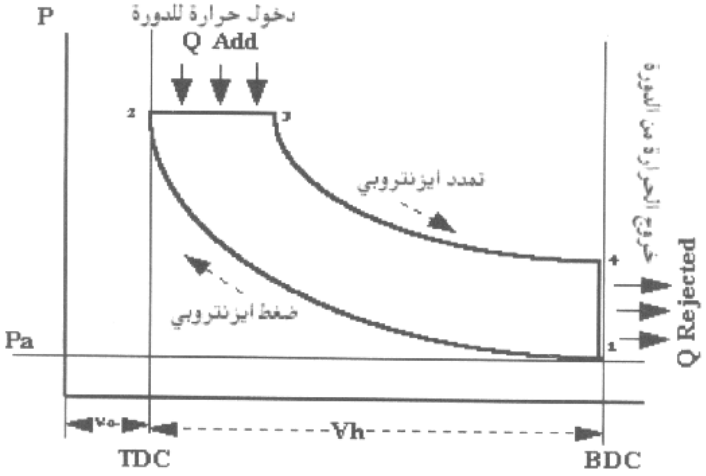
ويعني ذلك اختلاف الضغوط بداخل أسطوانة المحرك وغرفة الاحتراق خلال الأشواط الأربعة شكل (١) .



شكل (١)

دورة المحرك القياسية :

ويعني ذلك التبادل الحراري بداخل أسطوانة المحرك خلال الأشواط الأربعة ، شكل (٢) .



شكل (٢)

نسبة خلط الهواء إلى الوقود في محركات الديزل

يحتوي وقود الديزل التجاري على نسب صغيرة من الكبريت والنيتروجين والأكسجين الذي يعمل على خفض كمية الهواء اللازمة لإحراق وقود الديزل .

لذلك نجد أن نسبة خلط الوقود بالهواء تبلغ ١ : ١٤,٥ للوقود التجاري .

وبمعرفة النسبة النظرية لخلط الهواء بالوقود يمكن تحديد وزن أقل كمية من الهواء يلزم دخولها إلى أسطوانة المحرك لحرق كمية معينة من الوقود .

إلا أن هذه الكمية من الهواء لا تكفي لإحراق الوقود إحراقاً كاملاً في محرك الديزل نظراً لبعض الصعوبات الفنية التي تمنع بعضاً من أكسجين هذا الهواء من المساعدة في عملية الاحتراق .

ومن أهم هذه الصعوبات :

١- مشكلة خلط الهواء بالوقود خلطاً كاملاً قبل بدء الاحتراق ومنشأ هذه المشكلة هو ضخامة كمية الهواء بالنسبة للوقود ، حيث كل قطرة من الوقود تدخل غرفة الاحتراق يجب أن يتم خلطها بكمية من الهواء يبلغ حجمها تقريباً ٩٠٠ مرة حجم تلك القطرة .

٢- يجب أن يتم الخلط في زمن قصير جداً يبلغ جزءاً من الثانية تقريباً .

٣- وجود بعض غازات العادم المتخلفة في غرفة الاحتراق مما يُعطل احتراق الوقود المجاور لها .

يتضح مما سبق أنه لضمان احتراق الوقود كاملاً ينبغي تزويد محرك الديزل بكمية من الهواء تزيد عن تلك التي تحددها النسبة النظرية للخلط بحوالي ٢٠٪ إلى ٣٠٪ تقريباً ، وتسمى النسبة الجديدة للخلط بالنسبة الفعلية لخلط الهواء بالوقود وهي تتغير عادة تبعاً لدرجة حمل المحرك .

خطوات احتراق وقود الديزل داخل المحرك

يتوقف نجاح الاحتراق دخل غرفة احتراق محرك الديزل على توفر الشروط التالية :

١. دقة التذرير .
٢. ارتفاع السرعة النسبية بين قطرات الوقود وجزئيات الهواء .
٣. ارتفاع درجة الحرارة إلى الحد اللازم لإشعال الخليط في موعده المحدد .
٤. الخلط الجيد لقطرات وقود الأوكسجين .

وتتم تذرية الوقود واندفاعه وانتشاره بواسطة أجهزة الحقن والتحكم بدرجة حرارة الخليط عن طريق نسبة الانضغاط وأبعاد الأسطوانة وطريقة تبريدها ويعتمد الخلط الجيد للوقود مع الهواء على أجهزة الحقن والشحن وشكل حيز الاحتراق المحصور بين رأس الأسطوانة وجدارها وأعلى المكبس .

وللاحتراق خطوات يجب أن تتم على التوالي وهي كالتالي :

أولاً : حقن الوقود :

يتم حقن الوقود بداخل غرفة الاحتراق بمحرك الديزل بواسطة مضخة الحقن وعبر الرشاش ويتوقف جودة التذرية على :

١. عدد ثقوب الرشاش (غالباً محرك حقن مباشر) .
٢. الحالة الفنية لأجزاء منظومة الحقن :
(الرشاش ـ مضخة الحقن ـ مضخة التحضير ـ أنابيب التوصيل ـ المنقيات) .
٣. نوعية وخصائص الوقود المستخدم .
٤. موضع الرشاش بداخل غرفة الاحتراق .

ثانياً : حركة الهواء :

لخلط الوقود بالهواء خلطاً جيداً يجب توافر عامل مهم هو تحرك الهواء في غرفة الاحتراق أثناء دخول الوقود ويحدث في معظم غرف الاحتراق حتى في أبسطها نوع من الإثارة وتقليب للهواء كافٍ للمحركات ذات الأسطوانات الكبيرة .

إلا أن المحركات ذات الأسطوانات الصغيرة تحتاج إلى أنواع خاصة من غرف الاحتراق بها شروط معينة يتم بواسطتها إعداد خليط من الوقود والهواء للاحتراق الكامل في فترة زمنية قصيرة .

ثالثاً : درجة الحرارة :

تتحكم نسبة الانضغاط في المحرك وأبعاده في رفع درجة حرارة الخليط إلى الحد اللازم لاشتعاله فوراً .

رابعاً : تبخر الوقود :

يدخل وقود الديزل مندفعاً إلى غرفة الاحتراق ويتناثر بداخلها على هيئة ضباب بواسطة الرشاش وهناك تتقابل ذرات الوقود مع الهواء الذي يملأ الأسطوانة والذي ارتفعت درجة حرارته نتيجة للانضغاط إلى ٧٠٠ درجة مئوية تقريباً لذلك ترتفع درجة حرارة الوقود ويتبخر ومن ثم يختلط مع الهواء جيداً ، بالتالي يبدأ بعضه في الاشتعال الذاتي الذي يسبب مزيداً من الحرارة فتساعد بدورها على إشعال بقية الوقود المتبخر ولكن قبل ذلك يجب أن يتم تبخر الوقود وخلطه جيداً بالهواء ثم اشتعاله في وقت قصير جداً داخل الأسطوانة .

يسبق إشعال الوقود تحوله إلى الحالة الغازية أي تبخره ويساعد هواء الانضغاط على إمداد الوقود بالحرارة اللازمة لذلك كما ذكر سابقاً إلا أنها لا تكفي وحدها لإتمام تبخره في جزء صغير من الثانية قد يصل إلى القليل من أجزاء الثانية وأحياناً إلى أجزاء من الألف من الثانية ويبدأ تبخر الوقود السائل عادة من سطحه الخارجي ومن ثم فإنه للإسراع في تبخره يجب تشتيت الوقود إلى عدد كبير من القطيرات الصغيرة جداً بغية الحصول على أكبر سطح يتعرض للحرارة كما أن هذه القطيرات يجب أن تنتشر بعيداً عن بعضها وبمساحة أكبر قدر الإمكان حتى تلامس كل قطرة منها الهواء الساخن حتى نضمن عدم تداخلها في بعضها مما يعطل التبخر الكلي للوقود .

خامساً : اشتعال الوقود :

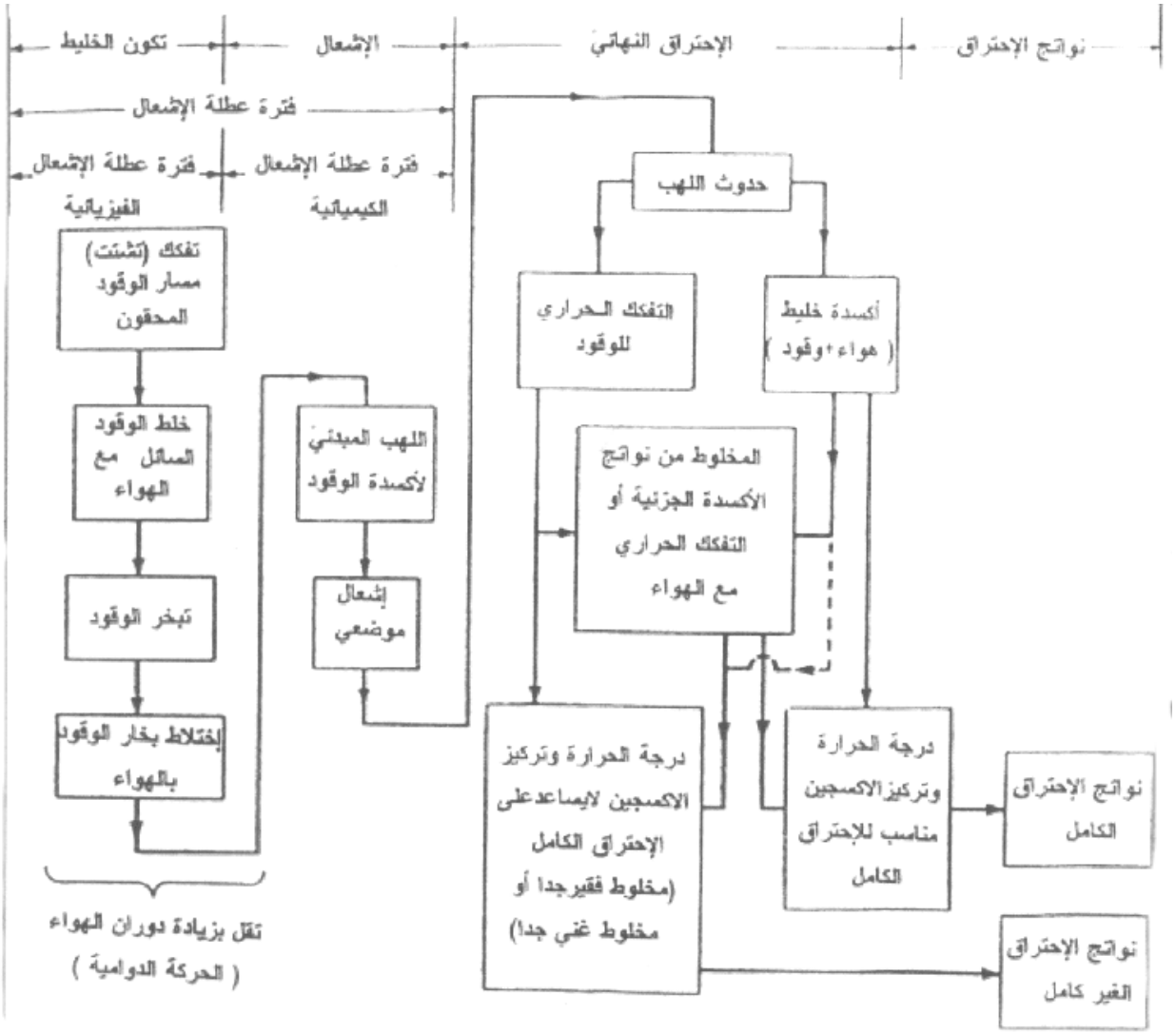
يشتعل بخار الوقود بمجرد أن يتكون الخليط وعلى ذلك يبدأ الاحتراق من السطح الخارجي لقطرة الوقود ثم يتدرج معها بعد ذلك أثناء اندفاعها خلال الهواء الساخن حيث تتحد الغازات المتكونة منها بعد تبخرها مع جزيئات الهواء القريبة منها ، أي إن خطوات الحقن ثم التبخر والخلط ثم الاشتعال تحدث بسرعة عالية جداً للنقط المتناثرة المفردة .

سادساً : البحث عن الأوكسجين :

يستمر الاحتراق ويزيد كلما قابلت قطيرات الوقود الأوكسجين النقي في طريقها وينتج عن اندفاع قطرة الوقود في سيرها تخلف الغازات المحترقة ويتعرض سطح جديد للقطرة إلى مزيد من الأوكسجين فيحترق ، وهكذا حتى استهلاك القطرة كلها غير أن كمية الأوكسجين الموجودة في الأسطوانة محدود ، فبتتابع اندفاع القطيرات تجد كل قطرة منها أوكسجيناً أقل من سابقتها ، ونتيجة لذلك تجد القطيرات الواصلة في آخر فترة الحقن صعوبة في إيجاد الأوكسجين اللازم للاحتراق الكامل السريع مما يسبب

بطئاً عملية الاحتراق عند مراحلها الأخيرة .

ويبين الشكل (٣) مخططاً لعملية الاحتراق لمحركات الديزل .



شكل (٣) مخطط لعمليات الاحتراق في محرك الديزل

الدورة الثنائية لمحرك الديزل

لا يختلف محرك ديزل ثنائي الأشواط عن محرك أوتو ثنائي الأشواط ، إلا من حيث دخول الوقود والهواء وطريقة الاشتعال داخل الأسطوانة .

بنيت فكرة محركات ديزل ثنائية الأشواط على إتمام الدورة الحرارية في شوطين فقط من أشواط الكباس ، أو بمعنى آخر في لفة واحدة فقط لعمود المرفق .

وبناء على ذلك فإن المحرك الثنائي الأشواط ذا السرعة المساوية للمحرك رباعي الأشواط في عدد اللفات في الدقيقة ، له ضعف عدد أشواط التشغيل ، ومن ثم يمكن الحصول منه على قدرة أكبر .

تستخدم مضخة ترسية سحب الهواء من الجو ودفعه إلى داخل الأسطوانة بضغط منخفض ، حيث تعمل الفجوات المحصورة بين أسنان الترسين على امتداد الجدار الداخلي لجسم المضخة على سحب الهواء الجوي ودفعه نحو المحرك بالضغط المطلوب .

كما يوجد صمامان في رأسي الأسطوانة (كما هو الحال في المحركات الرباعية تماماً) ، ولكنهما في هذه الحالة عبارة عن صمامي عادم ، بدلاً من أن يكون أحدهما عادم والآخر صمام سحب .

شكل (٤) يوضح محرك ديزل ثنائي الأشواط (ذو أسطوانة واحدة) ، ومن خلال التعرف على الترتيب العام لأجزائه ودورته الحرارية ، يمكن تطبيق ذلك على المحرك المتعدد الأسطوانات .

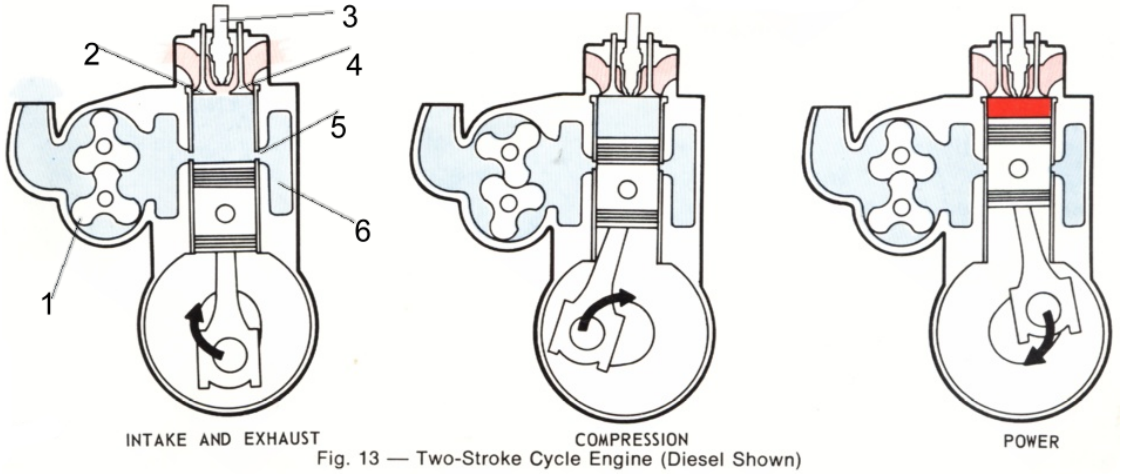


Fig. 13 — Two-Stroke Cycle Engine (Diesel Shown)

شكل (٤)

١ ـ مضخة ترسية .
٢ ـ صمام عادم .
٣ ـ الرشاش .
٤ ـ صمام عادم .
٥ ـ فتحات بجدار الأسطوانة .
٦ ـ قميص متصل مباشر بمضخة الهواء .

أشواط دورة ديزل الثنائية :

الشوطان اللازمان في دورة ديزل الثنائية لإتمام شوط فعال واحد من خلال دوران عمود المرفق دورة واحدة فقط هما كالآتي :

الشوط الأول :

نتخيل أن وضع الكباس في أسفل الأسطوانة عند B . D . C شكل (٥ أ) وعلى وشك الصعود إلى أعلى ، تكون كل فتحات دخول الهواء وصمامات العادم مفتوحة ، بذلك يندفع الهواء من المضخة الترسية إلى الأسطوانة عن طريق الفتحات المتجاورة في جدار الأسطوانة ، ويعمل الهواء المضغوط بضغط منخفض على دفع غازات العادم المتخلفة من الدورة السابقة خارج الأسطوانة عن طريق صمامي العادم . وعندما يتحرك الكباس إلى أعلى قاطعاً ما يقرب من ربع الشوط ـ شكل (٥ ب) ، يغلق صماما العادم كما تغلق فتحات دخول الهواء حيث يكون الكباس قد غطاها ، في هذه الحالة تكون غازات العادم قد طردت جميعها ، وملئت الأسطوانة بالهواء النقي . يرتفع الكباس إلى أعلى حيث يعمل على حصر الهواء في حيز صغير عند قمة الأسطوانة ، وقبل وصول الكباس إلى T . D . C يحقن الوقود من الرشاش المزود بمنفس متعدد الثقوب ليناثر الوقود على هيئة رذاذ وينتشر مع الهواء المضغوط الساخن فيحترق ، في هذه الحالة يكون عمود المرفق قد دار نصف لفة ١٨٠° .

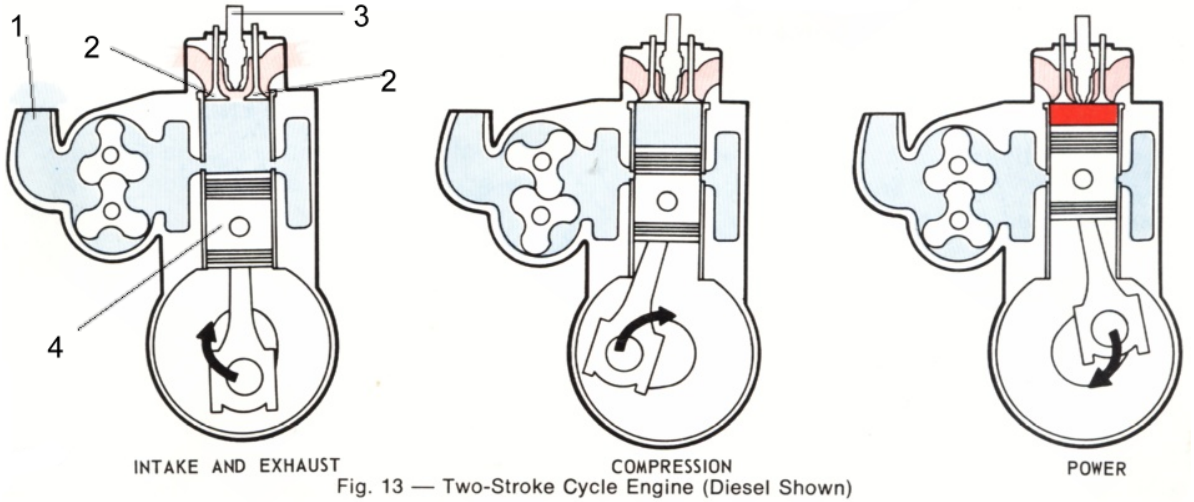


Fig. 13 — Two-Stroke Cycle Engine (Diesel Shown)

شكل (٥ أ) (٥ ب)

١ – دخول الهواء الجوي إلى المضخة الترسية .
٢ – خروج غاز العادم .
٣ – الرشاش .
٤ – المكبس عند النقطة الميتة السفلى .

الشوط الثاني :

تتمدد الغازات نتيجة لاحتراق الهواء الساخن والوقود ، ويدفع ضغط حريق الغازات الكباس إلى أسفل في شوط القدرة (الشوط الفعال) شكل (٦ أ) .

وعندما يتحرك الكباس إلى أسفل قاطعاً ما يقرب من ٤/٣ الشوط تقريباً تفتح صمامات العادم لبدء تصريف الغازات المحترقة التي ما زالت ذات ضغط مرتفع قليلاً ، حيث تخرج غازات العادم إلى الجو من خلال فرق الضغطين (الضغط داخل الأسطوانة ، والضغط الجوي) .

وعندما يتحرك الكباس إلى أسفل كثيراً ، تظهر فتحات دخول الهواء تدريجياً ليندفع الهواء النقي المضغوط إلى داخل الأسطوانة شكل (٦ ب) ونتيجة لذلك تكسح الغازات المحترقة كلية عن طريق صمامي العادم ، وعندما يصل الكباس إلى B . D . C تكون قد اكتملت الدورة الحرارية للمحرك ، وفي هذه الحالة يكون عمود المرفق قد تحرك حركة دائرية قدرها ٣٦٠° أي لفة كاملة .

ويبدأ تحرك الكباس إلى أعلى تدريجياً في دورة حرارية أخرى . . . وهكذا .

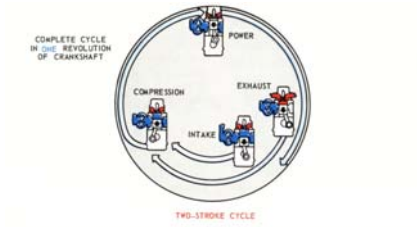


Fig. 12 — Two-Stroke And Four-Stroke Cycles Compared

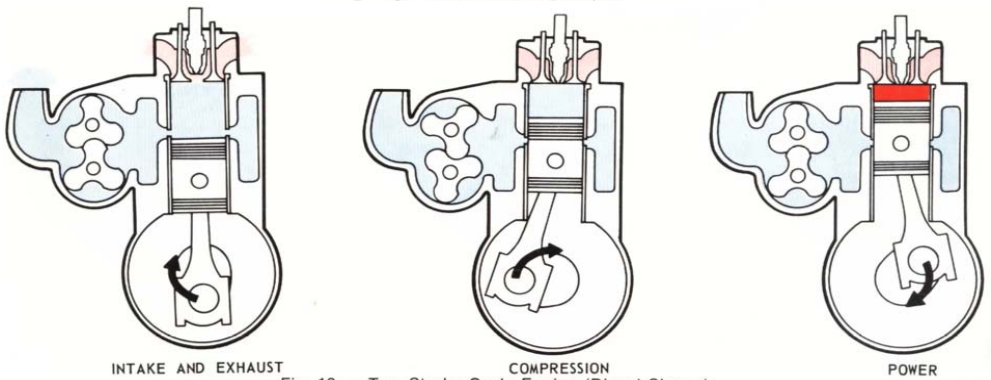


Fig. 13 — Two-Stroke Cycle Engine (Diesel Shown)

شكل (٦ أ) (٦ ب)

مقارنة بين المحركات الرباعية والمحركات ثنائية الأشواط

المحركات رباعية الأشواط	المحركات ثنائية الأشواط
١. دورة شغل واحدة تتم في دورتين لعمود المرفق (أربعة أشواط للكباس) .	١. دورة شغل واحدة تتم في دورة واحدة لعمود المرفق (شوطان للكباس) .
٢. المحرك يكون أكبر حجماً لنفس القدرة .	٢. المحرك يكون أقل حجماً لنفس القدرة .
٣. نسبة الوزن إلى قدرة المحرك أكبر من 2.5 kg\kw إلى 6.5 kg\kw	٣. نسبة الوزن إلى قدرة المحرك من 2.5 kg\kw إلى 4 kg\kw
٤. نسبة القدرة إلى الحجم من 20 kw\l إلى 50 kw\l	٤. نسبة القدرة إلى الحجم من 25 kw\l إلى 45 kw\l
٥. سرعة الدوران للشحن تتراوح من 3000 rpm إلى 5000 rpm نسبة الشحن من 70% إلى 80% ويبلغ الضغط الفعال 10 bar .... pedd = 7 bar	٥. سرعة الدوران للشحن تتراوح من 4000 rpm إلى 6000 rpm نسبة الشحن من 50% إلى 70% ويبلغ الضغط الفعال 5 bar .... pedd = 3 bar
٦. معدل الاستهلاك النوعي للوقود من 280 g\kw.h إلى 430g\kw.h	٦. معدل الاستهلاك النوعي للوقود من 400 g\kw.h إلى 600 g\kw.h
٧. عزم الدوران غير منتظم نظراً لأن دورة الشغل تكون من شوط شغل واحد وثلاثة أشواط خالية من الشغل .	٧. عزم دوران منتظم ومن ثم يعطي قدرة سحب أفضل ، في حالة سرعة عدم التحميل (عند دوران المحرك بدون تعشيق التروس) .
٨. تجهيز العادم أكثر بساطة في التصميم ولا يشاهد دخان احتراق في العادم .	٨. تجهيز العادم أكثر صعوبة في التقسيم وأكثر حساسية ، و يشاهد دخان احتراق بالعادم .

تصنيف محركات الديزل :

تُصنف محركات الإشعال بالضغط أو محركات الديزل إلى عدة تصنفات منها :

١. حسب نوع دورة المحرك :

أ- دورة ثنائية (ذو شوطين) .

ب- دورة رباعية (ذو رباعي الأشواط) .

٢. فعل المكبس : شكل (٧) .

أ- محرك ذو مكبس مفرد الفعل (الضغط من جهة واحدة) .

ب- محرك ذو مكبس مزدوج الفعل (الضغط من جهتين) .

ج- محرك ذو مكبس متقابلة الفعل (الضغط يكون بينهما) .

٣. توصيل المكبس : شكل (٧) .

أ- محرك ذا مكبس جذعي .

ب- محرك ذا مكبس متصل برأس صليبي .

٤. عدد الأسطوانات .

يعتمد عدد الأسطوانات للمحرك على القدرة المطلوبة منه ، لذلك تنتج المحركات لتحتوي على ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٨ ، أو ١٢ أسطوانة على حسب الغرض من الاستخدام ، ينتج أيضاً محركات تعمل بأسطوانة واحدة ، شركات تصنيع المحركات تحاول عمل اتزان بين القدرة المطلوبة من المحرك واقتصاديات استهلاك الوقود والوزن وخصائص التشغيل ، و المحركات التي تنتج بعدد كبير من الأسطوانات تكون متزنة في الدوران عن المحركات قليلة عدد الأسطوانات .

٥. ترتيب الأسطوانات : شكل (٨) .

أ- محرك مستقيم الأسطوانات .

ب- محرك أسطواناته على شكل حرف (V) .

ج- محرك منبسط الأسطوانات .

د- محرك قُطري الأسطوانات .

٦. ترتيب (تركيب) الصمامات : شكل (٩) .

أ- محرك صماماته على شكل حرف (I) .

ب- محرك صماماته على شكل حرف (L) .

ج- محرك صماماته على شكل حرف (F) .

د- محرك صماماته على شكل حرف (T) .

٧. طريقة (نظام) حقن الوقود :

أ- محرك بحقن هواء .

ب- محرك بحقن ميكانيكي .

٨. طريقة (نظام) تبريد المحرك :

أ- محرك مُبرد بالهواء .

ب- محرك مبرد بالماء .

٩. سرعة المحرك :

أ- محرك بطيء ١٠٠٠ لفة في الدقيقة .

ب- محرك متوسط ١٠٠٠ – ٢٥٠٠ لفة في الدقيقة .

ج- محرك سريع ٦٠٠٠ لفة في الدقيقة .

١٠. حسب الاستخدام :

أ- محرك سيارة ركوب .

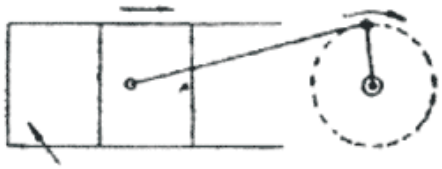
ب- محرك للشاحنات وسيارات الجر .

ج- محرك للسفن .

١١. القدرة :

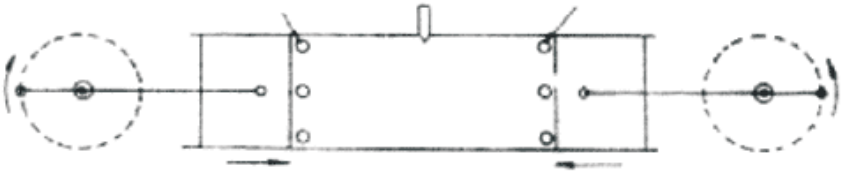
القدرة هي حاصل ضرب العزم في عدد لفات عمود المرفق .

القدرة من العوامل التي تحدد الخواص الخارجية للمحرك .



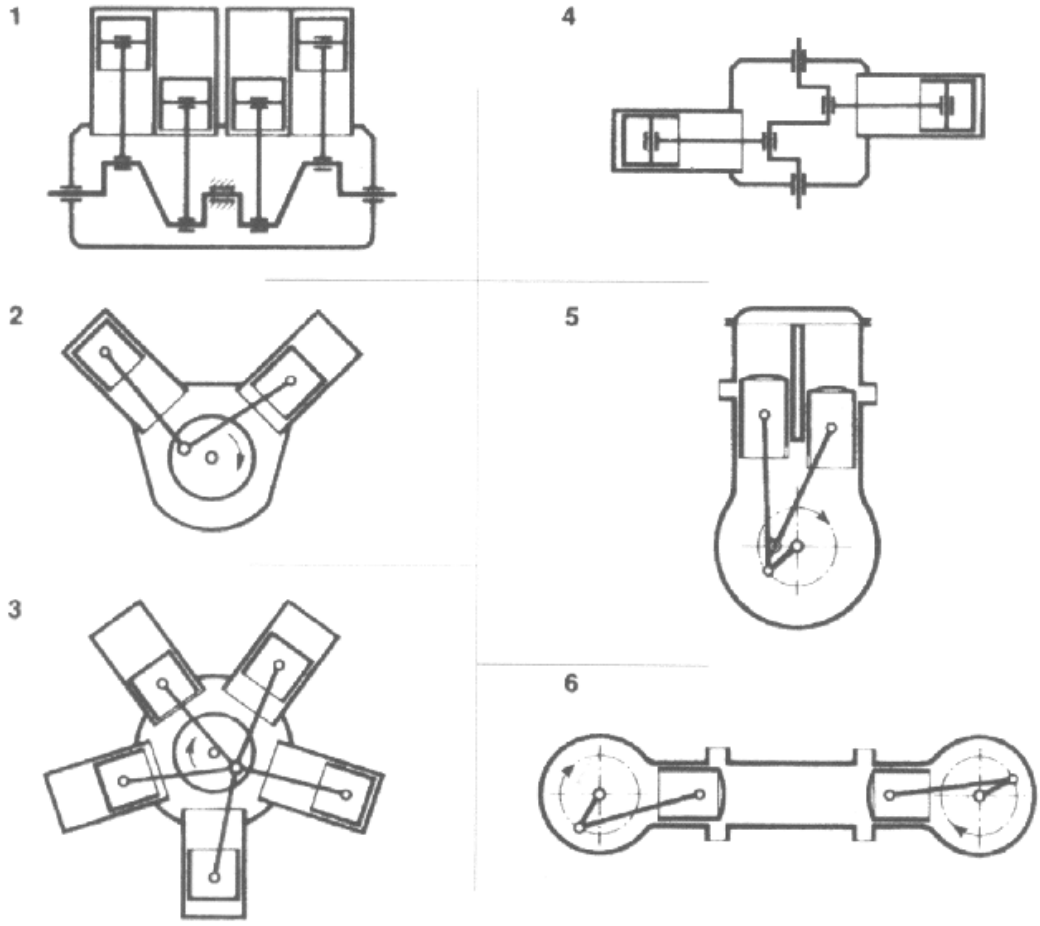
محرك ذو مكبس مفرد الفعل (مكبس جذعي)

محرك ذو مكبس مزدوج الفعل (متصل برأس صليبي)



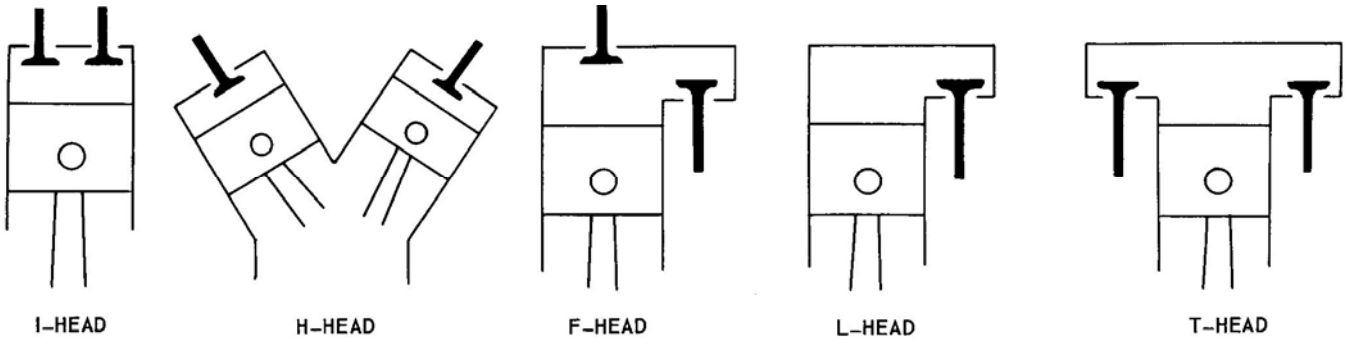
محرك ذو مكباس متقابلة الفعل

شكل (٧)



شكل (٨)

١. محرك مستقيم الأسطوانات .
٢. محرك أسطوانات بشكل V .
٣. محرك قطري الأسطوانات .
٤. محرك منبسط الأسطوانات .
٥. محرك ثنائي الدورة .
٦. محرك متقابل المكابس .



شكل (٩)

مجالات استخدام محرك الديزل

تُستخدم محركات الديزل في مجالات كثيرة يصعب حصرها لتعددها وتطور الحاجة لها ، منها :

١. النقل :

التنقل داخل المدينة كما في سيارات الركوب الصغيرة أو التنقل بالسفر بين المدن أو الدول كالحافلات الكبيرة ، وتستخدم بشكل أساسي في نقل البضائع والمواد الغذائية وأيضاً تستخدم بمجال واسع في السفن التي تقوم بشتى المجالات . .

٢. الزراعة :

تستخدم محركات الديزل بشكل كبير في النشاطات الزراعية كالحراثات وطواحين المحصول وبشكل أساسي في مضخات الري .

٣. الإنشاءات والبناء :

كالشاحنات الكبيرة التي تقوم بنقل مستلزمات البناء وأيضاً الحفارات .

٤. محطات توليد الكهرباء :

تعتمد كل منشأة على مولدات احتياطية لتوليد الكهرباء عند حدوث انقطاع مفاجئ للكهرباء العامة وعادة ما تكون هذه المولدات تعتمد على محركات ديزل .

وتستخدم بمجال ضيق في الطائرات المروحية وضواغط الهواء .

مميزات محركات الديزل :

١. نتيجة لزيادة نسبة الانضغاط في محركات الديزل تزداد الكفاءة الحرارية للمحرك وينخفض المعدل النوعي لاستهلاك الوقود .
٢. قلة حدوث مخاطر حريق باستخدام وقود الديزل لعدم خلط الوقود بالهواء خارج غرفة الاحتراق وليس كما في محركات البنزين .
٣. توليد عزم دوران كبير عند السرعات المنخفضة .
٤. نواتج احتراق أقل ضرراً نسبياً من محركات البنزين .
٥. تُستخدم لتوليد الطاقة الكهربية بعيداً عن منابع الماء .
٦. طول عمر المحرك الافتراضي .
٧. استخدام وقود رخيص في المحركات الثابتة (وقود ذو جودة منخفضة) .

عيوب محركات الديزل :

١. كبر وزن محركات الديزل للأسباب التالية :
   أ- نسب عالية لمعامل زيادة الهواء مما يؤدي إلى زيادة أبعاد الأسطوانة .
   ب- ارتفاع قيمة الضغط الأقصى داخل الأسطوانة مما يؤدي إلى ضرورة استعمال تصميمات ثقيلة الوزن .
   ج- قصر الفترة الزمنية المتاحة للحقن : تؤدي إلى خفض كفاءة عملية الخلط بين وقود الديزل والهواء ، ولذلك تستخدم نسب عالية لمعامل نسبة زيادة الهواء وكذلك تصميمات معقدة لغرف الاحتراق وذلك لضمان اختلاط ذرات الوقود مع الهواء بقدر الإمكان وبالتالي الوصول إلى احتراق كامل ، وهذا ما يسبب زيادة في سعر محرك الديزل .
٢. ظهور الدخان عند الأحمال المختلفة .
٣. دقة صيانة منظومة الحقن .
٤. بدء دوران بصعوبة في الأجواء الباردة .

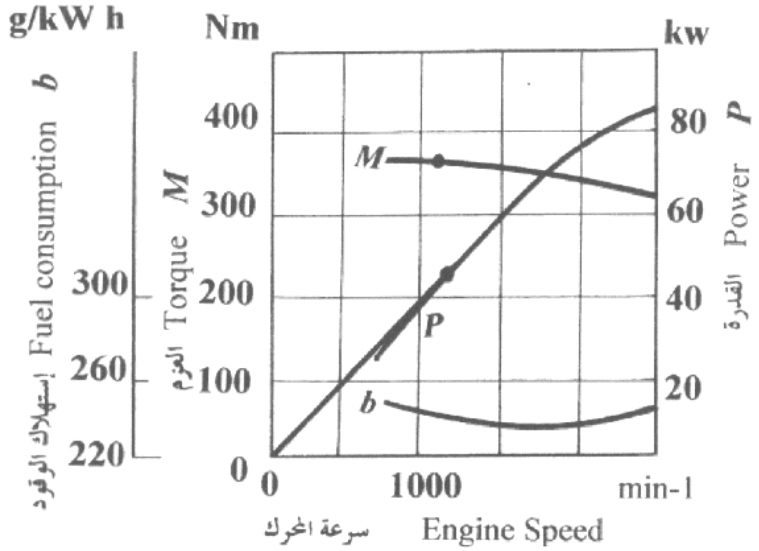
مقارنة فنية بين محرك الديزل ومحرك البنزين

الرقم	وجه المقارنة	محرك بنزين	محرك ديزل
١	استهلاك الوقود .	١٠٠٪	٧٠٪
٢	درجة حرارة الاشتعال الذاتي .	٤٥٠- ٥٥٠دم	٣٥٠ — ٣٨٠ م
٣	متطلبات الوقود .	مقاوم للاشتعال	قابل للاشتعال
٤	نقطة الوميض .	- ٢٥ د.م	أعلى من ٥٥ م
٥	نسبة الانضغاط .	٦ : ١ — ١٢ : ١	١٤ : ١ — ١ : ٢٢
٦	القيمة الحرارية .	منخفضة	مرتفعة
٧	درجة الحرارة النهائية للانضغاط .	٤٠٠ — ٦٠٠ د . م	٧٠٠ — ٩٠٠ م
٨	الحد الأقصى لضغط الاحتراق .	٣٠ — ٦٠ بار	٥٦ — ٩٠ بار
٩	درجة الحرارة القصوى للاحتراق .	٢٠٠٠ — ٢٥٠٠ د.م	٢٠٠٠ — ٢٥٠٠ م
١٠	درجة حرارة غازات العادم عند الحمل الكامل.	٧٠٠ — ١٠٠٠ د.م	٥٠٠ — ٦٠٠ م
١١	عزم الدوران عند الأحمال المنخفضة .	منخفض	مرتفع

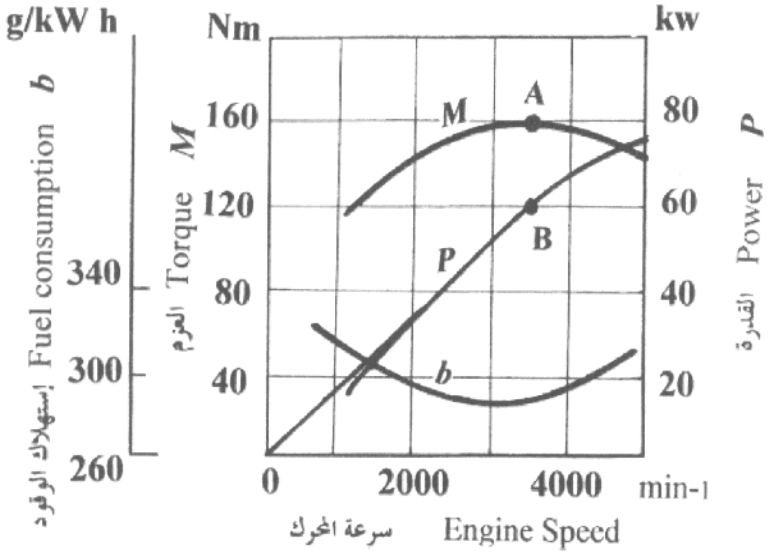
عند القيام بمقارنة بين محرك الديزل ومحرك البنزين من حيث العزم المستنتج من كليهما نلاحظ أن أهمية استخدام محركات الديزل تكمن في أنها تنتج عزوم كبيرة عند سرعات دوران منخفضة .

شكل (١٠) يوضح منحنيات الأداء لمحرك ديزل وآخر يمثل محرك بنزين لكل من القدرة واستهلاك الوقود والسرعة والعزم عند حمل ثابت ، وشكل (١١) يوضح الأداء لنفس المحركين لكل من العزم واستهلاك الوقود والسرعة ولكن عند أحمال مختلفة .

منحنيات الأداء لمحرك ديزل وآخر بنزين عند حمل ثابت



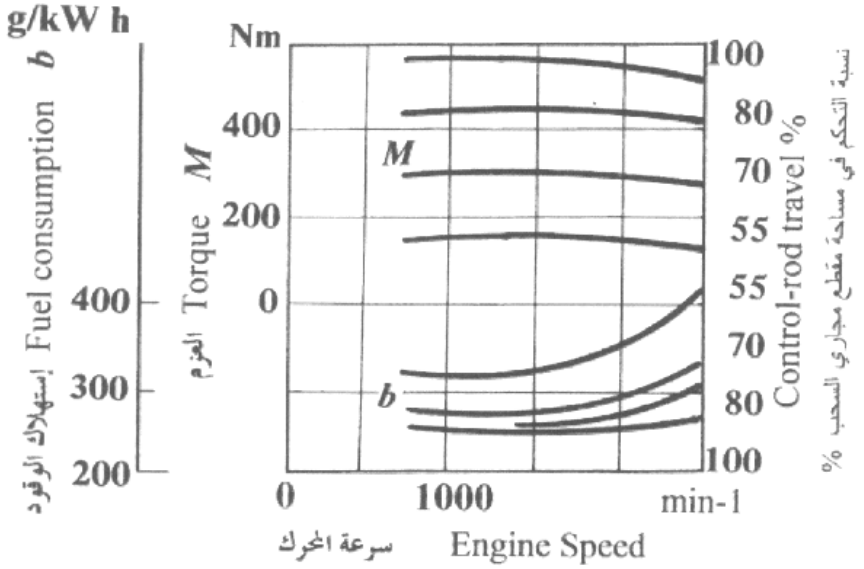
منحنى الأداء لمحرك ديزل



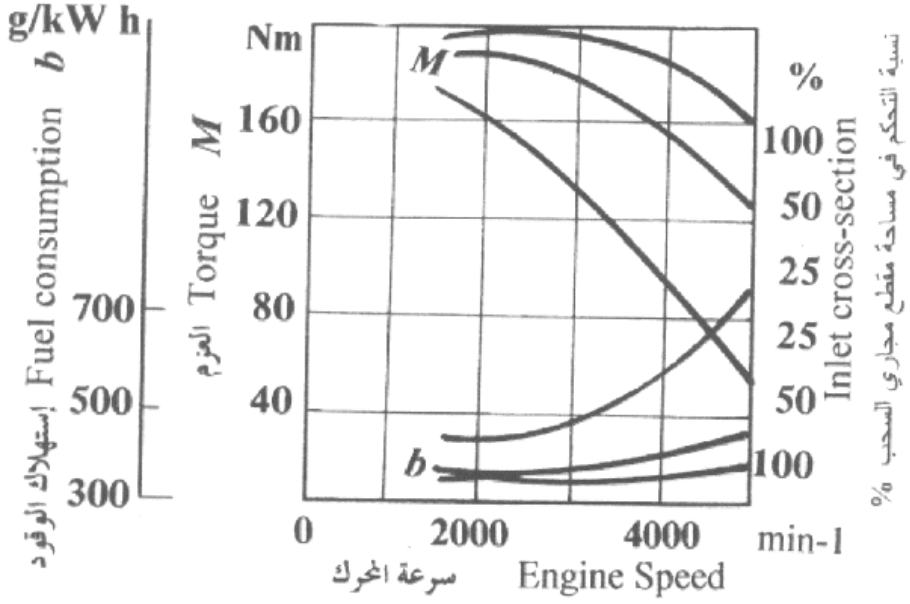
منحنى الأداء لمحرك بنزين

شكل (١٠)

منحنيات الأداء لمحرك ديزل وآخر بنزين عند أحمال مختلفة



منحنى الأداء لمحرك ديزل عند أحمال مختلفة



منحنى الأداء لمحرك بنزين عند أحمال مختلفة

شكل (١١)

مكونات وقود الديزل :

يتكون وقود الديزل من سوائل هيدروكربونية .

وهي مركبات كيميائية تتكون في الغالب من :

اتحاد الهيدروجين والكربون بنسب مختلفة يتوقف عليها الشكل النهائي للمركب ، فالجزيء من المركب الهيدروكربوني المسمى إيثان (رمزه الكيمائي $C2H6$) ، يتكون من اتحاد ذرتين من الكربون مع ست ذرات من الهيدروجين .

في حين أن البروبان (رمزه الكيمائي $C3H8$) يحتوي جزئيه على ثلاث ذرات من الكربون متحدة مع ثمان ذرات من الهدروجين ، ويكون الشكل النهائي لأغلب أنواع وقود الديزل على النحو التالي :

٨٧٪ كربون – ١١٪ هيدروجين – ١٪ أكسجين – ١٪ كبريت .

ولما للكبريت من آثار ضارة على المحرك لتكون حامض الكبريتيك خلال الإدارة الباردة مما يزيد من تآكل الأسطوانات لذا يجب أن تكون نسبة الكبريت أقل ما يمكن .

ملحظة :

تختلف هذه المكونات حسب مواصفات كل دولة فمثلاً في الولايات المتحدة ($C14H30$) .

خصائص وقود الديزل :

يجهز وقود الديزل من أحد مشتقات خام البترول التي تسمى أيضاً زيت الوقود الذي يستخدم في الصناعة أو داخل المنازل .

وزيت الوقود أغلى ثمناً من المركبات المماثلة الأكثر ثقلاً نظراً لتعدد استخداماته ، ولهذا فإنه في محركات الديزل الكبيرة التي يمكنها إشعال وقود الديزل الثقيلة يكثر استخدام وقود أرخص .

وتؤثر خصائص الوقود بدرجة ملحوظة في أداء محرك الديزل وتقاس هذه الخصائص عادة بواسطة تجارب معملية يقصد بها بيان أداء الوقود في حالات العمل الفعلي إلا أن هذه التجارب لا تغني عن اختبار أداء الوقود بعد ذلك في المحرك نفسه .

والخصائص الهامة المساعدة لاشتعال وقود الديزل والتي تؤثر في أداء المحرك هي كالتالي :

١. نوع الاشتعال :

وهو مدى قابلية الوقود للاشتعال الذاتي داخل أسطوانة المحرك حيث يشتعل الوقود الجيد ذاتياً عند درجات الحرارة المنخفضة نسبياً فيتحسن أداء المحرك لسرعة بدء الحركة ويقل تعرضه للدق وإنتاجه للدخان وتعتبر هذه الخاصية من أهم خصائص وقود محركات الديزل وبالأخص تلك المحركات ذات السرعات العالية ويصنف وقود الديزل إلى عدة أنواع حسب رقم معين يسمى رقم السيتان ، وهو يماثل رقم الأكتين المستعمل لبيان خاصية نوع اشتعال وقود محرك البنزين (سنتطرق لكيفية تحديد رقم السيتان لاحقاً) .

٢. التطاير :

وهو مدى استعداد السائل للتحول إلى بخار ويقاس بالنسبة لوقود محرك الديزل بدرجة الحرارة التي يتم عندها تقطير ٩٠٪ من مقدار معين لهذا الوقود وبذلك يكون الوقود أكثر تطايراً كلما انخفضت هذه الدرجة من الحرارة ويجب أن يكون وقود محركات الديزل الصغيرة أكثر تطايراً من وقود المحركات الكبيرة ليقل استهلاك الوقود وتنخفض درجة حرارة العادم وظهور الدخان .

٣. الكربون المتخلف :

وهو مقدار المادة المتخلفة بعد تسخين كمية معينة من الوقود في إناء مغلق وفي معزل عن الهواء بعد تمام تبخر جميع أجزاء الوقود المتطايرة ، ويستهدف هذا الإجراء معرفة نسبة المركبات الثقيلة في الوقود والأكثر استعداداً لتكوين مركبات متفحمة بدلاً من أن تتبخر وبهذا تدل خاصية الكربون المتخلف على مقدار قابلية الوقود لتكوين رواسب كربونية على أجزاء المحرك الداخلية وتعتمد كمية الكربون المتخلف المسموح بها في الوقود اعتماداً كبيراً على حجم المحرك وسرعته فيمكن استخدام وقود ذي نسبة أكبر للكربون المتخلف في المحركات الكبيرة ذات السرعات المنخفضة و وقود ذي نسبة أقل للكربون المتخلف في المحركات الصغيرة ذات السرعة العالية .

٤. اللزوجة :

وهي تعبر عن مقدار الاحتكاك الداخلي في سائل ما أو مقدار مقاومته للسريان ويمكن تعيين لزوجة سائل ما بـ :

أ- بدرجات انجلر (النسبة بين الزمن اللازم لسريان كمية معينة من الوقود إلى الزمن اللازم لسريان كمية مساوية له من الماء النقي وذلك باستعمال جهاز انجلر الألماني لقياس اللزوجة) .

ب- بعدد الثواني اللازمة لسريان كمية معينة من الوقود خلال ثقب ذي قطر صغير باستخدام جهاز ردوود الإنجليزي أو جهاز سايبولت الأمريكي (تقل لزوجة الوقود كلما قل عدد الثواني اللازمة لسريان الوقود) .

وتقاس لزوجة وقود الديزل قبل استعماله لأنها تحدد قابليته للسريان داخل منظومة حقن الوقود حيث يجب ألا تقل عن حد معين لأن وقود الديزل يستخدم لتزييت وحدات الحقن في مضخة الحقن الرئيسة وأجزاء الرشاشات كما أن لزوجة وقود الديزل تؤثر بشكل كبير في شكل تذرية الوقود عند خروجه من الرشاش داخل غرفة الاحتراق فالوقود الأقل لزوجة يعطي مسافة أقصر لطول البخة وذرات أدق في الحجم لقطيرات الوقود مما يسهل اختلاطه بالهواء ومن ثم احتراق جيد .

٥. مقدار الكبريت :

تتحد الغازات الناتجة عن احتراق الكبريت الموجود في تركيب الوقود مع بخار الماء المتكثف الناتج عن عملية احتراق الوقود فتتكون بذلك أحماض ضارة تسبب تآكل بعض أجزاء المحرك ومجموعة تجهيز العادم وتزداد هذه الظاهرة حين يعمل المحرك تحت حمل جزئي مما يقلل من درجة حرارة سطح الأسطوانة إلى الحد الذي يتكثف عنده بعض بخار الماء .

٦. مقدار الرماد :

وهو يعبر عن مقدار المواد الصلبة المختلطة بالوقود كبعض المواد المعدنية وذرات الرمل التي تسبب تآكلاً سريعاً في بعض أجزاء المحرك ، لهذا يتحتم ألا تزيد نسبة وزن هذه المواد عن مقدار ضئيل جداً بقدر الإمكان وتقاس عادة بحرق كمية من الوقود ثم وزن مقدار الرماد المتخلف من الاحتراق ونسبه إلى الوزن الأصلي لنفس الوقود ويمكن تقليل مقدار الرماد بتقطير الوقود تقطيراً جيداً .

٧. مقدار الماء والشوائب :

هو مقدار الماء أو الشوائب المختلطة بالوقود وينتج عن ذلك تقليل في جودة احتراق الوقود كما يتسبب في تآكل وصدأ أجزاء مضخة الحقن ورشاشات الحقن .

٨. درجة (نقطة) الوميض :

وتعرف بأنها درجة الحرارة التي يبدأ عندها الوقود في التبخر بكمية قابلة للاحتراق بحيث يشتعل ذاتياً على صورة وميض عند اقتراب مصدر للحرارة منه ، ويحدد لكل وقود نقطة وميض خاصة به لتجنب الحرائق عند النقل أو التخزين فالوقود ذو درجة الوميض المنخفضة جداً يكون أكثر خطراً عند نقله أو تخزينه ، ولا تدل درجة أو نقطة الوميض على طريقة احتراق الوقود داخل المحرك حيث يعتمد الاحتراق على خاصية نوع الاشتعال فنلاحظ أن وقود البنزين (وهو ذو نقطة وميض منخفضة جداً) لا يصلح وقوداً لمحركات الديزل لرداءته في خاصية نوع الاشتعال .

٩. درجة (نقطة) التدفق :

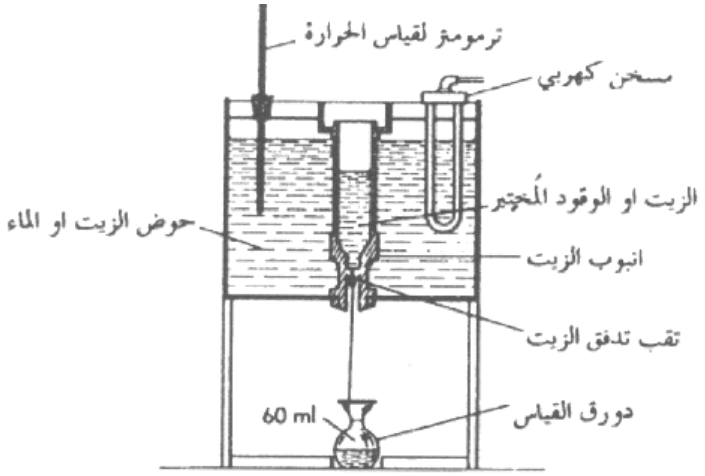
هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها الوقود في التجمد أو التجلط كما تدل على ملاءمته للاستعمال في المحركات التي تعمل في أجواء باردة جداً ، فالوقود ذو نقطة التدفق العالية لا يصلح عادة للاستعمال في هذه الأجواء لأنه في هذه الحالة ليس سهل السريان في مجموعة حقن الوقود ، كما أنه لا يعطي تذرية جيدة عند خروجه من فوهة الرشاش إلى داخل غرفة الاحتراق .

١٠. الوزن النوعي :

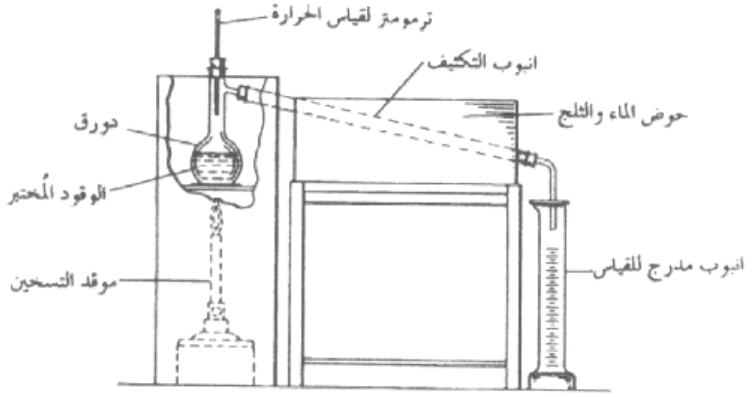
هو عبارة عن نسبة وزن حجم معين من الوقود إلى وزن حجم معين مساوٍ له من الماء النقي ويدل بصفة تقريبية على أنواع الوقود المختلفة التي تقسم إلى ثقيلة ذات أوزان نوعية عالية وخفيفة ذات أوزان نوعية منخفضة ، وقد تتساوى بعض أنواع الوقود في أوزانها النوعية إلا أنها تختلف اختلافاً كبيراً في درجة اللزوجة وخاصية نوع الاشتعال وهما الخاصيتان الأهم من خصائص وقود الديزل ويرتبط الوزن النوعي للوقود مع قيمة الحرارة ارتباطاً وثيقاً ويمكن قياس الوزن النوعي للوقود بواسطة جهاز خاص يسمى الهيدروميتر .

١١. القيمة الحرارية :

تعتبر القيمة الحرارية للوقود من خصائصه الهامة حيث يمكن بها تحديد كمية الطاقة الحرارية المعطاة للمحرك ، وبهذا يمكن معرفة قدرة المحرك على تحويل هذه الطاقة الحرارية إلى شغل مستفاد منه وتقاس القيمة الحرارية بعدة اختبارات باهظة التكاليف وبما أن القيمة الحرارية لوقود ما تتناسب إلى حد ما مع وزنه النوعي لذلك شاع استعمال الوزن النوعي لوقود ما للاستدلال على قيمته الحرارية .



جهاز سايبولت لاختبار لزوجة الوقود



جهاز اختبار تقطير الوقود (المعهد الأمريكي لاختبار المواد ASTM)

رقم السيتان

تستعمل لتحديد نوع اشتعال وقود الديزل وحدات تسمى رقم السيتان .

ورقم السيتان الخاص بوقود ديزل ما إنما يدل على النسبة المئوية لكمية السيتان الموجودة في وقود آخر يكون عبارة عن خليط من وقود السيتان (له خاصية أقصر فترة عطلة إشعال) ومركب آخر من مركبات الهيدروكربون هو ألفا ميثيل نفتالين (له أطول فترة عطلة إشعال) حيث تخلط بقدر يتساوى هذا الخليط مع الوقود الأول في خاصية نوع الاشتعال .

ويبدأ تدرج رقم السيتان عادة من الصفر (٠) الذي يمثل خاصية نوع الاشتعال لوقود ألفا ميثيل نفتالين إلى المئة (١٠٠) الذي يمثل خاصية نوع الاشتعال لوقود السيتان فقط .

بذلك فإنه إذا كان رقم السيتان الخاص بوقود ديزل ما هو ٤٥ فإن هذا يعني أن ذلك الوقود ذو خاصية نوع اشتعال يتساوى بها مع خليط وقود مكون من ٤٥٪ وقود سيتان و ٥٥٪ ألفا ميثيل نفتالين .

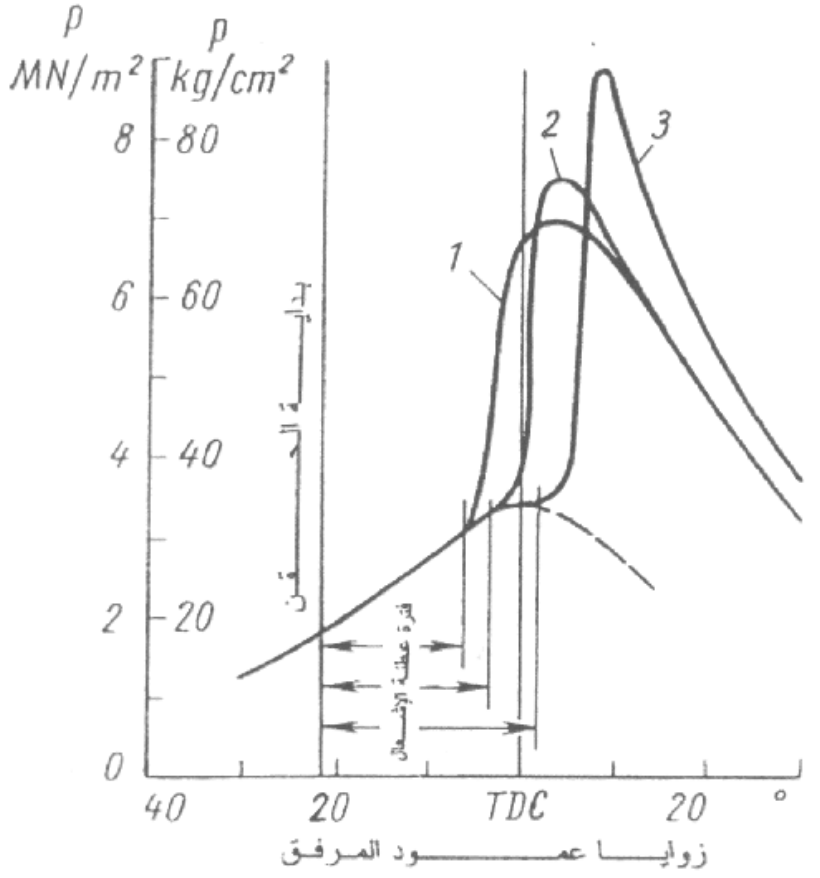
ملحظة :

كلما كان رقم السيتان مرتفع كلما كانت خاصية نوع الاشتعال للوقود أفضل أي فترة عطلة الإشعال قصيرة .

يقاس رقم السيتان لوقود ما باختباره في محرك خاص ذي أسطوانة واحدة يمكن تغيير نسبة الانضغاط بها (محرك ريكاردو) ويتم ذلك كالتالي :

١. وضع الوقود المراد تحديد رقم السيتان له في المحرك .
٢. عند سرعة ثابتة ترفع نسبة الانضغاط حتى يشتعل الوقود .
٣. تقاس فترة عطلة الإشعال .
٤. وضع خليط الوقود من وقود السيتان ووقود ألفا ميثيل نفتالين .
٥. عند نفس السرعة الثابتة السابقة ونسبة الانضغاط يتم تغيير نسب الخلط بين وقود السيتان والفاميثيل نفتالين حتى نحصل على خليط يشتعل بفترة عطلة اشتعال مساوية لفترة عطل الإشعال للوقود المراد تحديد رقم السيتان له .
٦. تكون النسبة المئوية لوقود السيتان في هذا الخليط هي رقم السيتان للوقود المراد تحديد رقم السيتان له .

تأثير رقم السيتان على فترة عطلة الإشعال



١- رقم السيتان ٥٢.
٢- رقم السيتان ٤٢.
٣- رقم السيتان ٢٩.

شكل (١٢) يبين العلاقة بين رقم السيتان ومنحنى الضغط وزوايا عمود المرفق

نشاهد أن كلما ارتفع رقم السيتان قصرت فترة عطلة الإشعال .

ملحظة :

تنص المواصفات العربية على أن لا يقل رقم السيتان للوقود المستخدم في المحركات البطيئة عن ٢٣ ولا يقل عن ٤٥ للمحركات متوسطة السرعة والسريعة .

مراحل عملية الاحتراق في محركات الديزل

تُقسم مراحل عملية الاحتراق في محركات الديزل إلى ثلاث أو أربع مراحل أساسية هي :

أولاً : مرحلة عطلة الإشعال (فترة عطلة الإشعال) :

وتعرف بأنها الفترة الزمنية بين بداية عملية الحقن وبداية عملية الاشتعال الذاتي وتقدر هذه الفترة بحوالي ٠,٠٠١ ثانية أو من ١٠ إلى ٣٠ درجة من زوايا عمود المرفق حيث يمثل هذا الوقت تحول الوقود بعد حقنه داخل غرفة الاحتراق من سائل إلى بخار ومن ثم خلطه مع الهواء ، أما الوقود الذي يتم حقنه بعد بدء الاشتعال فيشتعل فوراً (بعد نهاية فترة عطلة الإشعال) .

العوامل التي تقلل من فترة عطلة الإشعال :

١. استخدام وقود ذي رقم سيتان منخفض .
٢. حقن الوقود بتذرية جيدة داخل غرفة الاحتراق .
٣. ارتفاع درجة الحرارة ونسبة الانضغاط (الضغط) عند بدء الحقن .

العوامل التي تطيل فترة عطلة الإشعال :

١. استخدام وقود ذي اشتعال ذاتي بطيء .
٢. انخفاض درجة حرارة المحرك .
٣. خلط غير جيد للوقود بالهواء .
٤. دوران المحرك بسرعة اللاحمل .
٥. تقديم توقيت الحقن (حيث يحقن الوقود في حين يكون الضغط ودرجة حرارة الهواء منخفضة).

ثانياً : مرحلة الاحتراق السريع :

هي المرحلة التي تعقب مرحلة فترة عطلة الإشعال وتمتاز بالارتفاع الشديد في الضغط ودرجة الحرارة نتيجة لاشتعال مخلوط الهواء بالوقود المتكون خلال فترة عطلة الإشعال وتقدر درجة حرارة الاحتراق أثناء هذه المرحلة بـ ١٦٠٠ درجة مئوية تقريباً والضغط إلى ٧٠ بار تقريباً .

عوامل ارتفاع الضغط :

١. درجة حرارة اشتعال الوقود .
٢. نسبة الانضغاط (ولكن بزيادة الضغط يزداد احتمال حدوث الدق) .

العوامل التي تؤثر على خصائص مرحلة الاحتراق السريع :

١. طول فترة عطلة الإشعال .
٢. نسبة كمية حقن الوقود إلى كمية الأوكسجين اللازم لإشعاله .
٣. جودة التذرير (الخلط) للوقود خلال المرحلة الأولى والثانية .

ثالثاً : مرحلة الاحتراق البطيء :

تعتمد هذه المرحلة على معدل انتشار الوقود وكمية الأوكسجين المتبقي اللازم للاحتراق .

تمتاز هذه المرحلة بثبوت الضغط بسبب :

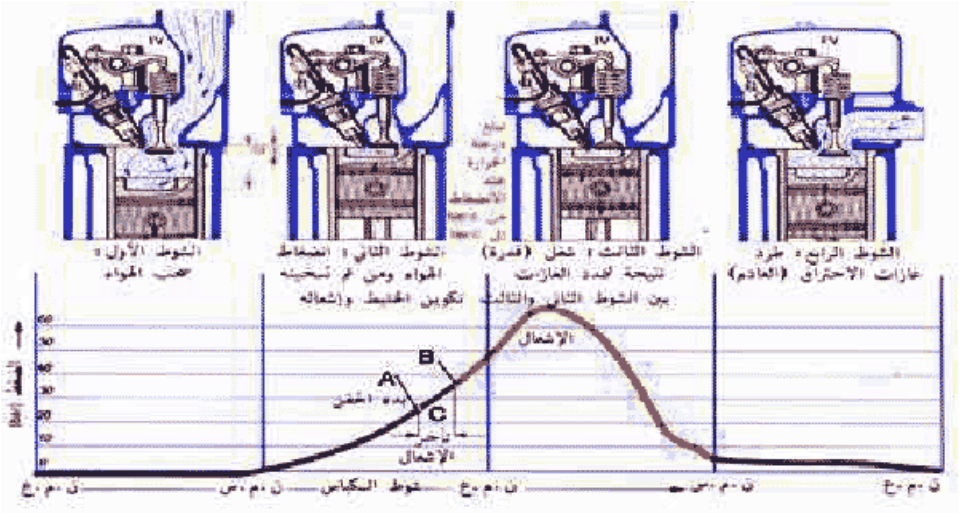
١. انخفاض معدل الاحتراق لقلة الأوكسجين .
٢. انخفاض الضغط لانتهاء شوط الضغط .

رابعاً : مرحلة الاحتراق المتأخر :

وهي المرحلة الأخيرة من مراحل الاحتراق عندما يكون هناك تأخير لتوقيت الحقن مما يسبب عدم احتراق كامل للوقود أثناء شوط التمدد فيكمل الوقود احتراقه أثناء شوط العادم .

والأشكال التالية (١٣) و(١٤) تبين مراحل عملية الاحتراق في محركات الديزل :

مراحل عملية الاحتراق لمحرك ديزل خلال الأشواط الأربعة



شكل (١٣)

❖ **بداية فتح صمام الحر أو العادم**

A- بداية عطلة الإشعال (بداية فترة الحقن) .

B- بداية مرحلة الاحتراق السريع .

C- فترة عطلة الإشعال .

رسم بياني لمراحل الاحتراق لمحرك الديزل خلال شوط الضغط

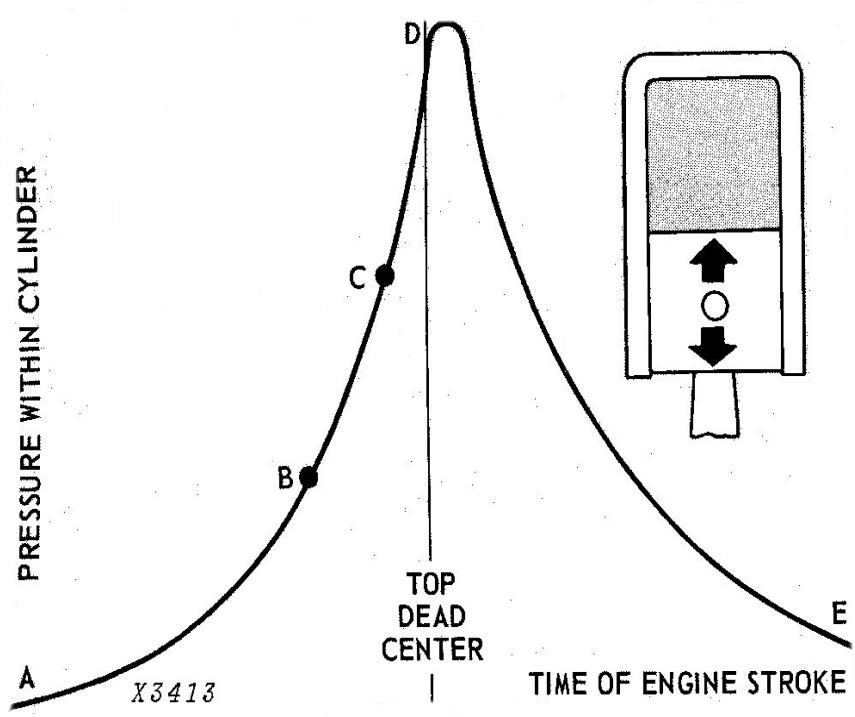


Fig. 44 — Typical Diesel Engine Pressure Indicator Tracing

شكل(١٤)

A -مرحلة (فترة) عطلة الإشعال.

B -مرحلة الاحتراق السريع .

C -مرحلة الاحتراق البطيء .

D -مرحلة الاحتراق المتأخر .

الطرق بمحركات الديزل

يحدث الطرق في محركات الديزل نتيجة لطول فترة عطلة الإشعال حيث تجتمع كمية كبيرة من الوقود داخل غرفة الاحتراق ثم تشتعل فجأة خلال فترة الاحتراق السريع بالقرب من النقطة الميتة العليا مما يؤدي إلى رفع معدل الضغط في زمن قصير جداً إلى أقصى قيمة له (زيادة ارتفاع معدل الضغط بالنسبة لزوايا عمود المرفق) فيحدث الطرق المصاحب باهتزاز وصوت يتراوح بين الرنين الدقيق والطرق المرتفع . شكل (١٥) .

العوامل التي تؤدي إلى حدوث الطرق في محركات الديزل :

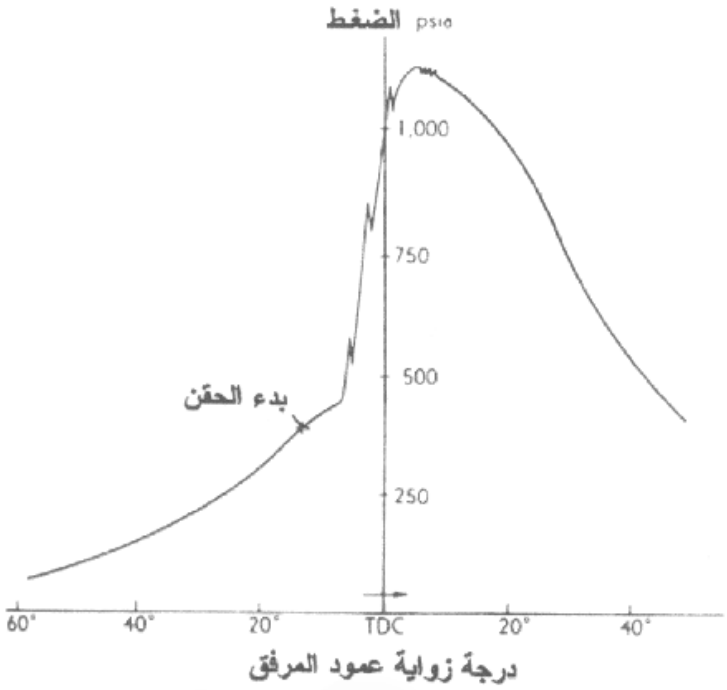
١. انخفاض درجة حرارة المحرك (تبريد زائد للأسطوانة وغرفة الاحتراق لعدم وجود حاكم حراري في أجواء باردة) .
٢. استخدام وقود ذي خاصية إشعال ذاتي منخفض (رقم سيتان منخفض) .
٣. دوران المحرك بسرعة اللاحمل لمدة طويلة (قلة سرعة دخول الهواء تقلل جودة التذرير وبالتالي تطول فترة عطلة الإشعال) .
٤. معدل حقن كبير أثناء فترة عطلة الإشعال .
٥. تصميم غرفة الاحتراق وموضع الرشاش بها .

الأضرار التي تنتج عن حدوث الطرق في محركات الديزل :

١. زيادة الإجهاد المفاجئ على مجموعة الكبس مما يسبب زيادة لخلوص بين الأجزاء المتحركة (رأس المكبس – النهاية الصغرى لذراع التوصيل – استقامة ذراع التوصيل – النهاية الكبرى لذراع التوصيل – عمود المرفق) .
٢. الارتفاع المفاجئ لدرجة الحرارة بداخل غرفة الاحتراق والأسطوانة ورأس المكبس قد تؤدي إلى التصاق المكبس بجدار الأسطوانة .
٣. حل مسامير تثبيت أجزاء المحرك نتيجة لكثرة الاهتزازات .

ويمكن تجنب حدوث الدق في محركات الديزل بتقليل فترة عطلة الإشعال بالعوامل التالية :

١. استخدام وقود ذي رقم سيتان مناسب لنوع المحرك (منخفض للبطيء – عالي للمتوسط والسريع).
٢. معدل حقن منخفض عند بدء الحقن (أثناء فترة عطلة الإشعال) .
٣. درجة حرارة مناسبة لغرفة الاحتراق (المحافظة على درجة حرارة التشغيل للمحرك) .



شكل (١٥)

المنحنى البياني للعلاقة بين زيادة الضغط وزوايا عمود المرفق عند حدوث الدق

محركات ديزل

غرف الاحتراق ـ شمعات التسخين

الجدارة :

- التعرف على غرف الاحتراق بـ وظائفها ـ تصنيفها ـ أنواعها ـ مميزاتها ـ عيوبها .
- التعرف على شمعات التسخين من حيث : الأنواع ، الرموز لتمييز الشمعات وترجمة هذه الرموز ومعرفة مدلولاتها العلمية (الجهد ـ المقاومة ـ القدرة ـ طريقة التوصيل) ومعرفة الدائرة الكهربائية لها و كذلك التعرف على أجزاء شمعات التسخين الداخلية .

الأهداف :

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على :

١- معرفة تصنيف غرف الاحتراق .
٢- معرفة أنواع كل تصنيف على حدة .
٣- رسم بيانات الضغوط المختلفة بداخل غرف الاحتراق والغرفة المسبقة .
٤- معرفة الفرق بين غرف الاحتراق من ناحية : كيفية حدوث عملية الاحتراق بداخل الغرف مميزات وعيوب كل غرفة احتراق .
٥- معرفة شمعات التسخين (الأنواع ـ الرموز ـ الجهد ـ التيار ـ المقاومة ـ التوصيل) .
٦- معرفة الأجزاء الداخلية لشمعات التسخين .

مستوى الأداء المطلوب :

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ٨٥٪ .

الوقت المتوقع للتدريب : ٨ ساعات .

الوسائل المساعدة :

١- جهاز لعرض الصور والجداول والمنحنيات ودائرة شمعات التسخين .
٢- مجسمات لأشكال غرف الاحتراق وشمعات التسخين المختلفة .

متطلبات الجدارة :

- إتقان أهداف الوحدة التدريبية الأولى .
- القدرة على تخيل وفهم عمل أجزاء المحرك الداخلية .

مقدمة :

تعتبر غرف الاحتراق من الأجزاء المهمة والتي تحدد أداء المحرك من خلال نجاح عملية الاحتراق وفشلها وتؤدي غرف الاحتراق هذا الدور حسب تصميم شكلها أو مكان تركيبها داخل أسطوانة المحرك ومن خلال هذه الوحدة سوف تتم دراسة غرف الاحتراق الخاصة بمحركات الديزل والطرق لكل ما يخص ذلك من حيث :

وظائفها ـ تصنيفها ـ أنواعها ـ مميزاتها ـ عيوبها .

وذلك بالتعرف على أشكالها وطريقة عملها من خلال الصور والرسومات ومجسمات تلك الغرف .

وتعتبر شمعات التسخين من الوسائل المساعدة في عملية الاشتعال في محركات الديزل إذ تساعد في تسخين خليط الهواء والوقود داخل غرفة الاحتراق في بداية دوران المحرك في حالة برودة الجو ومن خلال هذه الوحدة سوف نتعرف على شمعات التسخين من حيث :

الأنواع ـ الرموز ـ الجهد ـ التيار ـ المقاومة ـ التوصيل ـ وكذلك معرفة الأجزاء الداخلية لشمعات التسخين .

غرف الاحتراق في محركات الديزل

في محركات الديزل يتم تجهيز خليط الهواء والوقود بداخل غرفة الاحتراق وبحسب جودة هذا الخليط يتم الاحتراق الكامل أو الاحتراق غير الكامل حيث يكون لتصميم غرفة الاحتراق دور كبير في نجاح عملية الاحتراق .

وقد ظهرت أهمية شكل غرفة الاحتراق بظهور المحركات السريعة التي تتطلب زمناً قصيراً جداً للخلط ومن ثم الاحتراق لذلك تستخدم في المحركات الصغيرة السريعة غرف احتراق معينة لإثارة الهواء بشكل يساعد على توزيع الوقود بأرجائها وخلطه بالهواء للحصول على احتراق جيد في زمن قصير يعادل أجزاء من الثانية عند السرعات العالية كما يجب أن يكون هناك توافق بين تصميم غرفة الاحتراق في محرك ما مع نوع منظومة حقنه .

وظيفة غرفة الاحتراق في محركات الديزل :

المساهمة في تحضير شحنة الوقود تحضيراً يسهل احتراقها بالكامل ذاتياً في فترة زمنية قصيرة وبمخلفات احتراق ضئيلة مما يؤدي لزيادة قدرة المحرك وخفض استهلاك الوقود .

الشروط الواجب توفرها في غرف احتراق محركات الديزل :

١- أن تكون ذات إثارة عالية للهواء خلال شوط الضغط تساعد على إحاطة كل جزيء من بخار الوقود بغلاف من الهواء يضمن لها احتراقاً كاملاً في فترة زمنية صغيرة وخصوصاً عند السرعات العالية .

٢- أن تكون مساحتها السطحية صغيرة بالنسبة لحجم فراغها لتجنب الفقد في درجة حرارة جدران الغرفة لذلك يفضل الشكل الكروي .

العوامل التي تحدد تصميم غرف الاحتراق في محركات الديزل :

١- حجم المحرك .

٢- سرعة المحرك .

٣- نوع منظومة الحقن .

٤- اعتبارات اقتصادية وبيئية .

تصنيف غرف الاحتراق

أولاً : من حيث حجم المحرك :

١- في المحركات الصغيرة تكون كمية الهواء الزائد قليلة تبعاً لأبعاد الأسطوانة والمكبس كما أن هذه المحركات غالباً ذات سرعة عالية بحيث تتطلب فترة عطلة إشعال قصيرة جداً ، لهذا تستخدم غرف الاحتراق المتقدمة للمساهمة في تكوين حركة للهواء تساعد في خلطه مع الوقود ومن ثم احتراقه في زمن قصير جداً .

٢- في المحركات الكبيرة ذات السرعات المنخفضة تكون كمية الهواء الزائد كبيرة وفترة عطلة الإشعال طويلة مما يسمح بزمن كاف لعملية خلط الهواء بالوقود لذلك تستخدم غرف احتراق بسيطة الإثارة .

ثانياً : من حيث منظومة الحقن :

١- الحقن غير مباشر حيث يحقن الوقود ويحترق أولاً في غرفة مسبقة لها أشكال متعددة حسب نوع المحرك .

٢- الحقن المباشر حيث يتم الحقن مباشرةً في غرفة الاحتراق .

طرق إثارة الهواء بداخل غرف الاحتراق

حركة دورانية :

يكتسبها الهواء أثناء شوط السحب أو أثناء الضغط .

(تصميم مجاري السحب شكل (١٦)) .

١- حركة دوامية أو إثارة :

يكتسبها الهواء أثناء شوط الضغط بواسطة المكبس وذلك باستخدام غرفة مسبقة .

٢- إعصار (انسياب الهواء من محيط الأسطوانة إلى وسطها) :

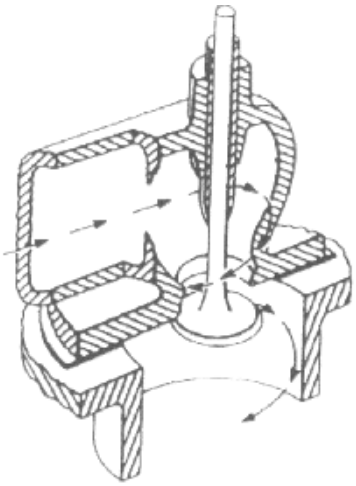
وينشأ قرب نهاية شوط الضغط وذلك يحدث عن طريق تشكيل غرفة الاحتراق على شكل تجويف كروي في المكبس وجعل حافتها عريضة تكاد تلامس رأس الأسطوانات عند النقطة الميتة العليا .

٣- إثارة تنشأ أثناء الاحتراق عن طريق :

أ- خلية احتراق مبدئي (جزئي) .

ب- خلية هواء .

ج- خلية طاقة .



شكل (١٦) طرق تصميم مجاري السحب للحصول على إثارة دورا نية للهواء أثناء شوط السحب

أنواع غرف الاحتراق لمحركات الديزل

أولاً : غرف ذات دوامة من الانضغاط :

١- غرفة كوميت ريكاردو .
٢- غرفة بركنز .
٣- غرفة هرقل .

ثانياً : غرفة إثارة أثناء الحريق (غرف احتراق جزئي) :

١- غرف محركات بنز .
٢- غرف محركات كتربيلر .

ثالثاً : غرف خلية الهواء :

١- غرفة أكرو ـ بوش .
٢- غرفة أكرو .
٣- غرفة كومنز .
٤- غرف محركات (MAN) .

رابعاً : غرف خلية الطاقة :

خامساً : غرف منبسطة (مفتوحة) :

١- غرفة منبسطة بدون دوامة .
٢- غرف منبسطة ذات مكبس طارد .
٣- غرف منبسطة ذات دوامة من الشحن .

أولاً : غرف ذات دوامة من الانضغاط :

للحصول على حركة دوامية قوية تقسم غرف الاحتراق إلى قسمين :

قطاع أحدهما دائري ويتراوح حجمه بين ٥٠٪ إلى ٩٠٪ من حجم خلوص غرفة الاحتراق شكل (١٧) ويكون دخول الهواء أثناء شوط الضغط عبر ممر يعرف بالعنق فتنشأ عن ذلك دوامة قوية تصل فيها سرعة الهواء إلى ٢٥٠متر في الثانية .

ويحقن الوقود برشاش ذي ثقب بضغط منخفض نسبياً يتراوح بين ٨٠ إلى ١٢٠ بار .

ويكون اتجاه رذاذ الوقود في نفس اتجاه حركة الهواء .

(حقن الوقود في نفس اتجاه حركة الهواء أفضل لعملية الخلط من حقن الوقود بعكس اتجاه الوقود لأن الهواء في الحالة الأولى يحمل الوقود بعيداً عن الرشاش مما يساعد على الخلط والتوزيع بأنحاء غرفة الاحتراق) .

ويستخدم رشاش ذو ثقبين :

أحدهما باتجاه حركة الهواء .

والآخر عكس اتجاه حركة الهواء للجمع بين نظام الحقن المباشر وغير المباشر .

ملحظة :

تصمم الغرف الدوامية بحيث يسوء تبريد العنق فيساعد عنق الغرفة الساخن على رفع درجة حرارة الهواء عند انسيابه خلاله أثناء شوط الضغط ولزيادة درجة حرارة العنق مع زيادة السرعة فإن فترة عطلة الإشعال تقل .

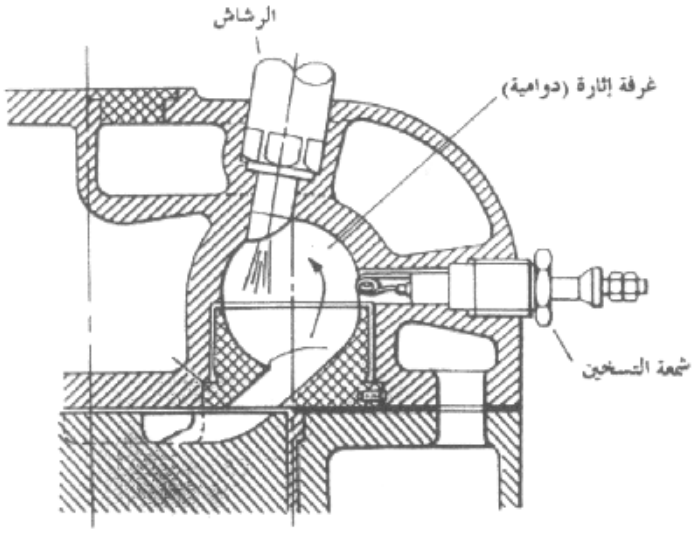
وفيما ما يلي عرض لبعض غرف الإثارة أو الدوامية :

غرفة كوميت ريكاردو :

شكل (١٧) يوضح غرفة إثارة لمحرك إشعال بالضغط من نوع كوميت ريكاردو .

ويلاحظ : وجود خلوص صغير بين نصف الغرفة السفلي وجدار غطاء الأسطوانات حيث يعمل الهواء في هذا الخلوص كعازل حراري فيسوء تبريد جدار الغرفة .

وترتفع درجة حرارة الغرفة وعنقها مما يؤدي إلى تقليل فترة عطلة الإشعال وهذا يقلل من أهمية تعديل درجة الحقن عند تغير السرعة .



شكل (١٧) يبين غرفة إثارة نوع كوميت ريكاردو

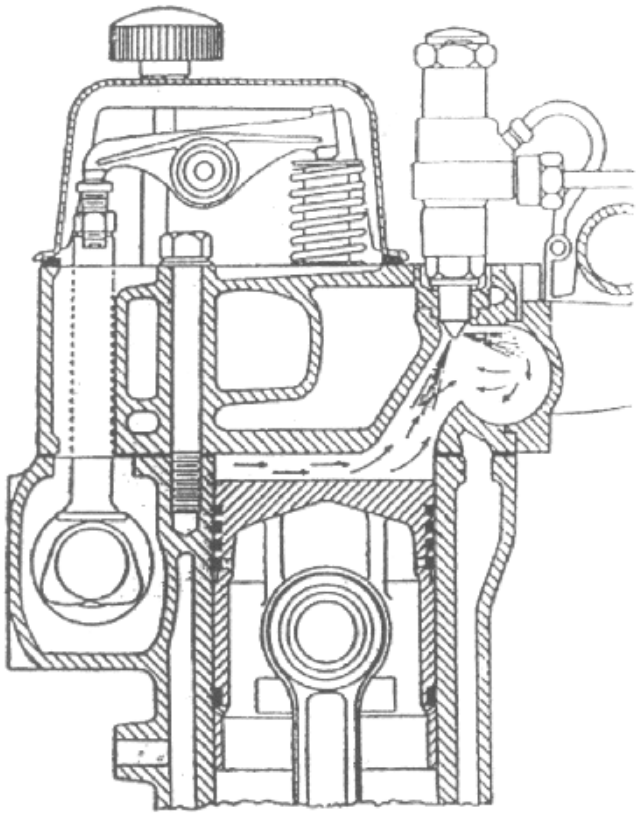
غرفة بركنز :

شكل (١٨) يبين غرفة إثارة لمحرك بركنز .

(محرك بريطاني الصنع يستخدم على نطاق واسع في أغراض النقل) ويلاحظ :

١- يحقن الوقود إلى غـرفة الاحتراق بواسطة رشاش ذي ثقبين أحدهما صغير (مساعد للثقب الرئيس) موجه نحو عنق الغرفة في اتجاه مضاد لحركة الهواء والآخر موجه في نفس اتجاه حركة الهواء مما ساعد في سهولة بدء الدوران خصوصاً وأن كمية الحقن تكون كبيرة في هذا الاتجاه عند البدء وقد يتوقف الثقب المساعد بعد بدء الدوران لارتفاع ضغط الحقن .

٢- هذا النظام يجمع بين مزايا غرف الحقن المباشر وغرف الحقن غير المباشر شكل (١٩) يبين تصميم ثقوب الرشاش .

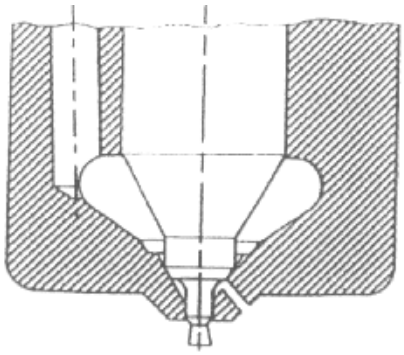


شكل (١٨)غرف احتراق نوع بركنز

بدء الحقن

بعد دوران المحرك

حقن الوقود عند بدء الدوران والحقن بعد الدوران



شكل (١٩) يبين كيفية تصميم ثقوب الرشاش

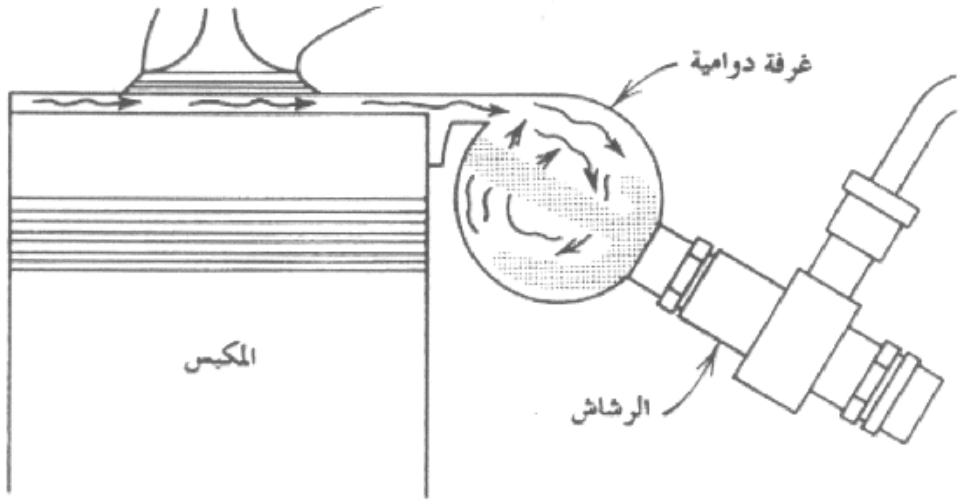
غرفة هرقل :

تتكون غرفة هرقل للاحتراق من غرفة كروية الشكل في كتلة الأسطوانات شكل (٢٠) ويلاحظ في تصميم هذه الغرف :

١- يُترك خلوص صغير جداً بين جدار الغرفة الكروية وجدار الأسطوانة وذلك لتسخين الغرفة مما يؤدي إلى قصر فترة عطلة الإشعال .

٢- يُصمم مشوار المكبس بحيث يحجب جزءاً من رأس المكبس و جزءاً من عنق الغرفة فيؤدي إلى زيادة سرعة الهواء الداخل إلى غرفة الاحتراق .

وتبلغ سرعة حركة الهواء الدائرية بداخل الغرفة حوالي ضعف سرعة دوران المحرك بخمسين مرة عندما يكون المكبس قبل النقطة الميتة العليا بـ (١٠) درجات تقريباً ، كما يتم الحقن عند أقصى فترة إثارة برشاش ذي ثقوب متعددة وفي اتجاه عمودي على دوامة الهواء وبضغط حقن يبلغ ١١٥ بار .



شكل (٢٠) غرفة احتراق نوع هرقل

مميزات غرف الإثارة (الدوامية) :

١- يناسب هذا النوع من الغرف المحركات الصغيرة السريعة .

٢- يستخدم رشاش ذو ثقب واحد أو ثقبين حيث تقوم حركة الهواء الدوامية بتوزيع الوقود وخلطه ولا يخشى من انسداده لأن رأس إبرة الرشاش يقوم بتنظيف الثقب تلقائياً ، لهذا لا يُحبذ استخدام رشاش ذي ثقوب متعددة .

٣- تكون فترة عطلة الإشعال ثابتة تقريباً بالدرجات ، لهذا فإن المحركات المجهزة بهذه الغرف ليست حساسة لنوع الوقود ومن الممكن استخدام وقود ذي رقم سيتان منخفض ، كما يمكن عدم تغير زاوية تقديم الحقن .

٤- يشيع استخدام غرف الإثارة في محركات الجر السريعة لارتفاع قدرتها النوعية .

٥- تغني الإثارة العالية في المحركات ذات غرف الإثارة عن استخدام ضغوط عالية .

عيوب غرف الإثارة (الدوامية) :

١- تقل كفاءة المحرك ويزيد معدل استهلاكه النوعي للوقود بحوالي ١٠٪ إلى ١٥٪ من غرف المفتوحة في محركات الحقن المباشر للأسباب التالية :

أ- زيادة ضياع الحرارة بالتبريد بسبب زيادة نسبة مساحة سطح الغرفة إلى حجمها .

ب- مرور نواتج الاحتراق عبر عنق الغرفة فتفقد شيئاً من حرارتها .

٢- ارتفاع الشغل السالب للمكبس خلال شوط الضغط بسبب ضيق عنق الغرفة .

٣- صعوبة بدء الإدارة لهذا تستخدم شمعة تسخين أو زيادة نسبة الانضغاط عند بدء الإدارة بواسطة تقليل حجم الغرفة بذراع خاص بذلك مما يؤدي إلى رفعها من ١٥ إلى ١٩ تقريباً .

ثانياً : غرف الإثارة أثناء الحريق (غرف احتراق جزئي) :

تتكون من غرفة صغيرة يتراوح حجمها بين ٢٥٪ إلى ٤٠٪ من حجم غرفة الاحتراق شكل (٢١) وتتصل بفراغ الأسطوانة بواسطة ثقب أو عدة ثقوب صغيرة ، ويتم حقن الوقود في الغرفة الجزئية قبل النقطة الميتة العليا بدرجات معينة بواسطة رشاش ذي ثقب واحد أو ذي ثقوب متعددة .

ويتم الاحتراق جزئياً في الغرفة الجزئية بسبب قلة كمية الأوكسجين بها إلا أن هذا الاحتراق يؤدي إلى اندفاع نواتج الاحتراق إلى فراغ الأسطوانة عبر الثقوب ليكمل بقية الاحتراق مسبباً ضغطاً على رأس المكبس أثناء شوط القدرة .

كما يلاحظ في عمل الغرف الجزئية :

١- ضغط الهواء في الأسطوانة خلال شوط الضغط يفوق الضغط داخل الغرفة الجزئية مما ييسر دخول الهواء إلى الغرفة .

٢- ضغط نواتج الاحتراق الجزئي في الغرفة الجزئية عند نزول المكبس بعد النقطة الميتة العليا يفوق الضغط في الأسطوانة مما يؤدي إلى اندفاع هذه النواتج من الغرفة إلى الأسطوانة ليكمل احتراقه . يلاحظ تشابه عمل غرفة الاحتراق الجزئي وعمل غرفة الاحتراق ذات الإثارة (الدوامية) .

إلا أنه يوجد اختلاف جذري في تصميم وعمل الغرفتين منها :

١- تشغل غرفة الاحتراق الجزئي حوالي ثلث حجم غرفة الاحتراق بينما تكاد غرفة الإثارة تشغل حجم غرفة الاحتراق ككل في بعض الأنواع .

٢- مساحة الثقوب (العنق) الموصل بين الغرفة الجزئية والأسطوانة يقل كثيراً عن مساحة عنق غرفة الإثارة المتصل بفراغ الأسطوانة .

٣- يتم احتراق جزئي للوقود بداخل الغرفة الجزئية ويكمل بقية الاحتراق بفراغ الأسطوانة بينما يتم الاحتراق بغرفة الإثارة بداخلها .

بعض أنواع المحركات التي تزود بغرف احتراق جزئي :

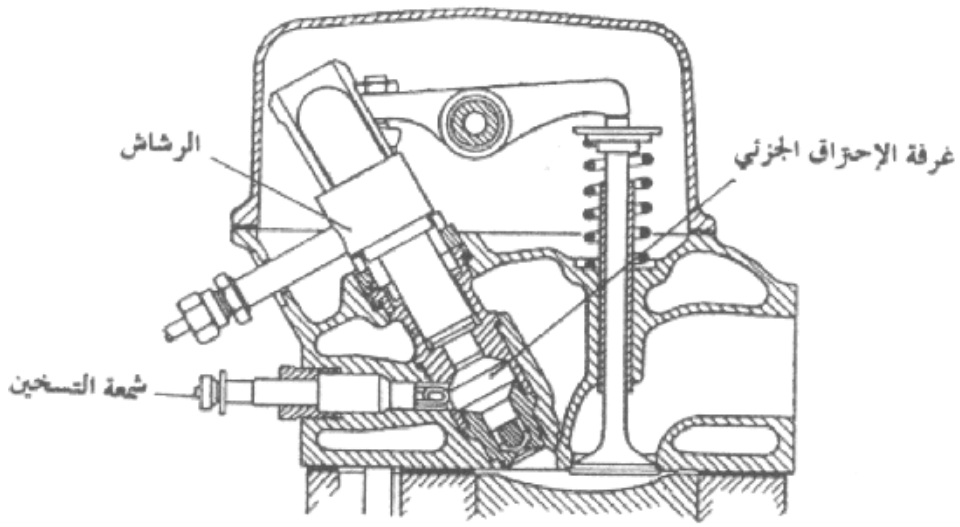
غرف محرك مرسيدس بنز :

يوضح شكل (٢١) غرفة احتراق جزئي لمحرك نوع مرسيدس ويلاحظ أن :

١- الغرفة وضعت على جانب الأسطوانة وأن محورها يميل ٣٠ درجة مع محور الأسطوانة .

٢- يتم الحقن بواسطة رشاش ذي عدة ثقوب كما وضعت شمعة التسخين بحيث يلامس قطبها رذاذ الوقود المحقون لرفع درجة حرارته عند بدء الإدارة .

وتصنع محركات مرسيدس ذات غرف احتراق جزئي من ست أسطوانات إلى اثنتي عشرة أسطوانة لأغراض النقل للشاحنات والقطارات وتصل قدرة بعضها إلى ٥٠٠ حصان .



شكل (٢١) غرفة محرك مرسيدس بنز

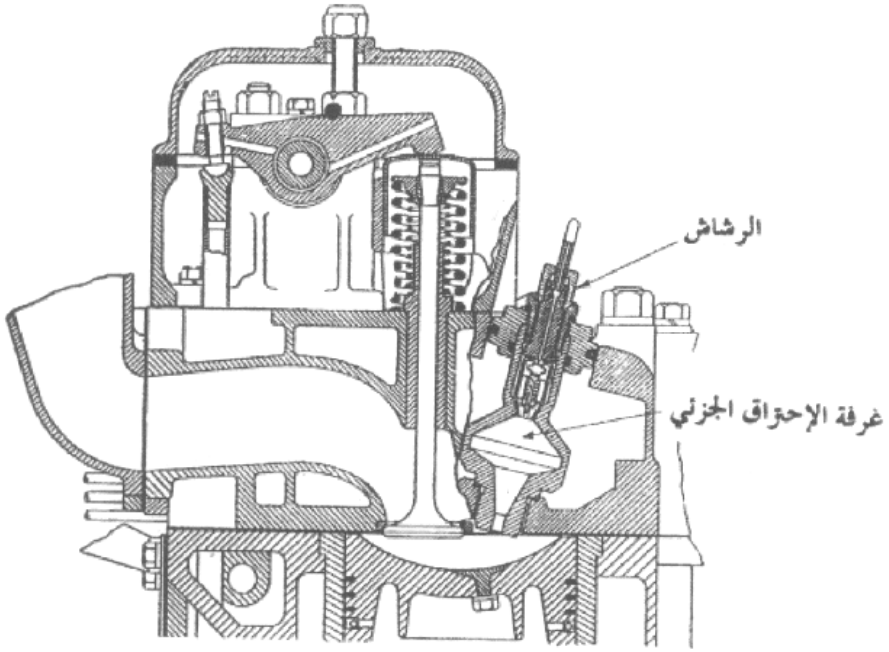
غرفة محرك كتربلر :

شكل (٢٢) يبين غرفة احتراق جزئي لمحرك كتربلر الأمريكي الذي يستخدم بكثرة في مجال الجرارات الزراعية ويُستخدم رشاش ذو ثقب واحد لحقن الوقود كالتالي :

١- يحقن الوقود على شكل رذاذ عميق النفاذ ويكون بدء الاحتراق عند فوهة الغرفة الجزئية .

٢- ارتفاع الضغط بالغرفة عند الاحتراق يؤدي إلى طرد وقود محترق جزئياً بسبب سوء التذرية .

٣- يكمل الوقود المحترق جزئياً بسهولة عند اختلاطه بالهواء الموجود بالأسطوانة .



شكل (٢٢) غرفة محرك كتربيلر

مميزات غرف الاحتراق الجزئي :

١- يمكن استخدام وقود ذي رقم سيتان منخفض للأسباب التالية :

أ- ارتفاع درجة حرارة جدران الغرفة وخاصة فوهتها إلى تقصير فترة عطلة الإشعال .

ب- يتم الاحتراق جزئياً بداخل الغرفة الجزئية .

٢- ليس هنالك أهمية لجودة تذرير الوقود لأن انتشار الاحتراق يعتمد على قذف الوقود المحترق جزئياً وتوزيعه بالأسطوانة عبر شكل فوهة الغرفة ، لهذا يستخدم رشاش ذو ثقب واحد في أغلب هذه المحركات .

٣- تستخدم ضغوط منخفضة تتراوح بين ٦٠ إلى ١٠٠ بار .

٤- يشاع استخدام الغرفة الجزئية في المحركات الصغيرة .

عيوب غرف الاحتراق الجزئية :

١- انخفاض كفاءة المحركات المزودة بغرف الاحتراق الجزئي ويزيد استهلاكه النوعي من الوقود بحوالي ١٠٪ إلى ١٢٪ عنه في محركات الحقن المباشر وذلك بسبب :

أ- ارتفاع ضائع الحرارة بالتبريد بسبب ارتفاع نسبة السطح إلى الحجم .

ب- زيادة تشغيل السالب للمكبس .

ج- اكتمال الاحتراق متأخراً في الأسطوانة خلال شوط التمدد ويستمر الاحتراق في بعض المحركات إلى ٤٠ درجة من درجات عمود المرفق عقب النقطة الميتة العليا ، وتزداد هذه الدرجة مع ازدياد السرعة .

٢- استخدام وسائل مساعدة لبدء الدوران في الأجواء الباردة .

ثالثاً : غرف ذات خلية الهواء :

يتم تصميم غرفة خلية الهواء في رأس المكبس أو في رأس الأسطوانات .

وتتصل الغرفة بالأسطوانة عبر فوهة ضيقة ويتراوح حجم غرفة الخلية بين ٥٠٪ إلى ٧٠٪ من حجم غرفة الاحتراق .

تتلخص طريقة الحقن والاحتراق في غرف خلية الهواء كالتالي :

١- يُدفع الهواء خلال شوط الضغط من فراغ الأسطوانة إلى غرفة الخلية .

٢- يُحقن الوقود مباشرة في غرفة الاحتراق عبر رشاش ذي ثقب أو عدة ثقوب .

٣- يحترق الوقود بداخل غرفة الاحتراق .

٤- يقل الضغط بغرفة الاحتراق نتيجة نزول المكبس بعد النقطة الميتة العليا فيؤدي إلى اندفاع الهواء من غرفة الخلية إلى فراغ الأسطوانة مما يساهم في اكتمال الاحتراق .

وفيما يلي عرض لبعض تصميمات هذا النوع من الغرف :

عرض لبعض غرف خلية الهواء :

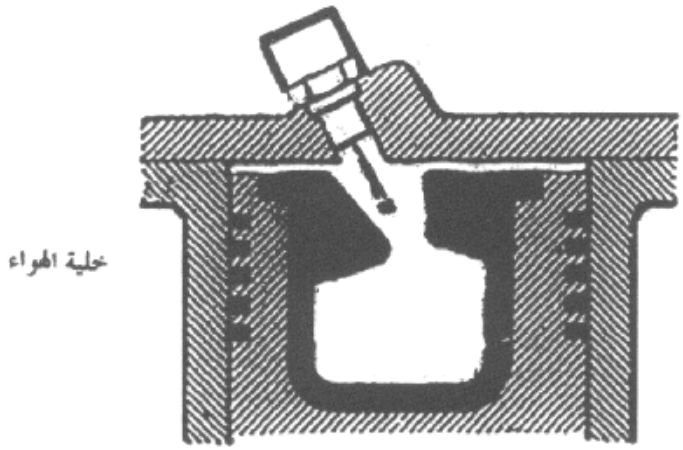
غرفة أكرو. بوش :

تصمم غرفة خلية الهواء بالمكبس شكل (٢٣) وتشغل نسبة كبيرة من حجم غرفة الاحتراق تبلغ حوالي ٧٠٪ ، ويلاحظ في غرفة أكرو ـ بوش ما يلي :

١- يحقن الوقود في اتجاه فوهة خلية الهواء إلا أنه لا يصل داخلها لضعف حقن الوقود .

٢- يبدأ الاحتراق عند فوهة غرفة خلية الهواء .

٣- يندفع الوقود من خلية الهواء في بدء شوط التمدد إلى الأسطوانة فيعمل على إثارة نواتج الاحتراق ومن ثم اكتمال احتراق الوقود المتبقي .



شكل (٢٣) يبين شكل غرفة أكرو - بوش

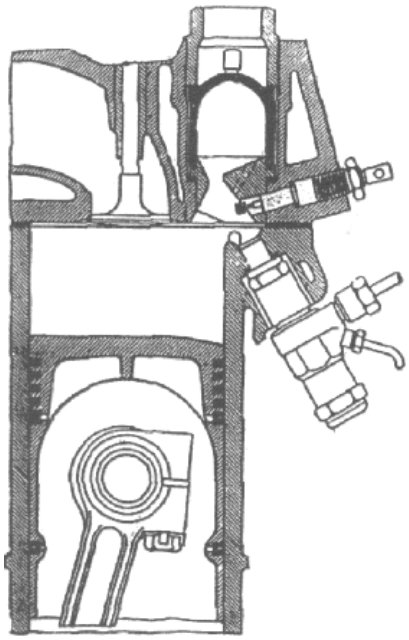
غرفة أكرو :

يبين شكل (٢٤) غرفة أكرو ويلاحظ بها :

١- أن حجم غرفة الخلية بالنسبة لحجم غرفة الاحتراق يقترب من غرفة أكرو . بوش إلا أن وضع غرفة الخلية في غطاء الأسطوانات ، وهذا يجنب المكبس من التعرض للإجهادات الحرارية .

٢- حقن الوقود عن طريق رشاش ذي ثقب واحد في اتجاه فوهة غرفة الخلية .

٣- وجود شمعة تسخين للمساعدة في بدء الحركة ووضعت بحيث يلامس قطبها رذاذ الوقود المحقون .



شكل (٢٤) يبين غرفة أكرو

غرفة كومنز :

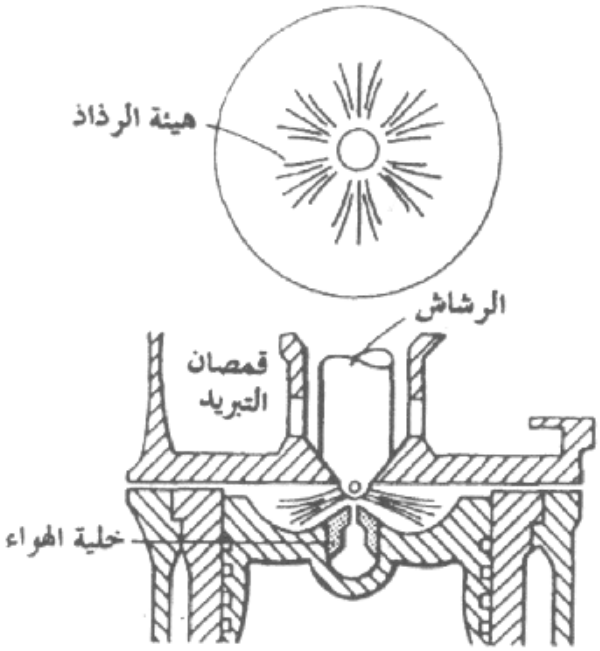
يبين الشكل (٢٥) غرفة احتراق لمحرك كومنز الأمريكي الصنع ويلاحظ بها ما يلي :

١- حجم غرفة خلية الهواء بالنسبة إلى غرفة الاحتراق صغير جداً يتراوح بين ٥٪ إلى ١٠٪ .

٢- أداء هذه الغرفة مقارب لأداء غرف الحقن المباشر بسبب صغر حجم خلية والهواء .

٣- يحقن الوقود إلى غرفة الاحتراق عبر رشاش ذي ثقوب تتراوح من ٦ إلى ٧ ثقوب .

٤- الهواء المندفع من غرفة الخلية يكاد لا يؤثر على عملية الاحتراق لضعف الإثارة الناتجة إلا أن أهمية الهواء المندفع تكمن في إزالته للوقود المتبقي على ثقوب الرشاش فيساعد في عدم تكون رواسب كربونية على رأس الرشاش .



شكل (٢٥) غرفة احتراق لمحرك كومنز

غرفة محرك (MAN) :

يبين الشكل (٢٦) غرفة خلية هواء من نوع (MAN) ، ويلاحظ بها ما يلي :

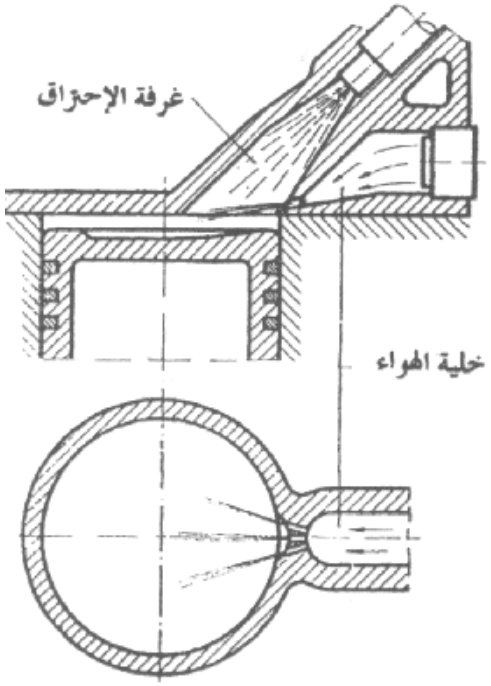
١- وضعت غرفة خلية الهواء أفقياً مع الأسطوانة مما يُمكن من استخدام صمامات سحب كبيرة وهي ميزة مطلوبة في المحركات السريعة .

٢- شكل غرفة الاحتراق على هيئة بوق (مخروطية الشكل) .

٣- يحقن الوقود في غرفة الاحتراق عبر رشاش ذي ثقوب متعددة .

٤- يندفع الهواء أفقياً من غرفة الإثارة عبر ثلاثة ثقوب إلى غرفة الاحتراق والأسطوانة نتيجة لزيادة حجم الأسطوانة بعد نزول المكبس أثناء شوط التمدد مما يساعد في احتراق كامل ولون عادم صاف عند الأحمال الكبيرة .

٥- لا يستخدم شمعة تسخين في المحركات المزودة بغرف خلية هواء نوع (MAN) .



يبين الشكل (٢٦) غرفة محرك من نوع (MAN)

رابعاً : غرف خلية الطاقة :

تسمى غرفة خلية الطاقة لانوفا (Lanova) وتُنتج محركات لانوفا لاستخدامها في المركبات وللأغراض البحرية في الولايات المتحدة الأمريكية ويفوق إنتاج المحركات المزودة بغرف احتراق ذات خلية الطاقة المحركات المزودة بغرف احتراق ذات خلية الهواء وذلك لجمعها لمميزات وخواص غرف خلية الهواء وغرف الاحتراق الجزئي ، ويلاحظ بغرف الاحتراق ذات خلية الطاقة شكل (٢٧) ما يلي :

١- تتكون من غرفتين :

أ- الأولى صغيرة في مواجهة الرشاش وتسمى غرفة خلية الطاقة ويبلغ حجمها من ١٠٪ إلى ٨٠٪ من حجم غرفة الاحتراق .

ب- الثانية أكبر حجماً وتسمى غرفة خلية الهواء .

٢- يفصل بين الغرفتين فوهة ضيقة وتتصل الغرفتان بغرفة الاحتراق والأسطوانة عبر فوهة أخرى ضيقة .

٣- يحقن الوقود عبر رشاش ذي ثقوب بضغط يتراوح بين ١٠٠ بار و ١٤٠ بار تقريباً .

٤- يدخل وقود إلى غرفة خلية الطاقة بنسبة ٦٠٪ من الوقود المحقون (يساعد الهواء المضغوط قبيل نهاية شوط الانضغاط على حمل الوقود إلى داخل غرفة خلية الطاقة) .

٥- يبدأ احتراق الوقود في غرفة الاحتراق بين الرشاش ومدخل غرفة خلية الطاقة . (يبدأ الاحتراق هنا بسبب ارتفاع درجة حرارة الهواء نتيجة بعد هذه المنطقة عن مجاري مياه التبريد).

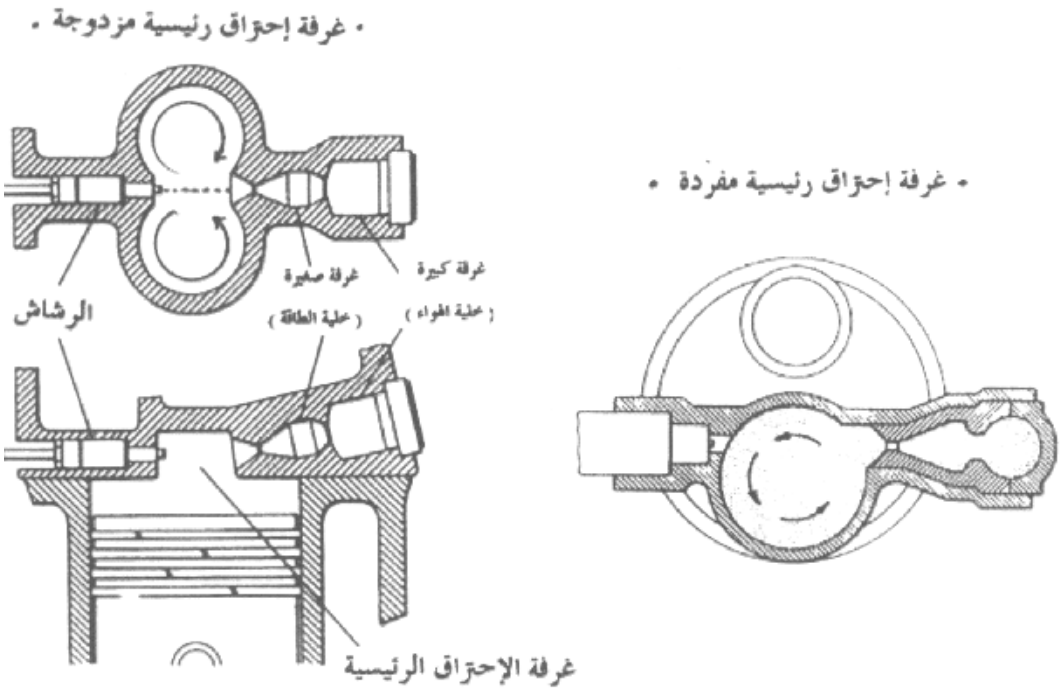
٦- يمتد الاحتراق إلى داخل غرفة خلية الطاقة ويرتفع الضغط وينحصر بها .

٧- تندفع نواتج الاحتراق من غرفة خلية الطاقة إلى غرفة الاحتراق فتقابل النتوء الموجود بالفوهة فتنقسم إلى دوامتين تدوران بسرعة عالية جداً وفي اتجاهين متضادين داخل غرفة الاحتراق .

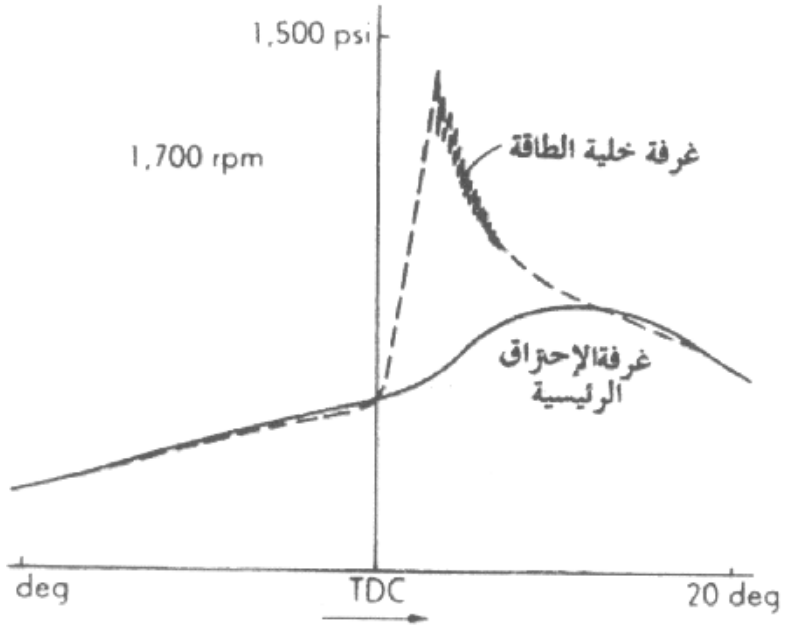
٨- تعمل هاتان الدوامتان على خلق إثارة تؤدي إلى توزيع الوقود غير المحترق والتعجيل بإحراقه .

٩- نتيجة لهذه الإثارة ولكبر حجم الفراغ بالأسطوانة لنزول المكبس بعد النقطة الميتة العليا يندفع الهواء من غرفة خلية الهواء عبر غرفة خلية الطاقة إلى فراغ الأسطوانة فيدفع بقايا نواتج الاحتراق بغرفة خلية الطاقة إلى فراغ الأسطوانة مكملاً حرق ما تبقى من الوقود .

١٠- ضيق فوهة خليتي الهواء والطاقة يسبب سرعة الهواء ونواتج الاحتراق خلالهما كما يسبب مدة التفريغ بينهما .



شكل (٢٧) يبين غرفة خلية الطاقة



شكل (٢٨)

يبين المنحنى البياني للضغط وزوايا عمود المرفق

فرق الضغط لكل من الاحتراق وغرفة خلية الطاقة

مميزات الغرف ذات الخلية (الهواء. الطاقة):

١- الحد من الارتفاع السريع في الضغط وخاصة في خلية الطاقة وذلك لوجود جزء من هواء الشحنة داخل الخلية ولحدوث الإثارة في الأسطوانة متأخراً مما يؤدي إلى إدارة لينة عند الأحمال والسرعات العالية .

٢- يمكن استخدام نسب ضئيلة للهواء الزائد وخاصة بغرف خلية الطاقة بسبب الإثارة العالية بها .

٣- استخدام ضغط حقن منخفض من ١٠٠ بار إلى ١٤٠ بار .

٤- نسب انضغاط منخفضة من ١٤ إلى ١٦ .

٥- يوجد في بعض تصميمات غرف خلية الطاقة صمام خاص يحرك عند بدء الإدارة لعزل خلية الهواء عن بقية حجم الخلوص مما يعمل على رفع نسبة الانضغاط وبدء دوران المحرك بسهولة .

عيوب الغرف ذات الخلية (الهواء. الطاقة) :

١- انخفاض كفاءتها الفعالة بسبب تأخر الاحتراق .

٢- ارتفاع الاستهلاك النوعي للوقود بسبب ارتفاع نسبة الوقود للهواء .

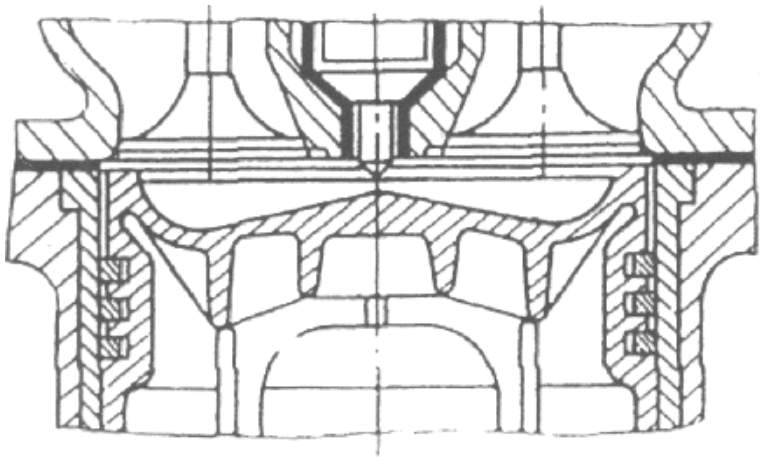
خامساً : الغرف المنبسطة (المفتوحة) :

١. غرف منبسطة (مفتوحة) بدون دوامة:

تتكون هذه الغرف من جزء واحد متصل وتستخدم تحديداً في المحركات ذات ضغط الهواء حيث يتكفل الهواء المضغوط بتوزيع الوقود ويستعان على التذرير برفع ضغط الحقن إلى ٣٠٠ بار وعلى توزيع الوقود بتعدد ثقوب الرشاش وتتخذ غرفة الاحتراق شكلاً يتناسب مع وضع الرشاش ويلاحظ في هذه الغرف شكل (٢٩) :

أ- رأس المكبس يكون مقعراً وذلك حتى يحول دون وصول الوقود إلى جدران الأسطوانة والتسرب إلى علبة عمود المرفق عبر حلقات المكبس مما يؤدي إلى تخفيف زيت التزييت .

ب- نسبة الهواء الزائد يصل إلى ٤٠٪ عند الحمل الكامل لتعويض عدم تجانس الخليط بسبب ضعف حركة الهواء .



شكل (٢٩) **غرفة احتراق منبسطة (مفتوحة) بدون دوامة**

مميزات غرف الاحتراق المنبسطة بدون دوامة :

أ- انخفاض الفقد في التبريد بسبب :

١. انخفاض درجات حرارة الدورة .

٢. ضعف حركة الهواء .

٣. انخفاض نسبة سطح غرفة الاحتراق إلى حجمها .

ب- الاستهلاك النوعي للوقود يقل بحوالي ١٥٪ عن المحركات ذات الغرف الأخرى .

ج- يفضل استخدام هذا النوع من الغرف في المحركات الكبيرة التي تعمل لفترات طويلة لأهمية اقتصاد الوقود .

عيوب الغرف المنبسطة بدون دوامة :

١- يستخدم رشاش ذو ثقوب متعددة لانعدام حركة الهواء .

٢- يركب رشاش الحقن في مركز متوسط لغرفة الاحتراق مما يؤدي إلى الحد من مساحة فتحات الصمامات .

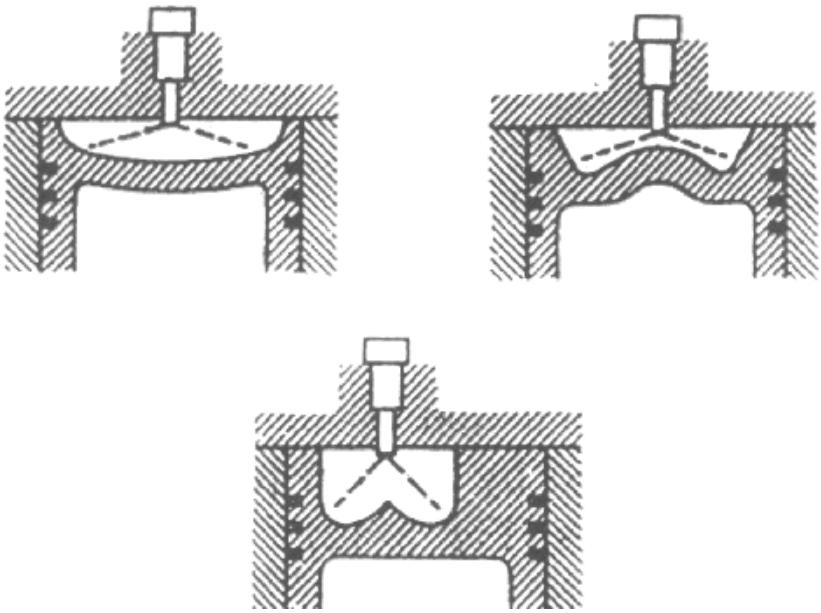
٣- ضغوط حقن مرتفعة تؤدي إلى :

أ- قدرة عالية لدوران المضخة .

ب- عمر افتراضي أقل لمضخة الحقن .

ج- احتمال حدوث تنقيط من الرشاش عند حدوث أقل تآكل لإبرة الرشاش .

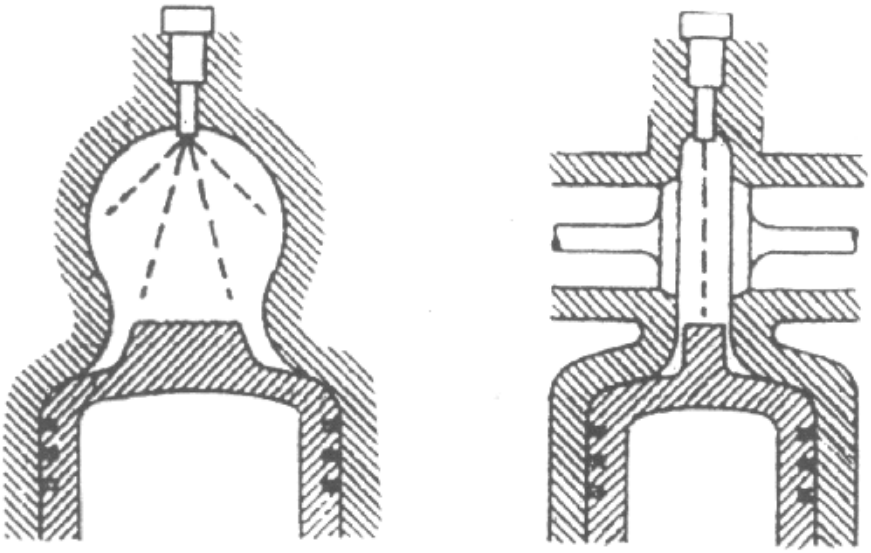
٤- عدم وجود أية وسيلة مساعدة لتقصير فترة عطلة الإشعال مما يؤدي لاستخدام وقود ذي رقم سيتان مرتفع .



نماذج مختلفة لغرف احتراق منبسطة بدون دوامة

٢. غرف منبسطة (مفتوحة) ذات مكبس طارد :

تكون غرفة الاحتراق بين صمامي السحب والعادم تتكون بها إثارة الهواء أثناء شوط الضغط عند دخول المكبس في العنق بين الأسطوانة وغرفة الاحتراق، شكل (٣٠) .



شكل (٣٠) غرفة احتراق ذات مكبس طارد

٣. غرف منبسطة (كروية) ذات دوامة من الشحن :

في هذه الغرف يتم الحصول على إثارة الهواء (حركة دوامية) عن طريق تصميم مجاري السحب على شكل حلزوني كما هو مبين في شكل (١٦) .

ويمكن زيادة الحركة الدوامية بعمل تجويف برأس المكبس على شكل شبه كروي ، شكل (٣١) أو شكل (٣٢) .

عام ١٩٥٤م ابتكرت شركة (MAN) غرفة احتراق شكل (٣١) مهدت السبيل لتطوير غرف الاحتراق الأخرى نظراً للنتائج الإيجابية التي أظهرتها المحركات التي تزودت بهذه الغرف وكانت الفكرة في اختيار اتجاه حقن الوقود داخل الشكل الكروي متوافقاً مع حركة الهواء الدوامية مما يساهم في احتراق جيد .

ويلاحظ في هذه الغرف :

المرحلة الأولى :

١. الحقن برشاش ذي ثقبين قطر كل منهما ٠,٤مم وبضغط ١٧٥ بار .
٢. يختلط ٥٪ من رذاذ الوقود المحقون بالهواء الذي يدور في غرفة الاحتراق بسرعة ١٠٠ متر في الثانية (يكتسب الهواء السرعة وحركة الدوران من شكل مجاري السحب الحلزونية) وهي تكفي لبدء الاحتراق .

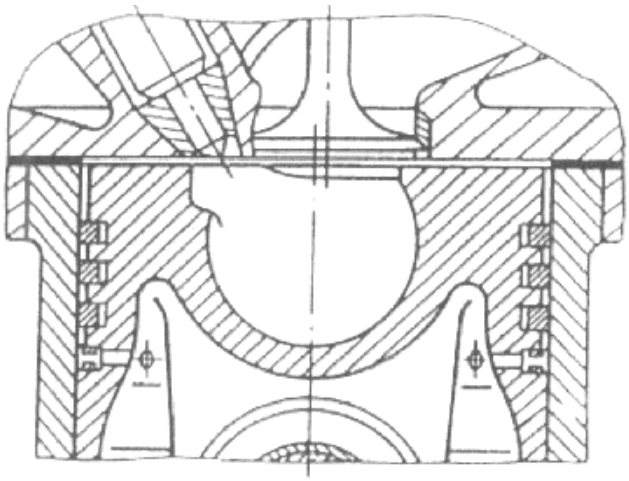
المرحلة الثانية :

٣. بقية الوقود المحقون ينتشر على سطح غرفة الاحتراق الكروي ولا بد من تبخره ثم احتراقه ، لهذا تستغرق المرحلة الثانية للاحتراق وقتاً أطول من المرحلة الأولى ، إذ لا يتوقف معدل الاحتراق على رقم السيتان للوقود بل على معدل كسح حركة الهواء الدوامية لأبخرة الوقود الملتصق بجدار الغرفة .

مزايا غرف الاحتراق المنبسطة ذات دوامة الشحن :

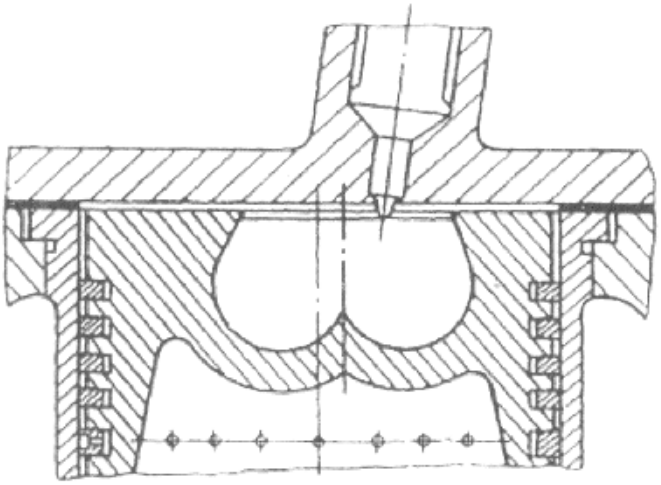
١. استخدام أي نوع من الوقود بصرف النظر عن رقم السيتان .
٢. استهلاك وقود أقل من الغرف الأخرى .

أما العيوب فلا تكاد تذكر .



شكل (٣١)

غرفة احتراق محرك MAN



شكل (٣٢)

غرفة احتراق ذات تجويفين

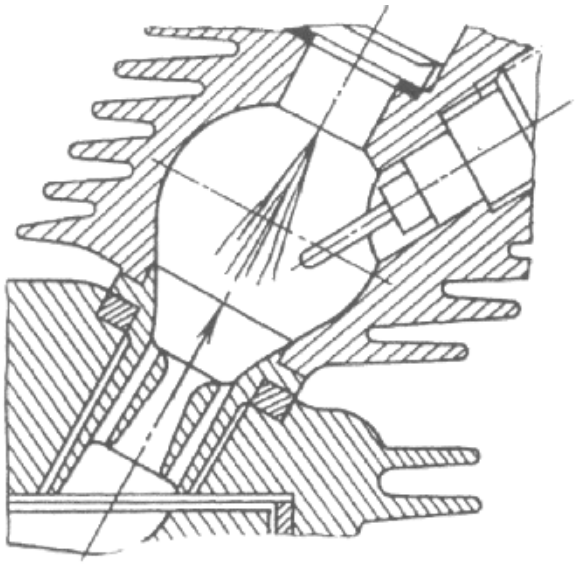
جدول مقارنة بين أنواع غرف احتراق محركات الديزل من حيث :

نوع غرفة الاحتراق	موقع غرفة الاحتراق	حقن الوقود بالرشاش	موقع حدوث الاحتراق	ملحظة
١. غرفة ذات دوامة(دوامية)	خارج الأسطوانة : بكتلة الأسطوانات أو بغطاء الأسطوانات	بداخل غرفة الإثارة	بداخل غرفة الإثارة	....
٢. غرفة إثارة أثناء الحريق (غرف احتراق جزئي)	خارج الأسطوانة : بغطاء الأسطوانات	بداخل غرفة الاحتراق الجزئي	بداخل غرفة الاحتراق الجزئي وفراغ الأسطوانة	....
٣. غرف خلية الهواء	بكتلة المكبس أو بغطاء الأسطوانات	بغرفة الاحتراق الرئيسة	بغرفة الاحتراق الرئيسة	قد تستخدم مع غرف ذات دوامة أو غرف احتراق جزئي
٤. غرف خلية الطاقة	بغطاء الأسطوانات مقابل الرشاش	بغرفة الاحتراق الرئيسة وخلية الطاقة	بغرفة الاحتراق الرئيسة وغرفة الطاقة	....
٥. غرف منبسطة (مفتوحة)	برأس المكبس (غرفة احتراق رئيسة)	بداخل غرفة الاحتراق الرئيسة	بداخل غرفة الاحتراق الرئيسة	....

شمعات التسخين :

تُجهز محركات الحقن غير المباشرة أو بعض المحركات الصغيرة الحديثة ذات الحقن المباشر بدائرة كهربائية متصلة بشمعات تسخين تركب بجوار الرشاش وبداخل غرفة الاحتراق ، أو الغرفة المسبقة لتسخين الهواء بداخلها لمساعدة المحرك عند بدء الدوران في حالات الطقس البارد أو عند توقف المحرك لمدة طويلة دون عمل .

تُركب بوضع تكون فيه قريبة من رذاذ الرشاش حتى يحدث الاشتعال سريعاً شكل (٣٣) .



شكل (٣٣) يبين وضع شمعة التسخين بالقرب من الرشاش بحيث يلامس رذاذ الوقود

طريقة عملها :

قبل إدارة المحرك في الصباح الباكر أو أثناء الطقس البارد ، يقوم السائق بتشغيل مفتاح توصيل شمعات التسخين الموجودة بلوحة القيادة ، وتستمر عملية التسخين بين ٤٠ ثانية و٦٠ثانية ، وذلك حسب تصميم نظام الدائرة الكهربائية ، وتُفصل إما بواسطة السائق قديماً ، أو بمؤقت كهربائي حديثاً .

أنواع شمعات التسخين :

١- شموع تسخين قضيبية ، شكل (٣٤) .
٢- شموع تسخين سلكية ، شكل (٣٤) .
٣- ملف تسخين (تُركب في مجاري السحب) ، شكل (٣٥) .
٤- شمعة توهج ذات لهب ، شكل (٣٦) .

ملحظة : توجد رموز متعارف عليها لتمييز شمعات التسخين وقيمة الجهد بالفولت المناسب لها مثل :

الرمز	الترجمة
W	الطراز الرئيس
145	القيمة الحرارية
(R)	المقاومة
T	طراز أو نوع فرعي
V	عدد مميز للنوع

رموز اصطلاحية لشمعة تسخين ماركة بوش

كما يختلف جهد ومقاومة وتيار كل شمعة تسخين عن الأخرى والجدول التالي يوضح ذلك :

نوع الشمعة	الجهد (V)	التيار (A)	القدرة (W)	المقاومة (Ω)	التوصيل
شمعة قضيبية	٠,٩ ١,٢ ١,٤ ١,٧	٤٩ ٤٧ ٤٠ ٤٢	٤٥- ٧٠	٠,٠١٨ ٠,٠٢٥ ٠,٠٣٥ ٠,٠٤	توالي + جهاز مراقبة التوهج+مقاومة
شمعة سلكية١	١٠,٥ ٢٢	٩,٥ ٥	١٠٠- ١١٠	١,١ ٤,٤	على التوازي على التوالي بجهاز مراقبة
شمعة سلكية٢	١٢ ٢٤	٩,٥ ٥	١١٠- ١٢٠	١,٢٦ ٤,٨	على التوازي بدون جهاز مراقبة (مصباح بيان)

أما ملف التسخين والذي يركب في مجاري السحب فتكون بياناته كالتالي :

نوع الشمعة	الجهد (V)	التيار (A)	القدرة (W)	المقاومة (Ω)	التوصيل
ملف التسخين	١٢	٣٣- ٥٧	٣٦٠- ٦٨٠	٠,٢١- ٠,٣٦	بمجاري السحب

أجزاء شمعة التسخين :

١- صامولة شد .

٢- القطب الداخلي .

٣- جسم شمعة التسخين .

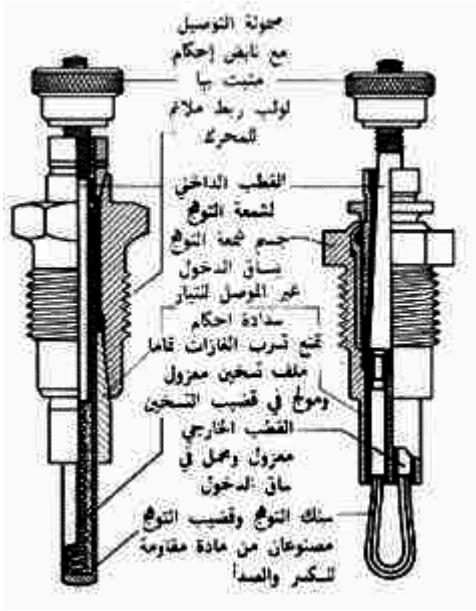
٤- جلبة إحكام لمنع تسرب الغازات .

٥- ملف تسخين معزول .

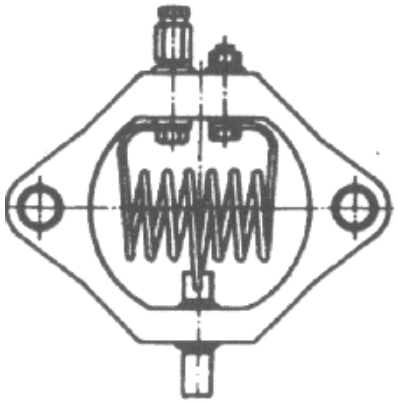
٦- قضيب التسخين .

(مصنّع من مادة مقاومة للكسر والصدأ) .

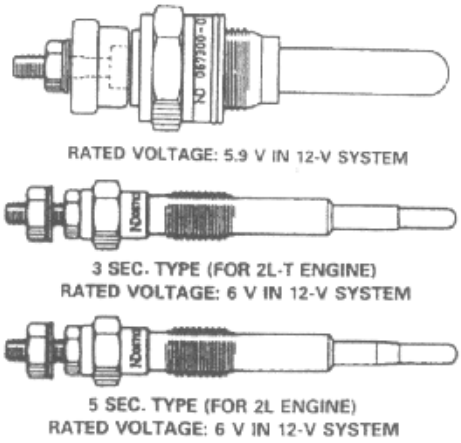
٧- القطب الخارجي .



شكل (٣٤) شموع تسخين قضيبية وسلكية



شكل (٣٥) يبين ملف التسخين



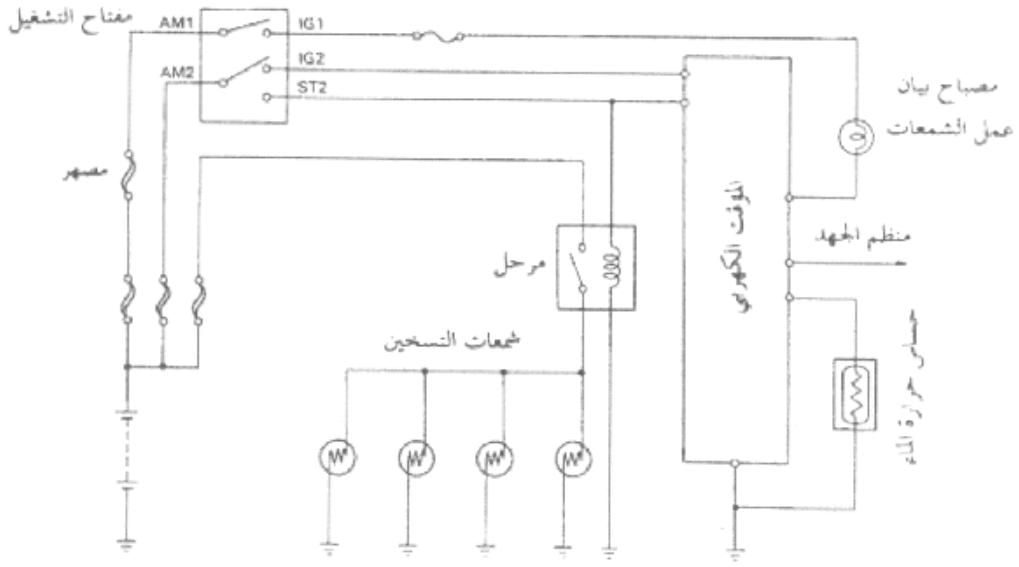
شكل (٣٦) يبين نماذج مختلفة من أنواع شمعات التسخين

الدائرة الكهربية لشمعات التسخين :

تُوصل دائرة شمعات التسخين بطريقتين :

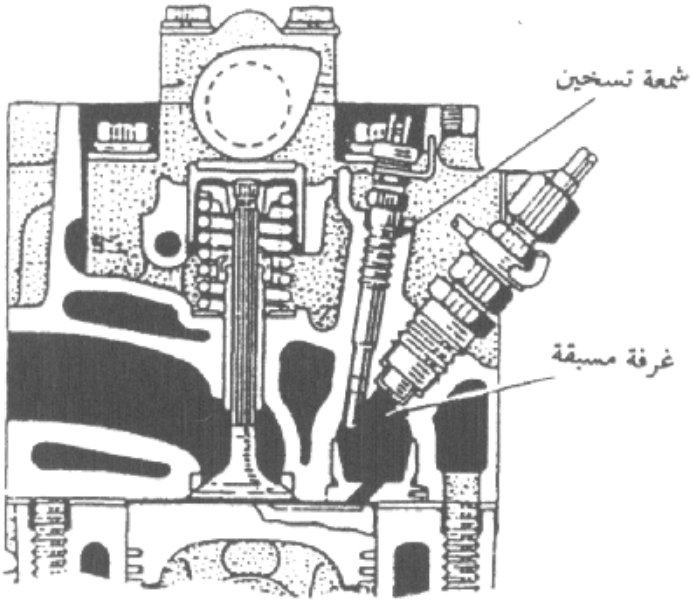
١. توصيل على التوالي .

٢. توصيل على التوازي شكل (٣٧) .

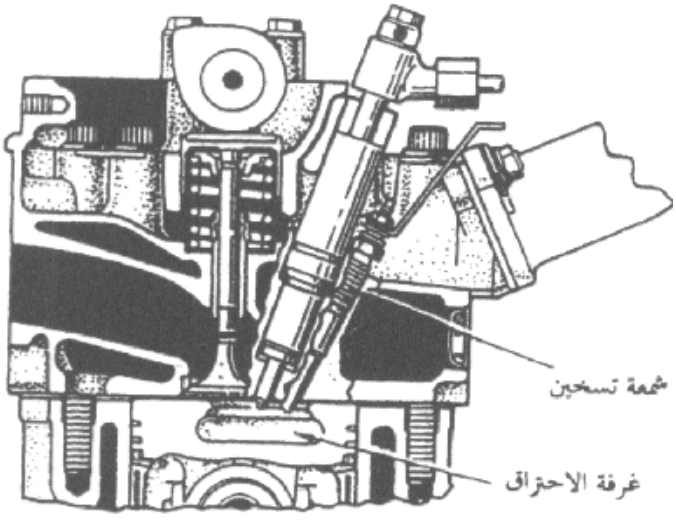


شكل (٣٧) يبين دائرة شمعات التسخين موصلة على التوازي

موضع شمعات التسخين بداخل المحرك



محرك حقن غير مباشر



محرك حقن مباشر

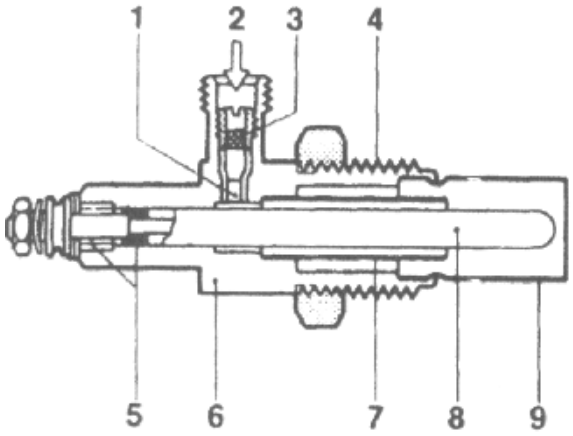
شكل (٣٨) يبين موضع شمعات التسخين

٦. شمعة توهج ذات لهب :

هناك طرق تعتبر من مساعدات المحرك لبدء الدوران منها شمعة التوهج ذات اللهب التي تقوم بتسخين جزء بسيط من الوقود وتحويله إلى لهب للمساعدة في سرعة احتراق الوقود بغرفة الاحتراق عند بدء الدوران وتُركب بمجاري السحب .

(يستخدم هذا النوع في المحركات الصغيرة) شكل (٣٩) .

١ – مقياس الوقود . ٢ – مدخل الوقود . ٣ – منقي .
٤ – أسنان التثبيت . ٥ – حلقة حبك . ٦ – جسم الشمعة .
٧ – غرفة التبخير . ٨ – قضيب التوهج . ٩ – جلبة اللهب .

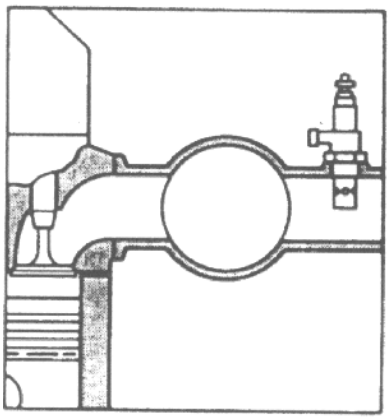


شكل (٣٩)

طريقة العمل :

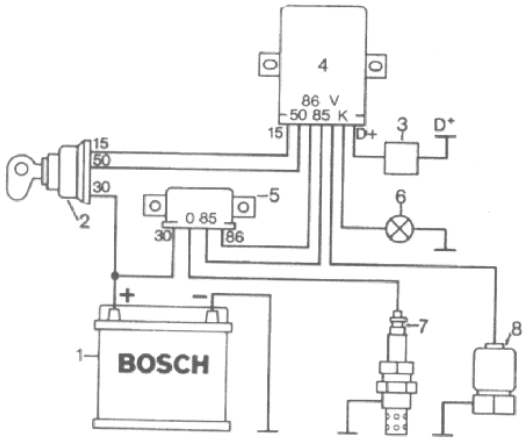
يدخل وقود عبر الثقب الخاص به مروراً بالمنقي ومقياس الوقود وتكون كمية الوقود الداخلة حسب تصميم المحرك ويتوزع حول قضيب التسخين ليتحول إلى بخار ويختلط بالهواء عبر الثقوب في مقدمة شمعة التوهج ذات اللهب وتصل الحرارة في هذه المنطقة إلى أعلى من ١٠٠٠ درجة مئوية ليخرج الخليط إلى مجاري السحب على شكل لهب يساعد في تسخين الهواء الذاهب إلى غرفة الاحتراق مما يساهم بشكل كبير في احتراق الشحنة داخل غرف الاحتراق عند بدء الدوران ، ويتحكم في دخول الوقود إلى شمعة اللهب صمام لاقط حيث يسمح بدخول الوقود ومن ثم يقطعه بعد دوران المحرك .

طريقة توصيل شمعة التوهج ذات اللهب :



وضع شمعة التوهج ذات اللهب بمجاري السحب

١- المركم .
٢- مفتاح التشغيل .
٣- مفتاح تشغيل الشمعة .
٤- وحدة التحكم بوقت التسخين .
٥- منظم الجهد .
٦- مصباح لبيان عمل الشمعة .
٧- شمعة ذات اللهب .
٨- صمام لاقط .



شكل (٤٠) يبين الدائرة الكهربائية لتوصيل شمعة التسخين ذات اللهب

محركات ديزل

نظم المحركات

الجدارة

- شرح نظام دخول الهواء وإخراج العادم وكذلك شرح معنى الكسح وتأثيراته على قدرة واستهلاك الوقود وتلوث البيئة وطرقه المختلفة .
- التعرف على نظام ووظيفة نظام التبريد وأنواعه وفهم طريقة عمل دوائر نظام التبريد وأجزائها ووظائفها وطريقة عملها وطريقة فحص النظام .
- التعرف على نظام التزييت ووظائفها وطريقة عملها .
- توضيح وشرح الطرق المختلفة لنظام تغذية الوقود وأهم مكونات دائرة تغذية الوقود ، وشرح وظيفة ومواصفات كل جزء من هذه الأجزاء .

الأهداف

- عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على :
- التعريف على نظام دخول الهواء وخروج العادم .
- التعرف على الكسح وتأثيراته على قدرة واستهلاك الوقود وصحة البيئة .
- التعرف على أجزاء نظام التبريد وأنواعه وفهم هذا النظام من حيث العمل والفحص .
- التعرف على أجزاء نظام التزييت من حيث الأنواع والوظائف وطريقة العمل .
- معرفة طرق نظام التغذية وأهم مكونات هذا النظام من حيث الوظيفة والمواصفات لكل جزء من أجزاء هذا النظام .

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ٩٥٪ .

الوقت المتوقع للتدريب : ٨ ساعات .

الوسائل المساعدة : جهاز عرض .

متطلبات الجدارة

اجتياز مقرر تقنية المعدات الثقيلة .

مقدمة

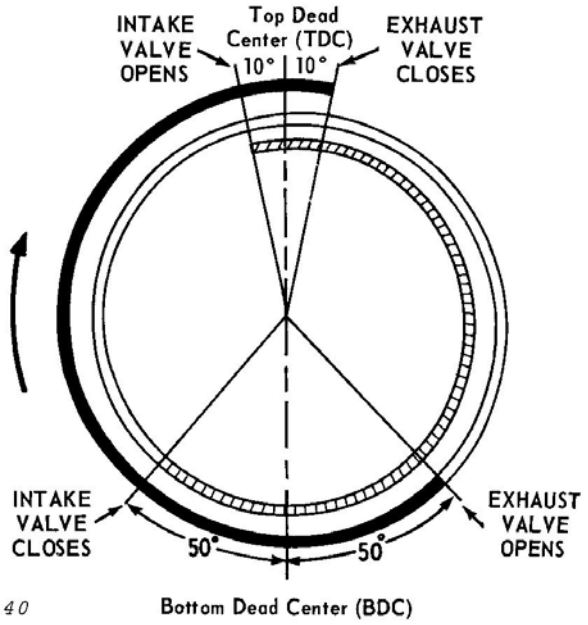
في هذه الوحدة سوف يتم شرح وتوضيح نظام دخول الهواء وخروج العادم ، ومعنى الكسح وتأثيراته على قدرة استهلاك الوقود وتلوث صحة البيئة والإنسان وطرقه المختلفة في محركات الديزل .
وكذلك شرح وتوضيح نظام التبريد وذلك لأهميته للمحافظة على درجة حرارة المحرك بأن تكون مناسبة في جميع ظروف التشغيل المختلفة .

ينقسم نظام التبريد إلى نوعين :
نظام تبريد بالهواء ونظام تبريد بالماء (التبريد المباشر والتبريد غير المباشر) وسوف ندرس كل نوع على حِدَة ونشرح هذين النظامين من حيث الأجزاء ووظيفة كل جزء في هذا النظام .
وفي هذه الوحدة سيتم شرح وتوضيح المقصود من دائرة التزييت ووصف مكونات هذا النظام ووظيفة كل جزء .
وكذلك توضيح وشرح الطرق المختلفة لنظام تغذية الوقود ، وأهم مكونات هذا النظام ووظيفة ومواصفات كل جزء من أجزاء نظام تغذية الوقود .

نظام دخول الهواء وخروج العادم

يقوم هواء الكسح في المحرك الثنائي بتنظيف الأسطوانة من الغازات المتبقية عن الدورة السابقة ليعاد شحنها بالهواء النقي .

ويستخدم شوط بأكمله في المحرك الرباعي لتحقيق الكسح وشوط آخر لتحقيق الشحن ، كما أن فترة التراكب في الفتح بين صمامات الحر والعادم تؤكد كفاية الكسح ، لذا فلن يشكل طرد الغازات وإعادة الشحن في المحرك الرباعي عقبة من أي نوع ، ويتضح ذلك من مراجعة بياني التوقيت في الشكل (٤١) .



الشكل (٤١) بيان التوقيت لصمام الهواء والعادم في المحرك الرباعي

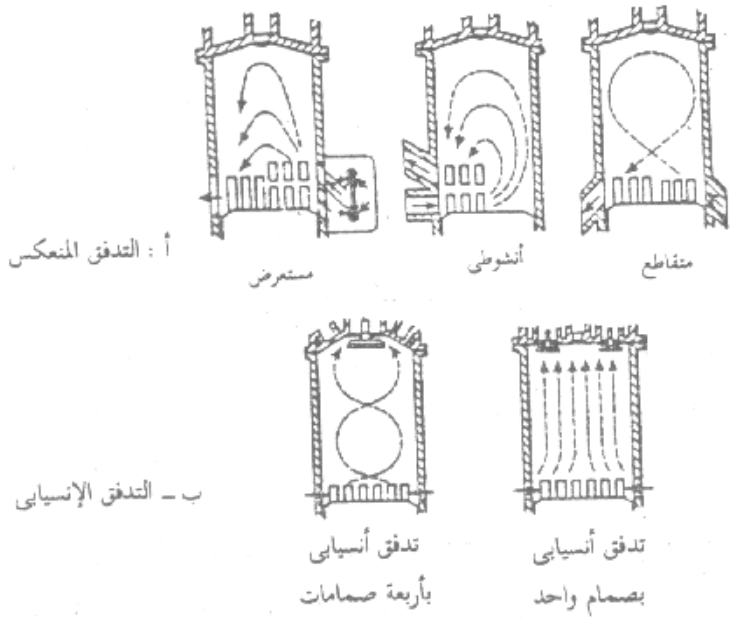
وتتعقد مشكلة الكسح في المحركات ثنائية الأشواط على وجه الخصوص ويتضح ذلك عندما نتبين أنه من اللازم تخليص الأسطوانة كلياً مما بها من غازات العادم ليعاد شحنها بالهواء النقي في مدى صغير نسبياً من الوقت المسموح به ، ويمكننا تقسيم فترة الكسح إلى ثلاث عمليات متتابعة وهي خروج العادم والكسح وإعادة الشحن ، ويجب أن تتم هذه العمليات قرب النقطة الميتة السفلى للكباس في نهاية شوط التمدد وبداية شوط الانضغاط ، أي عند إبطاء سرعة الكباس ، وبالتالي تفقد الميزة المستخدمة في المحرك الرباعي الأشواط وهي استخدام الكباس ذاته في عملية الكسح .

أنواع الكسح في المحركات الثنائية :

يتبع أحد مبدئين رئيسين للكسح في المحرك ثنائي الأشواط هما التدفق الانسيابي أو التدفق المنعكس ولكل مبدأ مميزاته المحددة .

ويدخل الهواء للأسطوانة في مجموعة التدفق الانسيابي خلال بوابات (فتحات) موجودة في الطرف السفلي من البطانة ، وتصمم البوابات بحيث يتم توجيه الهواء متماثلاً خلال الأسطوانة ليدفع الغازات إلى الخارج خلال فتحات في الطرف العلوي من البطانة مثلما نجد في محرك " دكسفورد " (كباسات متضادة) ، أو خلال فتحة صمام العادم مثلما نجد في محرك " بروميستر " ويمكن عندئذ أن يتم توقيت فتح وغلق مخارج العادم بحيث نقلل ما أمكن من خروج الهواء النقي ونحقق في نفس الوقت كسحاً تاماً نظيفاً لغازات العادم من الأسطوانة ، ويلاحظ أن الاعتبار الأساسي هو الحصول على أكبر قدر ممكن من الأسطوانة ويلاحظ أن الاعتبار الأساسي هو الحصول على أكبر كفاية للكسح بأقل ضغط هواء وأقل حجم ممكن وذلك لكي نقلل القدرة المفقودة في إنتاج هواء الكسح .

وتوجد بوابات الهواء والعادم في وحدات التدفق المنعكس عند الطرف السفلي للأسطوانة ، ويتم التشغيل بواسطة الكباس الذي يقوم بتغطية أو تعرية البوابات ، وقد تكون مجموعة بوابات الهواء النقي في ناحية مضادة لمجموعة بوابات العادم من البطانة ، كما يجوز أن تكون المجموعتان في ناحية واحدة فقط تبعاً للتصميم المستقل بها ، كذلك يمكن تنظيم بوابات الهواء أو العادم على صفين .



الشكل (٤٢) أنواع الكسح في المحركات الثنائية

وقد يستخدم المصمم أحياناً صمامات تنظيم على بوابات العادم أو هواء الداخل ، ويبين الشكل (٤٢) ثلاثة أنواع للتدفق المنعكس ، وهي المستعرض والأنشواطي والمتقاطع ، وهي جميعاً مستخدمة عملياً لتنظيم الكسح المنعكس ويراعى أن عمل صمامات التنظيم يتبع نظرية اللارجعة ، ولا يبدأ عملها في خط الهواء الداخل إلا بعد انخفاض الضغط داخل الأسطوانة لما هو أقل من ضغط هواء الكسح ، وقد أدت التحسينات في التصميم إلى تقليل الفقد في هواء الكسح وارتفاع جودة الكسح في مجموعة التدفق المنعكس لتناظر مجموعة التدفق الانسيابي .

طرق الكسح

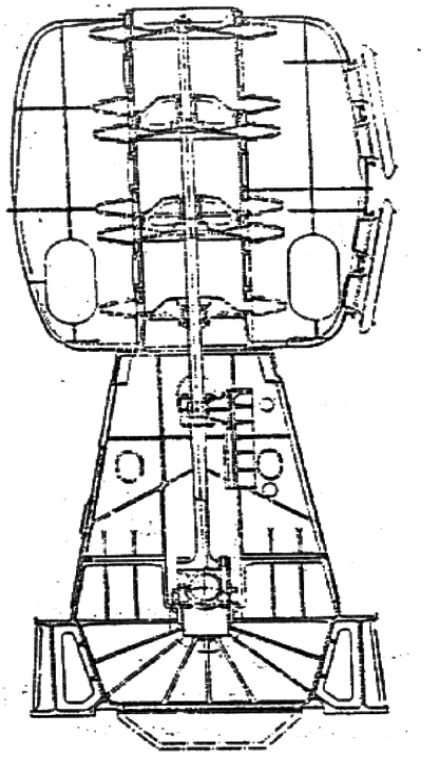
تستخدم طرق لتوريد هواء الكسح المطلوب بكميات كبيرة عند ضغط أعلى قليلاً من الضغط الجوي ، وفيما يلي أهم الطرق المستخدمة .

المضخات الترددية لهواء الكسح :

يشيع استخدام المضخات الترددية المزدوجة الأداء لتوريد هواء الكسح ، ويجوز استخدام مضخة خاصة بكل أسطوانة، كما يجوز استخدام مضخة مفردة كبيرة لها سعة كافية للمحرك بأكمله شكل (٤٣) ويتم توريد الحركة لكباس المضخة في هذه الحالة من عمود المرفق ، أما في المضخات المستقلة لكل أسطوانة فيتم تعشيق وصلة بين كباس المضخة والرأس المنزلق لذراع التوصيل شكل (٤٣) .

ويراعى أن مضخات الكسح تستهلك حوالي ٥٪ من قدرة المحرك لدورانها كما يلاحظ أن الخلوص بين كباس المضخة في ن . م . ع ورأس أسطوانة الكسح يتراوح بين ٣ ، ٥ مم . وتزود مضخات الكسح بصمامات لارجعة من أقراص أو ريش رقيقة وتتوقف جودة المضخة بدرجة كبيرة على حالة هذه الصمامات .

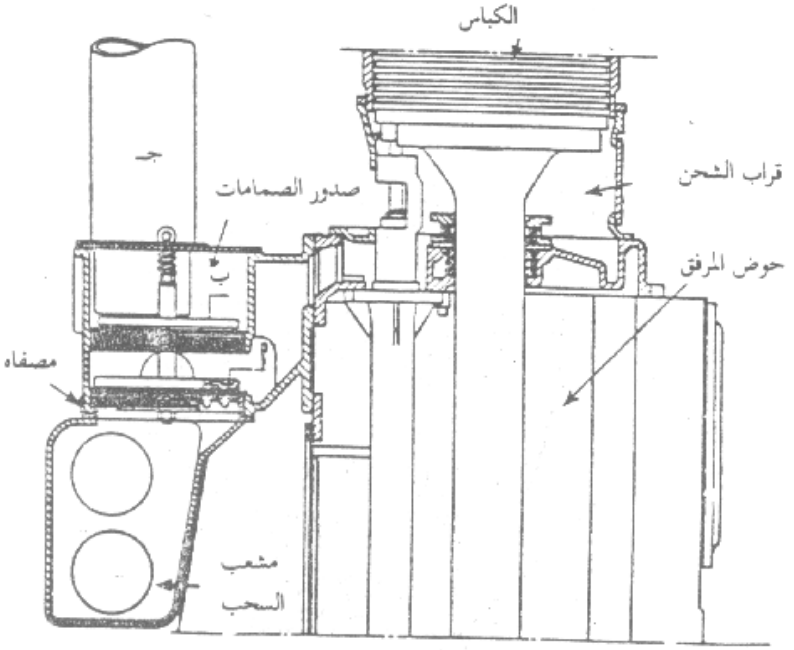
والمعروف أن مضخات هواء الكسح الترددية تعمل بكفاءة متساوية في كلا اتجاهي الدوران .



شكل (٤٣) مضخة كسح ترددية مستقلة لكل وحدة أسطوانة

الكسح عن طريق أسفل الكباس :

يقتصر استخدام الكسح بطريقة أسفل الكباس على المحركات الثنائية طراز الرأس المنزلق ، ولا يمكن عملياً الاعتماد على كمية الهواء الموردة بهذه الطريقة فحسب للقيام بعملية كسح الأسطوانة ، لذلك فعادة ما تكون إضافية لوسيلة أخرى من وسائل الكسح ، والمعروف أن نسبة هواء الكسح المطلوبة تكون ١,٦ ضعف حجم أسطوانة المحرك وهو ما لا نستطيع توفيره بواسطة الكسح عن طريق أسفل الكباس . ويبين الشكل (٤٤) محرك ثنائي الأشواط مفرد التشغيل يعمل بطريقة الكسح من أسفل الكباس بالإضافة إلى مضخات كسح ترددية منفصلة تعمل بتوصيلات لكل رأس منزلق.

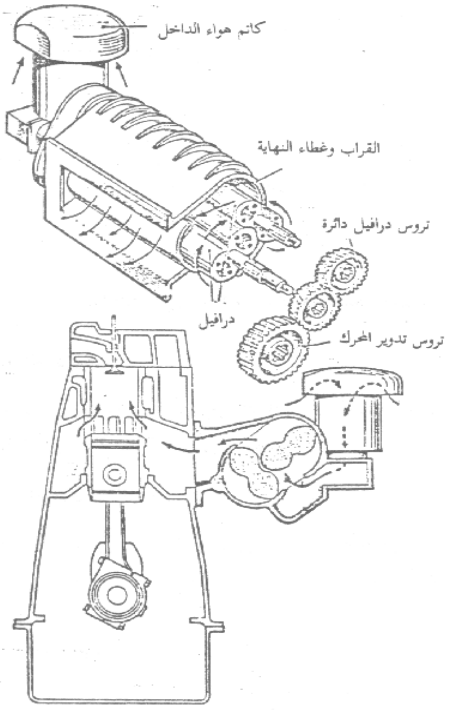


الشكل (٤٤) استخدام أسفل الكباس كمضخة كسح

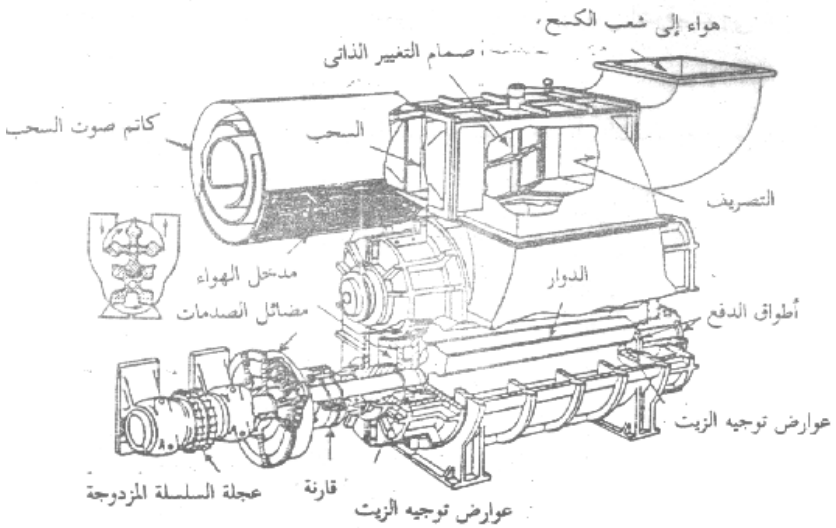
الكسح بالنفاخات الدورانية :

يراعى أن النفاخات الدورانية ذات الإزاحة الموجبة توفر لنا مزايا عديدة كمورد لهواء الكسح في المحركات الكبيرة ، فهي متزنة ديناميكياً وخالية من الاهتزازات الناتجة في الكباسات الترددية ، كما يقل الفقد بالاحتكاك وبالتالي تزداد جودتها الميكانيكية ، ويحتاج إنتاجها إلى تقنية عالية لتحقيق أدق الخلوصات المرعية بين الأعضاء الدوارة ومن الضروري لتحقيق كفاية عالية في تشغيلها أن نراعي تقليل البرى (البلى) في المحامل وتروس التوقيت إلى أدنى درجة ممكنة .

والمعروف أن النفاخات الدورانية تستلزم تبديل مدخل الشفط ومخرج الطرد عند عكس الدوران شكل (٤٥) .



شكل (٤٥) النفاخ الدوراني لهواء الكسح في محرك ثنائي



شكل (٤٦) النفاخات الدورانية لهواء الكسح والشحن الجبري

المراوح الطاردة المركزية :

قد تستخدم المراوح الطاردة المركزية لتزويد المحرك بهواء الكسح ، ويجوز أن يكون دورانها مستقلاً أو بواسطة محركات كهربية خاصة .

الشحن الجبري (الزائد) :

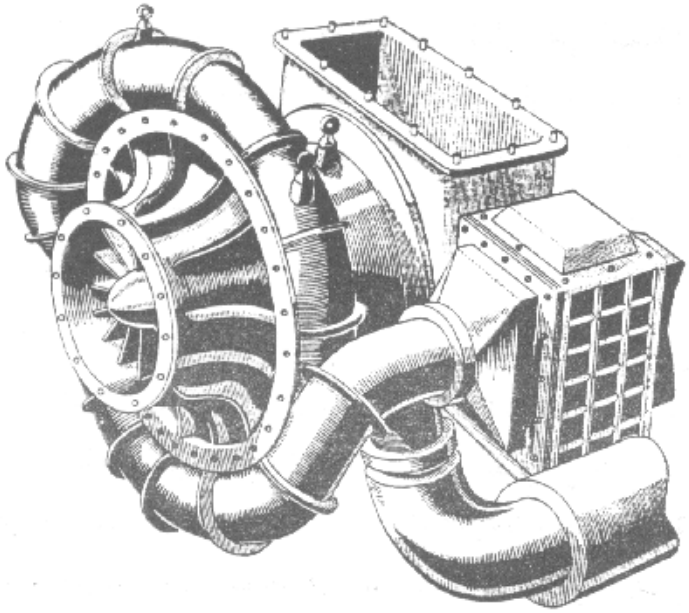
يحتاج الوقود المحقون في الأسطوانة نظرياً إلى ١٤,٥ ضعفه من الهواء (بالوزن) ليتم احتراقه ، ولكننا نحتاج عملياً إلى هواء أزيد من ذلك لنضمن الاختلاط التام بينه وبين ذرات الوقود المحقون ، وذلك في الفترة القصيرة (نسبياً) التي تقع بين حقن الوقود واحتراقه .

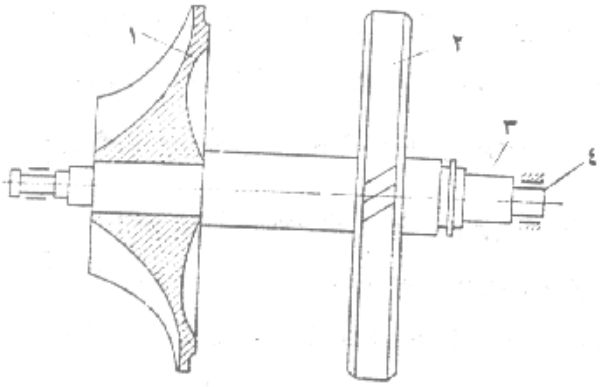
وتتحدد القدرة الناتجة من المحرك (الثنائي أو الرباعي) بمقدار أقصى كمية وقود يمكن احتراقها بكفاية ، وهي تعتمد بالتالي على كمية (كتلة) الهواء الموجود في الأسطوانة عند بداية شوط الانضغاط ، فإذا استطعنا زيادة كثافة (وبالتالي كتلة) الهواء المورد إلى الأسطوانة لأكثر من قيمة الهواء الجوي بواسطة ضاغط هواء خارجي ، إذن لأمكننا إشعال كمية أكبر من الوقود وبالتالي تزداد القدرة الناتجة لدينا والناشئة عن الاحتراق .

ويمكن استخدام أي من الطرق الشائعة للكسح ، ولكن يراعى أن أي معدات يديرها المحرك سوف تستهلك جزء من القدرة الناتجة ، ومن هنا نشأت فكرة استخدام الطاقة المطرودة في غازات العادم والتي تصل إلى ٣٨٪ من الطاقة الكلية للوقود في تشغيل (تدوير) تربينة غازية ذات مرحلة واحدة مقترنة مباشرة بمروحة طاردة مركزية هي ضاغطة هواء بمرحلة واحدة ، وربما يصل ضغط الهواء الناتج بتلك الطريقة إلى ٣,٠ بار داخل مجمعات الهواء ، وتزداد الجودة الميكانيكية الإجمالية للمحرك نتيجة لذلك ، ونستطيع الحصول على قدرة أعلى من المحرك مع نقص الاستهلاك النوعي للوقود .

وعند زيادة ضغط هواء الشحن في المحرك الرباعي بمقدار بسيط (من ٠,٢٨ بار ـ ٠,٣٥ بار) تزداد قدرة المحرك بحوالي ٥٠٪ عن القدرة الناتجة من محرك مماثل بالشفط المعتاد ويزداد عندئذ متوسط الضغط الفعال (م . ض . ف) من حوالي ٥,٣ ـ ٦ بار إلى حوالي ٨,٥ ـ ٩,٢ بار .

ويصل ضغط الشحن الزائد في بعض المحركات الرباعية الحديثة إلى ٢,٨ بار ليصل بمتوسط الضغط الفعال إلى ١٨ بار ، وتتضح لنا الفكرة الأساسية لعملية الشحن الجبري (الزائد) كما هي مبينة في الشكل (٤٧) .



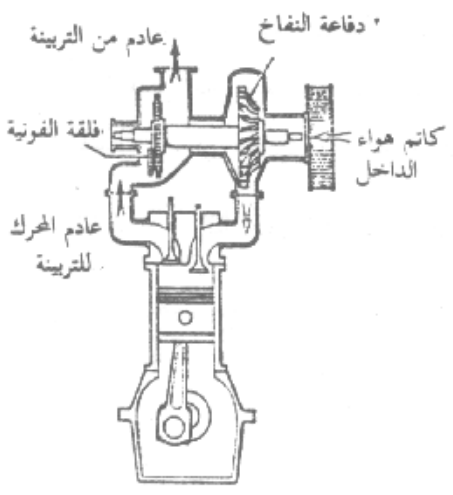


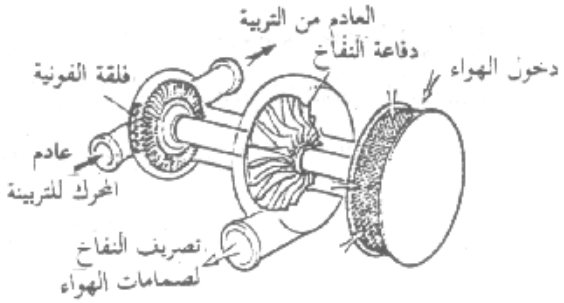
١ : عجلة تربينة غازات العادم

٢ : دفاعة (مروحة) هواء

٣ : عمود الدوران

٤ : محمل كرسى عمود الشاحن





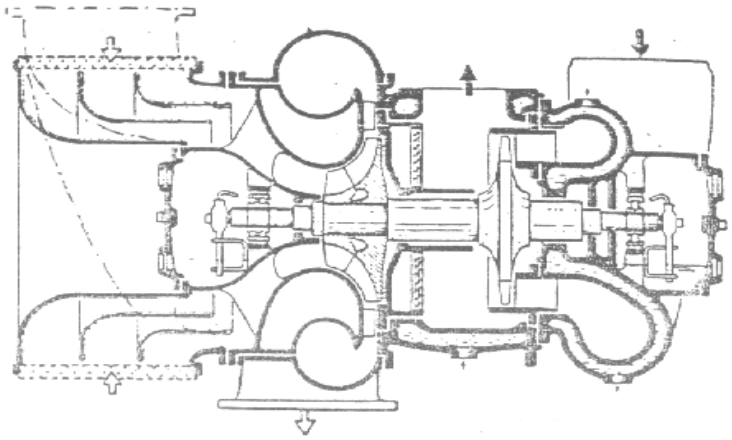
الشكل (٤٧) استخدام الشاحن التربيني لمحرك رباعي

الشاحن التربيني بغازات العادم :

يتكون الشاحن من ضاغط هواء دوراني (مروحة) بمرحلة واحدة وتربينة بمرحلة واحدة تعمل بغازات العادم لتشغيل الضاغط الدوراني بالطرد المركزي . وتعتمد سرعة الشاحن كلية على الحمل الواقع على المحرك فكلما زاد الحمل زادت سرعة الشاحن ، وبالتالي فليس هناك أي تحكم ميكانيكي على سرعة الشاحن ، ولذلك يختلف تشغيل المحرك بالشاحن عن تشغيل المحرك بالشفط المعتاد .

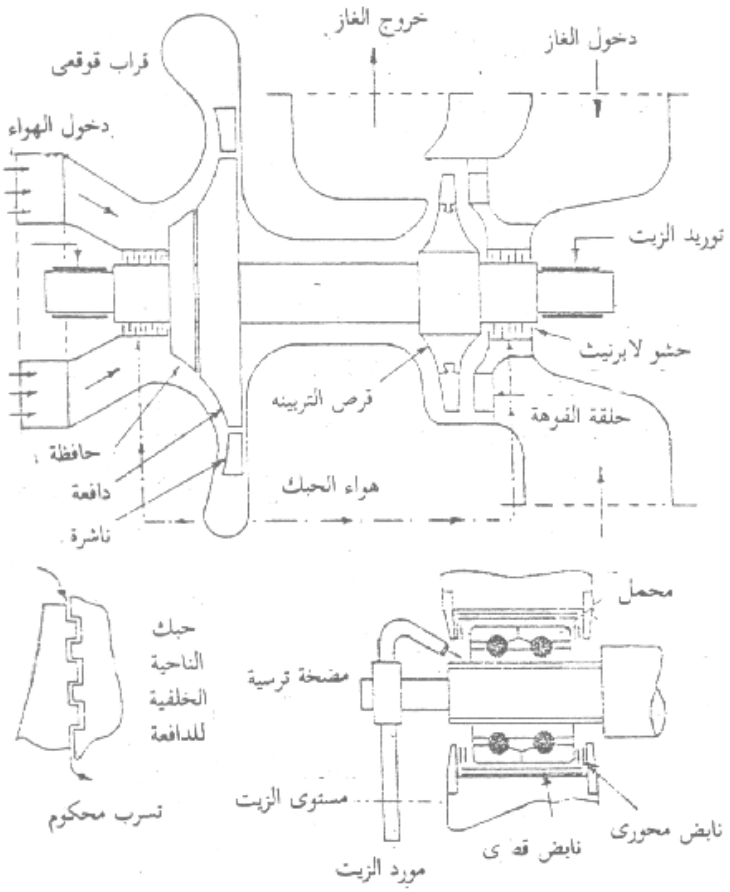
ويتم إنتاج العمود الدوار وقرص التربينة كجزء واحد ، وتثبت ريش التربينة في مجار خاصة داخل القرص وتصنع من الصلب المقاوم للحرارة ، بينما تتصل مجموعة الضاغط (النفاخ) بخابور تثبيت على العمود الدوار ، وهناك نوعان من النفاخات أحدهما يعمل بالضغط المرتفع والآخر بالضغط المنخفض . ويزود الشاحن أحياناً بكاتم للصوت ويعمل كاتم الصوت على تقليل الضوضاء الناشئة من تدفق الهواء خلال مواسير السحب ، كما يجوز أن يتم سحب الهواء مباشرة من غرفة المحركات أو يوصل بماسورة خاصة لسحب الهواء من الجو الخارجي .

ويتكون جانب مروحة الهواء كما هو موضح في الشكل (٤٨) من غلاف حلزوني مصنوع من سبيكة المونيوم خفيفة يوجد بداخلها مستقبل (حافظة) ودفاعة وحارف (ناشر) مصنوعة جميعها من نفس سبيكة الألمونيوم ، ويعمل المستقبل (الحافظة) على توجيه الهواء بنعومة داخل عين الدفاعة حيث يتم دفعه بالطرد المركزي للخارج بفعل السرعة الدروانية الشديدة ، وعند خروج الهواء من الدفاعة يمر بالحارف حيث تنقص سرعته في الممرات المتزايدة الاتساع ، وبالتالي تتحول طاقة السرعة إلى طاقة ضغط ويعمل الحارف أيضاً على توجيه الهواء المطرود بنعومة في الغلاف الحلزوني (القوقعي) الذي يوالي فعل تخفيض السرعة وزيادة ضغط الهواء ومنها يخرج الهواء إلى مجمع الكسح بعد مروره خلال المبرد .



الشكل (٤٨) مقطع خلال الشاحن التربيني بغازات العادم

ويتكون جانب تربينة العادم من (غلاف) من الحديد الزهر يتم تبريده بالماء العذب ويوجد بداخله حلقة فوهات (فواني) التربينة وقرص الريش ، وتصنع تجميعة القرص والعمود الدوار من سبيكة الفولاذ النيكل كروم ، حيث يتعرض في تشغيله لدرجات حرارة تزيد أحياناً عن ٤٥٠° م ويتعرض أيضاً لبعض التبريد من الهواء المستنزف خلال حلقات (التيه) بين ظهر الدفاعة وغلافها الحلزوني ، ويفيدنا الهواء المنفوث في زيادة الإحكام والحبك في حشو اللابرنيث الموجود بين العضو الدوار ومحامل الكراسي ، ويستمد الهواء من جانب الطرد لمروحة الهواء ليمنع اختلاط الهواء أو الغازات بزيت المحامل .



شكل (٤٩) رسم تخطيطي لأجزاء الشاحن التربيني بكراسي البلى

ويتم عادة توصيل مياه تبريد قميص الأسطوانة لتبريد (غلاف) العادم ، بالرغم من أن مياه البحر قد استخدمت للتبريد في بعض ا لأحوال ، وعلى أي الوضعين فلا بد من وجود خوابير الحماية من الصدأ ، ولا تزال تلك المشكلة بوجه خاص تحتاج للكثير من التحسين ، وقد أمكن حالياً التغلب عليها باستخدام تبريد الهواء لمضاءلة تأثير فعل المياه في الصدأ خصوصاً عند الأحمال الجزئية

تركيب الشاحن :

يتم عادة ربط الشاحن بالمحرك بوصلة خاصة تعمل على تلقي الإجهادات الزائدة التي قد تؤثر على جسم الشاحن ، وتستخدم وصلات تمدد لمواسير دخول العادم وخروج الهواء بين المحرك والشاحن مع تلافي الإنحناءات الحادة ، وتتصل ماسورة خروج الهواء بالمبرد مع مراعاة شروط التدفق السليمة ، ولا بد من مراعاة منع الغبار والأتربة من دخولها للشاحن وذلك باستخدام مرشح الهواء .

وقد تستخدم أحياناً توصيلة من الشاحن لتهوية فراغ حوض المرفق ، ولا بد عندئذ من وجود فاصل للزيت على ماسورة السحب من حوض المرفق لتمنع وصول الزيت إلى الشاحن .

ويتم تصفية المياه المتكثفة بعد تبريد الهواء المضغوط بواسطة (محابس تصفية) خاصة .

عندما يحرق المحرك الوقود تتولد حرارة عالية (درجة الحرارة القصوى ٢٢٠٠ درجة مئوية) ويستفيد المحرك من حوالي ٣٥٪ من هذه الحرارة لتحريك المركبة ، أما باقي الحرارة فيجب التخلص منها كحرارة زائدة ، وإذا لم يتم التخلص من هذه الحرارة فإن ذلك سوف يؤدي إلى تلفيات جسيمة للمحرك وعلى النقيض الآخر في حالة التخلص من كمية أكبر من الحرارة المطلوبة يحدث للمحرك تبريد زائد ويؤدي ذلك إلى زيادة في استهلاك الوقود وانخفاض قدرة المحرك وتآكل عال بأجزاء المحرك ، ولهذا فإنه يجب صيانة أجزاء نظام التبريد بصفة دورية وسليمة لمنع حدوث أي من تلك المشاكل .

وظيفة نظام التبريد :

نظام التبريد السريع لدرجة حرارة التشغيل للمحرك .

١- الوصول السريع لدرجة حرارة التشغيل للمحرك .

٢- المحافظة على درجة حرارة التشغيل للمحرك .

٣- التخلص من الحرارة الزائدة بالمحرك .

٤- المساهمة في عملية التدفئة بالمركبة .

أنواع نظم التبريد :

هناك نوعان أساسيان من نظم التبريد بالمحركات هما نظام تبريد الهواء ونظام تبريد الماء، شكل (٥٠).

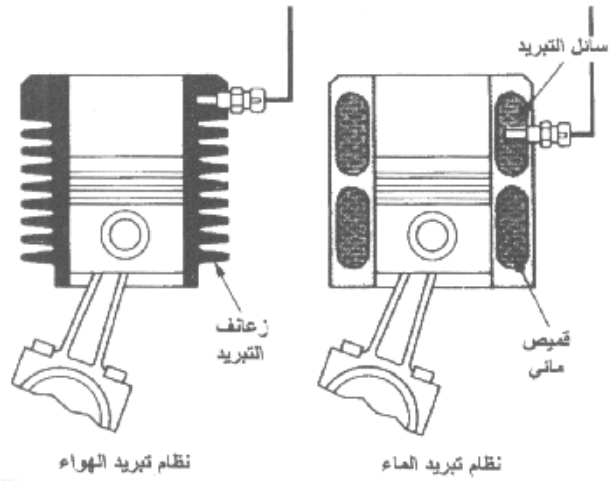
نظام تبريد الهواء :

يتكون محرك تبريد الهواء من أسطوانات منفصلة ويصنع السطح الخارجي لكل أسطوانة على شكل زعانف الغرض منها زيادة مساحة سطح التبريد للتخلص من الحرارة الزائدة للمحرك ، ويركب على الأسطوانات موجّه من الصاج لتوجيه الهواء للمرور على الأسطوانات .

ويعتبر استخدام تبريد الهواء بالمحركات الخاصة محدود حيث إن غالبية المحركات الصغيرة تستخدم المياه في التبريد .

نظام تبريد الماء :

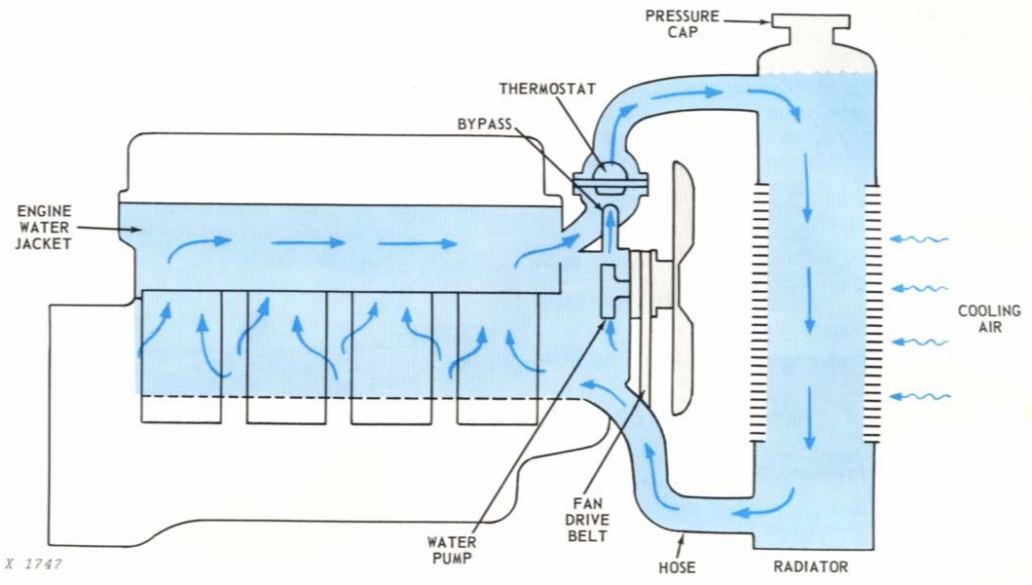
يتم بهذا النظام تمرير سائل التبريد المكون من المياه بالإضافة إلى سائل مانع التجمد خلال قميص مائي (مسارات داخلية تحيط بأسطوانة المحرك) ويعمل سائل التبريد على تجميع الحرارة والتخلص منها ، ويتميز نظام تبريد الماء بعدة مميزات عن نظام تبريد الهواء تجعله الأكثر انتشاراً بسيارات الركوب .



شكل (٥٠) نظام تبريد الماء ونظام تبريد الهواء

نظرية العمل لنظام تبريد الماء :

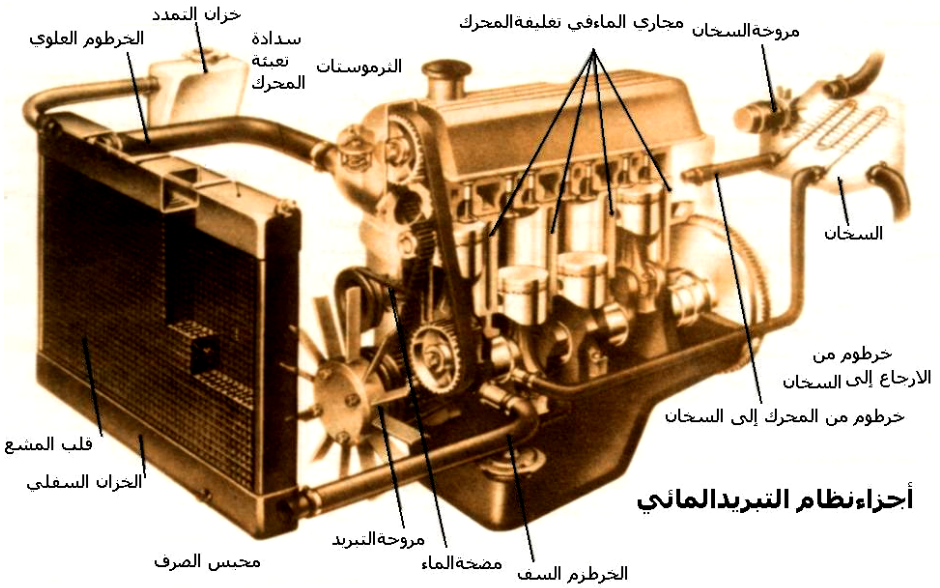
نظام التبريد هذا يعمل عن طريق سريان سائل التبريد حول الأسطوانات ومناطق الاحتكاك ، وتنتقل الحرارة من الأجزاء الساخنة إلى سائل التبريد الذي ينساب إلى المشع حيث يعمل الهواء الذي يمر من خلال المشع على حمل حرارة السائل والتخلص منها ، ثم يعود السائل مرة أخرى إلى الانسياب حول الأسطوانات وهكذا تستمر دورة السائل بنظام التبريد ، شكل (٥١) .



شكل (٥١) نظام التبريد بالماء

أجزاء نظام تبريد الماء :

- سائل التبريد .
- المشع .
- غطاء المشع .
- خزان الفائض .
- مسارات المياه بالمحرك (قمصان التبريد) .
- ليَّات المشع .
- الثرموستات .
- مضخة المياه .
- مروحة التبريد .
- نظام التدفئة .
- مبرد نظام القدرة .
- مبينات الحرارة ولمبات التحذير .



شكل (٥٢) أجزاء نظام التبريد

سائل التبريد :

مميزات وعيوب سائل التبريد

يستخدم الماء للتبريد للأسباب التالية	عيوب استخدام الماء للتبريد
توفره ورخصه	أنه يتجمد عند درجة حرارة صفر مئوية
امتصاص جيد للحرارة	يؤدي إلى صدأ الأجزاء المعدنية
انسياب سلس	يترك رواسب بالمحرك
ليس هناك خطورة في التعامل معه	يتبخر

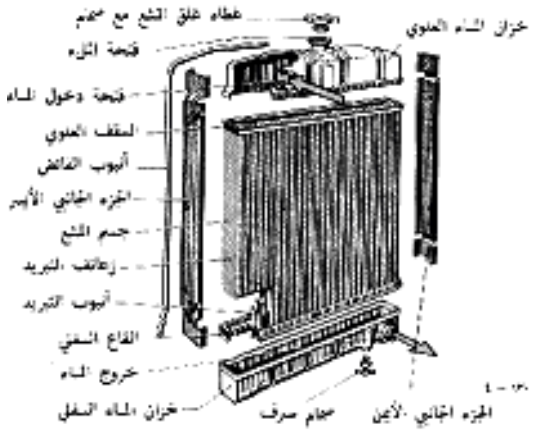
ولتقليل عيوب استخدام المياه بالنظام يضاف إلى الماء سائل منع التجمد بنسبة ٥٠٪ لتكوين سائل التبريد وينصح باستخدام سائل منع التجمد بالصيف أيضاً حيث إنه يعمل على رفع درجة حرارة غليان الماء ، كما أن به إضافات لمنع الصدأ والتآكل .

القميص المائي :

هي عبارة عن ممرات داخل تجويف كتلة ورأس الأسطوانات تحيط بالأماكن القريبة من الأسطوانات وغرف الاحتراق ، تمر بها المياه لامتصاص الحرارة من الأجزاء الساخنة .

المشع (الرديـاتير) :

وهو الجزء الرئيس لنظام التبريد بالماء ، وهو المكان الذي يتم فيه التخلص من حرارة سائل التبريد إلى الهواء الجوي ، كما يعمل المشع كخزان للسائل المستخدم بالنظام . وغالباً ما يثبت المشع في مقدمة المركبة أمام المحرك في مواجهة الهواء الخارجي لكي تساعد في عملية التبريد .



شكل (٥٣)

أجزاء المشع :

١- أنابيب مجاري التبريد (الجزء الأوسط) مصنوع من أنابيب وزعانف تبريد .

٢- الخزانات (العلوي / السفلي) (نهايات مصنوعة من الصاج أو البلاستيك والمثبتة بنهايات القلب تستخدم لتخزين السائل وبها وصلات تثبيت الليَّات) .

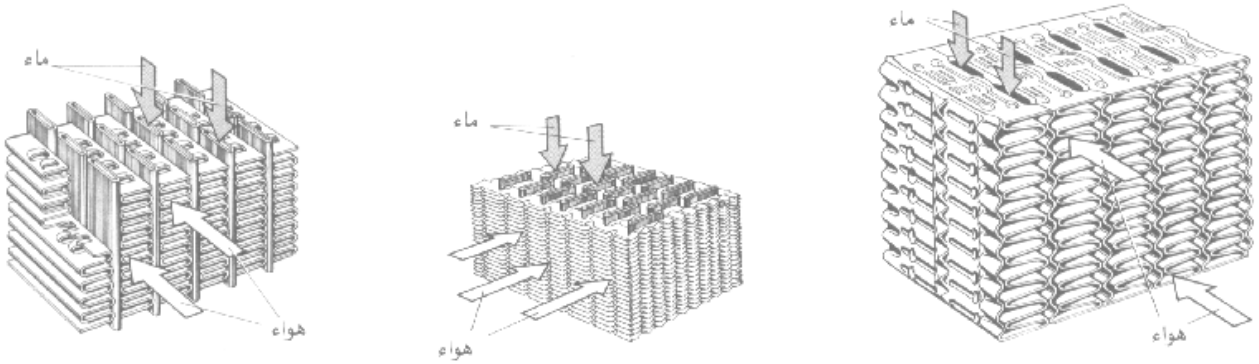
٣- عنق الملء (موجود بالخزان العلوي ويستخدم لملء المشع ويغلق بغطاء المشع وبه مكان تثبيت أنبوب الفائض) .

٤- صمام صرف (موجودة بالخزان السفلي للمشع لتفريغ المشع من السائل) .

٥- مبرد الزيت (مبادل حراري متواجد بإحدى خزانات المشع وذلك بالمركبات التي بها صندوق تروس أتوماتيكي) .

نظرية عمل المشع :

يعمل المشع كمبادل حراري حيث تنتقل الحرارة من الجزء الساخن وهو سائل التبريد إلى الجزء البارد وهو الهواء ، فأثناء تشغيل المحرك يسري سائل التبريد الساخن من المحرك إلى خزانات وأنابيب المشع المصنوعة من النحاس أو الألمونيوم وهي معادن سريعة التوصيل للحرارة وتنتقل الحرارة من السائل إلى الأنابيب والزعانف ، حيث تنخفض درجة حرارة السائل قبل رجوعه مرة أخرى إلى المحرك للتخلص من كمية أخرى من الحرارة ، انظر شكل (٥٤) .



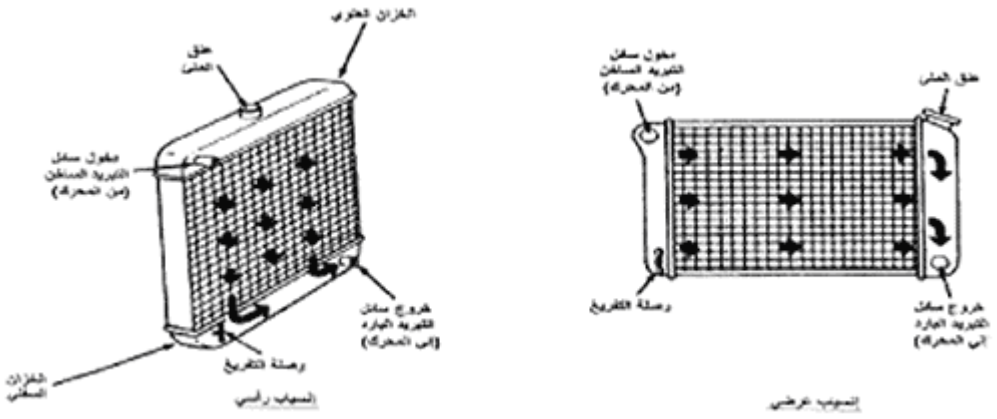
شكل(٥٤)

الأنواع المختلفة للمشع :

وهناك تصميمان شائعان للمشع كما في الشكل(٥٥) حسب طريقة سريان السائل داخلهما .

أ- الانسياب الرأسي .

ب- الانسياب الأفقي .



شكل (٥٥) التصميمات المختلفة للمشع (أ)، (ب)

غطاء المشع :

وظائف غطاء المشع :

١- تغطية فتحة عنق ملء المشع لمنع تسرب سائل التبريد .

٢- يعمل على رفع ضغط النظام لزيادة درجة حرارة غليان السائل .

٣- السماح بتصريف الضغط الزائد والتخلخل في النظام .

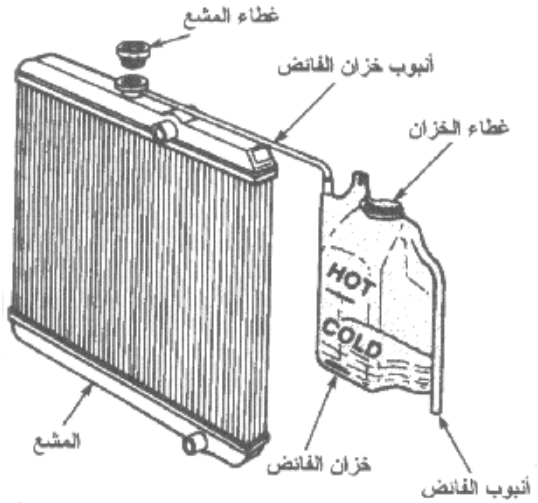
٤- بالنظام المغلق يسمح للسائل في المشع بالانتقال من وإلى خزان الفائض (القربة) .

مكونات غطاء المشع : شكل (٥٦)

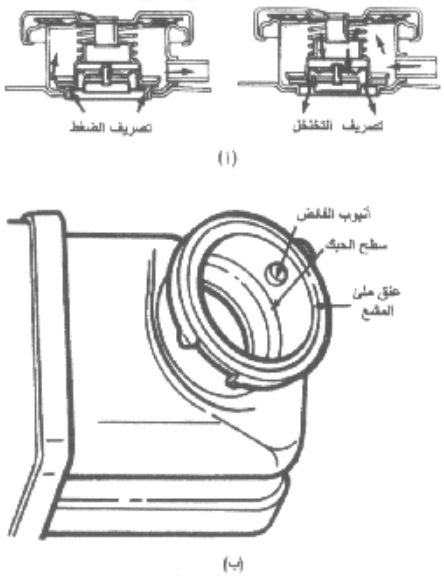
١- حابك مطاطي أو معدني مثبت بالغطاء (لحبك السائل وضغط الهواء) .

٢- صمام الضغط به قرص محمل بياي لغلق عنق الملء (لزيادة الضغط بالنظام بغرض رفع درجة حرارة غليان السائل) .

٣- صمام التخلخل وهو صمام صغير متواجد بمنتصف أسفل الغطاء (يسمح للسائل بالعودة من الخزان الإضافي إلى المشع عند برودة درجة حرارة سائل التبريد) .



شكل (٥٦) النظام المغلق مع خزان الفائض



شكل(٥٧) غطاء وعنق ملء العشع

نظرية عمل غطاء المشع :

يركب غطاء المشع على فتحة عنق الملء حيث يعمل الحابك المثبت به إلى حبك الضغط والسائل داخل النظام ، يعمل صمام الضغط الموجود بالغطاء على رفع الضغط في حدود (٨٣ – ١١٠ كيلو بسكال) حيث يؤدي ذلك إلى رفع درجة حرارة سائل التبريد إلى (١٢١ – ١٢٧ درجة مئوية) عند الاستمرار في زيادة درجة الحرارة يرتفع ضغط السائل عن قيمة ضغط الصمام مؤدياً إلى فتح الصمام حيث يؤدي الضغط الزائد إلى دفع السائل عن طريق أنبوب الفائض إلى خزان الفائض ، ويكون ذلك حماية للمشع والحشوات والليّات بالنظام من التلف .

عند انخفاض درجة حرارة السائل يقل حجم السائل والهواء بالنظام مما يكون تخلخلاً داخل النظام وهنا يفتح صمام التخلخل للسماح للسائل بالرجوع من خزان الفائض إلى المشع مسبباً التخلص من التخلخل ويكون في ذلك حماية للنظام من الانهيار تحت تأثير الضغط الجوي .

خزان الفائض (القربة) :

هذا الخزان يتصل بالمشع عن طريق أنبوب الفائض ويصنع الخزان من البلاستيك الشفاف وبه علامات خارجية لتحديد مستوى السائل كما في الشكل(٥٦) وحيث إن نظام التبريد ذا نظام مغلق فإن عدم دخول الهواء للنظام يزيد من كفاءة التبريد ، هذا بالإضافة إلى أنه يساعد على عدم تكون صدأ ويقلل من عملية التآكل داخل النظام وكذلك من عملية زيادة تركيز الأملاح بسائل التبريد .

عند سخونة المحرك يندفع سائل التبريد من المشع عبر أنبوب الفائض إلى خزان الفائض وعندما يبرد السائل يعود مرة أخرى إلى المشع ، ويمكن الكشف على مستوى سائل التبريد بملاحظة مستوى السائل بالقربة ، كما يعوض النقص في مستوى السائل بإضافة السائل إلى القربة مباشرة .

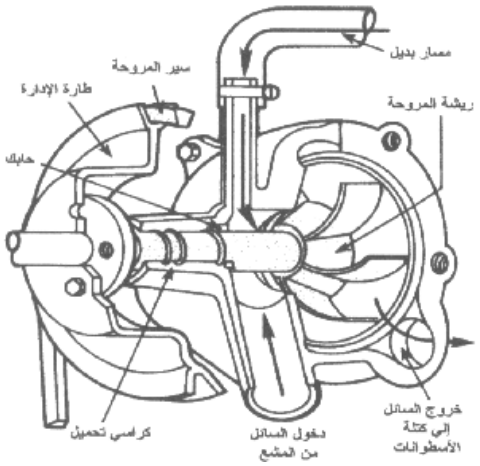
مضخة المياه :

تعمل مضخة المياه على ضخ سائل التبريد بالنظام عن طريق استخدام قوة الطرد المركزية ، وتركب بمقدمة المحرك وتعمل غالباً عن طريق سير يأخذ حركته عن طريق البكرة المثبتة على عمود المرفق .

أجزاء مضخة المياه : شكل (٥٨)

١- ريش المضخة (عبارة عن قرص من المعدن به ريش أو زعانف لدفع السائل) .
٢- عمود المضخة (عمود من الحديد يصل الحركة من صرة المضخة إلى ريش المضخة) .
٣- حابك المضخة (يمنع تسرب سائل التبريد بين عمود المضخة ومبيت المضخة) .
٤- كراسي التحميل (جلبة أو رمان بلي تساعد على دوران عمود المضخة بالمبيت) .
٥- صرة المضخة (توفر مكان لتثبيت طارة المضخة والمروحة) .
٦- مبيت المضخة (مصنوع من الحديد أو الألمنيوم المسبوك ويمثل جسم المضخة) .

ويركب حشو بين المحرك ومبيت المضخة لمنع تسرب سائل التبريد .



شكل (٥٨) أجزاء مضخة المياه

الليات :

ليات المشع تنقل سائل التبريد من المحرك إلى المشع وكونها وصلة مرنة فإن ذلك يجعلها قادرة على تحمل الاهتزازات دون أي مشاكل ، تثبت الليات بالوصلات الخاصة بها عن طريق القفيز .

اللي العلوي يصل بين المشع ومبيت الثرموستات الموجود بمجمع السحب أو رأس الأسطوانات .

اللي السفلي يصل بين مدخل مضخة المياه والمشع ، ويوجد بداخل اللي السفلي ياي يمنع التصاق اللي حيث يتعرض هذا اللي إلى تخلخل نتيجة سحب المضخة .

ليات نظام التدفئة :

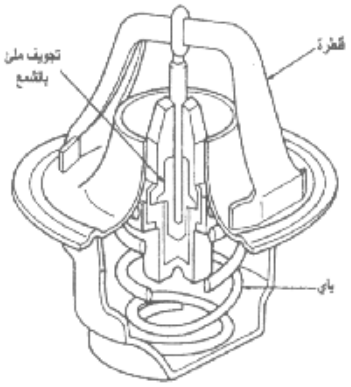
لها قطر أصغر من الليّات الأخرى وتصل سائل التبريد إلى المدفأ (مبادل حراري أصغر حجماً من المشع الموجود بأسفل (الطبلوه) .

الثرموستات (الصمام الحراري) :

هو صمام يعمل بالحرارة ويتحكم في سريان سائل التبريد إلى المشع للمحافظة على حرارة تشغيل مثلى للمحرك ، وغالباً ما يتواجد الثرموستات بمبيت الثرموستات الذي يقع بين المحرك واللي العلوي للمشع .

تركيب الثرموستات :

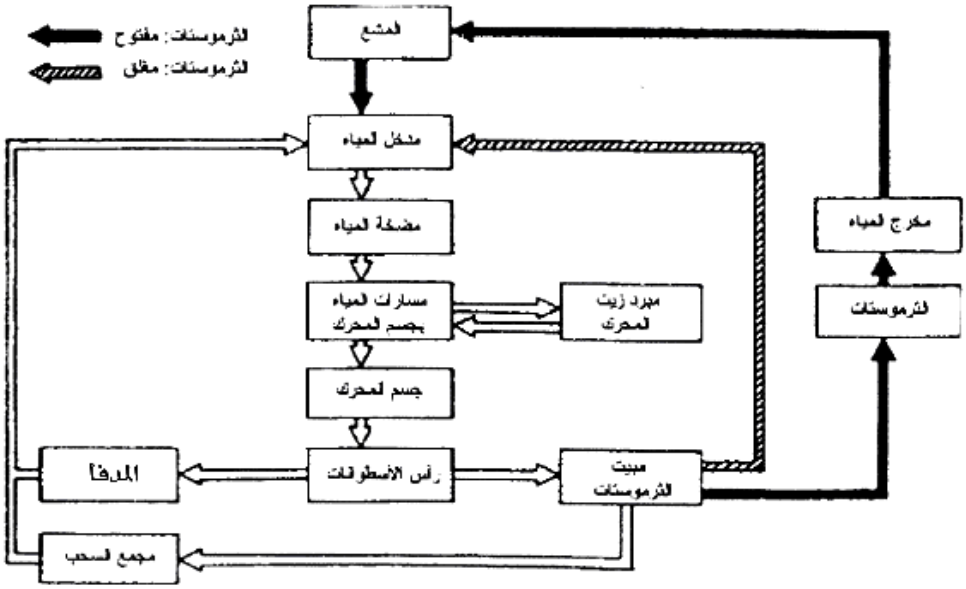
يتكون الصمام من أسطوانة مليئة بمادة شمعية ذات مكبس وفي الوضع الاعتيادي يكون الصمام مغلقاً تحت تأثير ياي يضغط على المكبس شكل (٥٩ أ) .



شكل (٥٩ أ)

نظرية عمل الثرموستات :

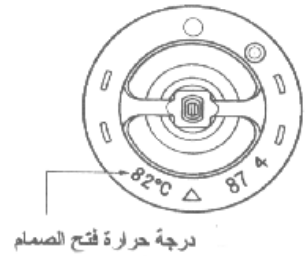
عند سخونة سائل التبريد تتمدد المادة الشمعية داخل الأسطوانة مما يدفع المكبس ضد قوة الياي فاتحاً الصمام ، وعند انخفاض درجة الحرارة تنكمش المادة الشمعية داخل الأسطوانة مؤدية إلى تمدد الياي لغلق الصمام ، وعند غلق الصمام يسري سائل التبريد خلال وصلة فرعية (مسار بديل) كما في شكل (٥٩ ب) وبدون هذه الوصلة لن يكون هناك تجانس في حرارة سائل التبريد ولن يكون الثرموستات قادر على الإحساس بمقدار الارتفاع في درجة حرارة السائل ، وهذه الوصلة إما أن تكون داخلية (داخل القميص المائي للمحرك) أو خارجية عن طريق لي بمواصفات خاصة لتحمل الحرارة والضغط العالي .



شكل (٥٩ ب) مسار سائل التبريد عند غلق وفتح الثرموستات من وإلى المحرك من المشع

قيم تشغيل الثرموستات : شكل (٦٠)

قيمة درجة الحرارة التي يعمل (يفتح) عندها الثرموستات مدونة عليه وهذه الدرجة تقع في حدود ٨٢ – ٩١ درجة مئوية .



شكل (٦٠)

مروحة التبريد :

تعمل المروحة على سحب الهواء خلال زعانف وأنابيب المشع وتمرير الهواء على المحرك للتخلص من الحرارة الزائدة ، ويؤدي عمل المروحة إلى زيادة حجم الهواء خلال المشع للمساعدة في سرعة وكفاءة عملية التبادل الحراري ، وتظهر أهمية عمل المروحة عند دوران المحرك أثناء توقف المركبة ، وكذلك عند ارتفاع درجة حرارة المحرك .

ولدراسة عمل المروحة يؤخذ التالي في الاعتبار :

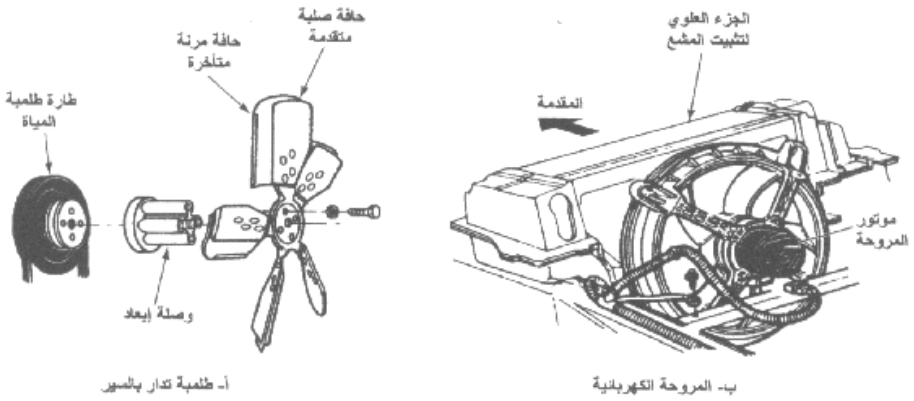
لا يحتاج المحرك إلى تبريد بمعدل عال في البداية حيث درجة حرارة المحرك ما زالت منخفضة ، كما أنه في السرعات العالية يمكن الاكتفاء بسرعة اندفاع الهواء نتيجة لسرعة المركبة هذا بالإضافة إلى احتياج المروحة إلى طاقة أكبر لتشغيلها عند السرعات العالية نتيجة لمقاومة الهواء لحركة ريش المروحة .

الأنواع المختلفة للمروحة :

يمكن تقسيم أنواع المروح حسب وسيلة إدارتها : شكل (٦١)

أ- مروحة تعمل ميكانيكاً بحيث تأخذ حركتها من عمود المرفق عن طريق سير المروحة ، وتثبت المروحة على صرة مضخة المياه والبكرة ، وفي بعض الأحيان يوضع بين المضخة والمروحة وصلة إبعاد لتقريب المروحة من المشع .

ب- مروحة تعمل بالكهرباء حيث تأخذ حركتها عن طريق محرك كهربائي يأخذ الطاقة اللازمة له عن طريق أسلاك كهربائية متصلة بالبطارية (هذا النوع مستخدم بجميع المحركات المستخدمة في الدفع الأمامي ذات المحرك المستعرض ، حيث اتجاه عمود المرفق يكون عمودياً على اتجاه المشع) .

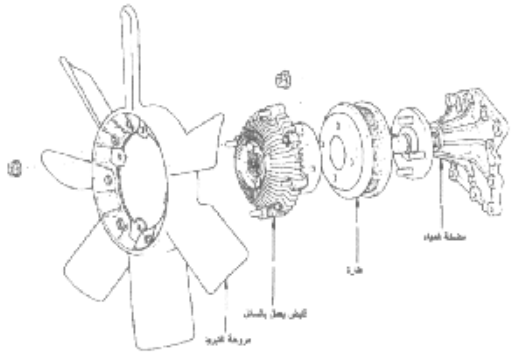


شكل (٦١) الأنواع المختلفة لمروحة التبريد

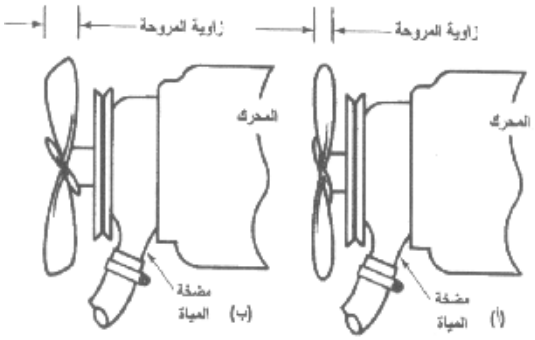
أ- مروحة تدار بالسير ، ب- مروحة كهربائية

أجزاء المروحة :

١- ريش المروحة (هناك ريش صلبة ثابتة الزوايا وهناك ريش لينة تقل زاويتها مع السرعة) كما في الشكل (٦٢) .



شكل (٦٢) سرعة دوران المروحة
أ- سريعة ب- بطيئة

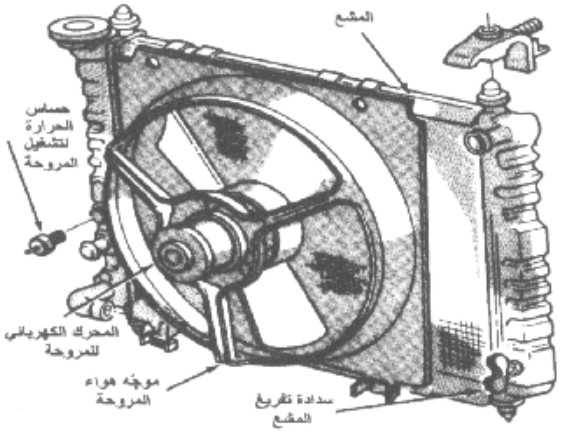


شكل (٦٣) أجزاء المروحة التي بها قابض يتأثر بالحرارة

٢- قابض للمروحة (حساس السرعة) يعمل بالسائل يركب غالباً على المروحة الميكانيكية حيث يقوم بمهمة ريش المروحة ذات الريش اللينة ، القابض به زيت فعند السرعات العالية ينزلق القابض تحت تأثير زيادة الحمل ولا تدور المروحة .

٣- القابض الحراري للمروحة (حساس الحرارة) انظر الشكل (٦٣) ، يركب غالباً على المروحة الميكانيكية به ياي مزدوج المعدن حساس للحرارة ، ويتحكم هذا الياي في سريان الزيت داخل القابض ، فعند السرعة البطيئة ينزلق القابض ولا تدور المروحة وعند سخونة المحرك يعشق القابض فتدور المروحة .

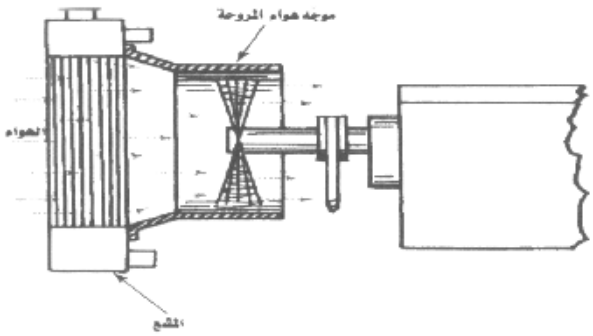
٤- محرك كهربائي يعمل ببطارية المركبة مثبت بالقفص المركب على المشع يستخدم مع المروحة الكهربائية كما في الشكل (٦٤) ويتحكم في عمل المحرك الكهربائي مفتاح حراري فعندما يكون المحرك بارداً يكون المفتاح غير موصل فلا تعمل المروحة وعند ارتفاع درجة الحرارة يصبح المفتاح في وضع تشغيل وتعمل المروحة .



شكل (٦٤) إدارة المروحة عن طريق المحرك الكهربائي

موجه هواء المروحة :

هو مصنوع من البلاستيك أو الصاج ويساعد المروحة على سحب الهواء من خلال المشع ، وهو مثبت بمؤخرة المشع بحيث يحيط بالمساحة المحيطة بالمروحة كما في الشكل (٦٥) .



شكل (٦٥) موجه هواء المروحة

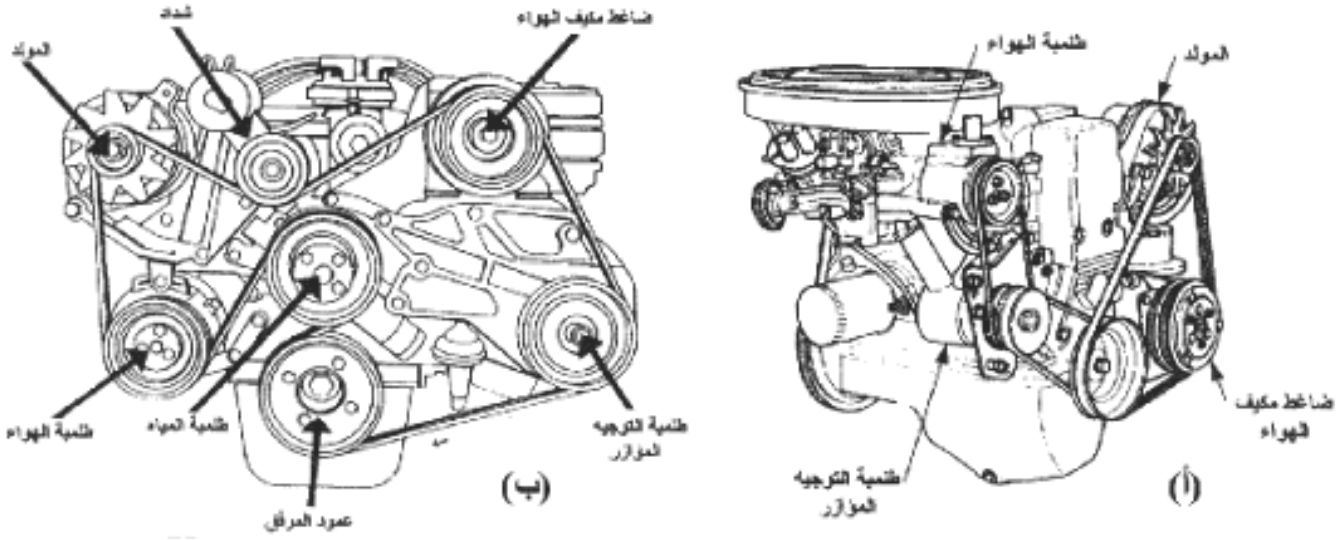
سير المضخة :

مضخة المياه تدور عن طريق سير مرن والذي يقوم في نفس الوقت بنقل الحركة إلى العديد من الملحقات الخاصة بالمحرك ، عند استبدال السير يجب استخدام المقاس المنصوص عليه بالمواصفات .

أنواع السيور : شكل (٦٦) .

أ- سير على شكل حرف (V) يخصص سير واحد لنقل الحركة إلى ملحق واحد من ملحقات المحرك .

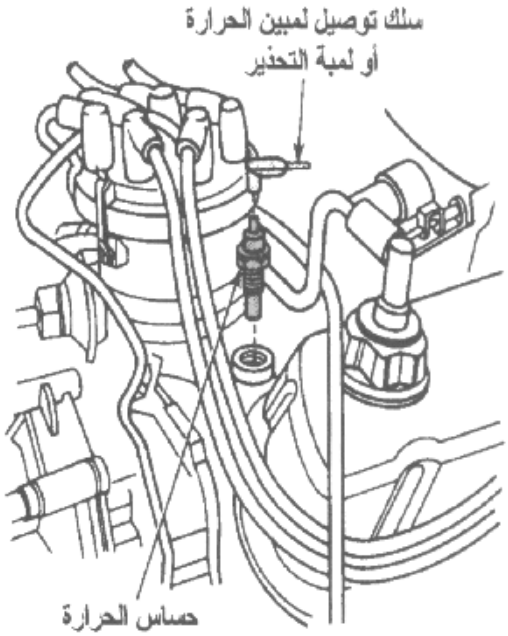
ب- سير به أضلاع مشكلة على شكل حرف (V) غالباً ما يستخدم سير واحد لنقل الحركة إلى جميع الملحقات الخاصة بالمحرك ، هذا مستخدم بمعظم المركبات الحديثة حيث يحتاج إلى مكان أقل وينقل الحركة بكفاءة أعلى .



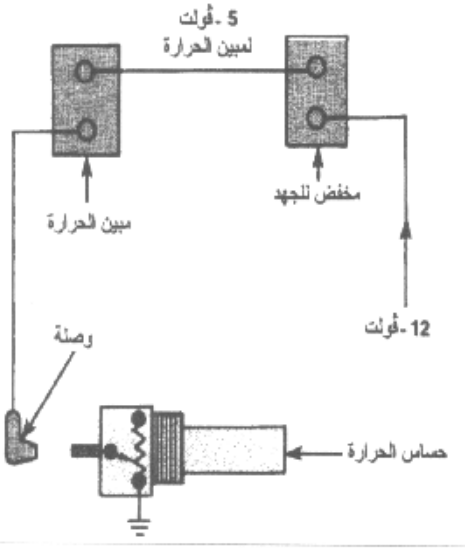
شكل (٦٦) أ- عدة سيور على شكل (**V**) ؛؛؛؛ ب- سير واحد به أضلاع على شكل (**V**)

مبين الحرارة :

مبين الحرارة موجود بطبلوه المركبة لتحذير السائق في حالة سخونة المحرك ، وهو يتكون من عداد حرارة أو لمبة تحذير أو عداد حرارة ولمبة تحذير ، وحساس (مجس) حراري يثبت بقلاووظ بالقميص المائي للمحرك شكل (٦٧) ، ويبين الشكل (٦٨) رسماً تخطيطياً للدائرة الكهربائية لحساس الحرارة بالإضافة إلى بيان درجة حرارة سائل التبريد للسائق ، ويمد الحساس وحدة التحكم بمحرك بالمركبات الحديثة ببيان درجة حرارة المحرك .



شكل (٦٧) مكان توصيل حساس الحرارة



شكل (٦٨) الدائرة الكهربائية لمبين الحرارة

نظام التدفئة :

يعتبر المدفأ جزء من نظام التبريد بالمركبة ، يمر سائل التبريد الساخن عن طريق ليّات وصمام تحكم إلى مشع التدفئة الصغير الموجود بداخل فتحة باللوح الذي يفصل بين داخل المركبة والمحرك ، ويندفع الهواء خلال مشع التدفئة إلى داخل المركبة حيث يكتسب حرارة تعمل على تدفئة الراكب ، وهناك بوابات متحركة يمكن التحكم فيها لخلط هواء بارد بالهواء الساخن للتحكم في درجة الحرارة داخل المركبة .

ملخص

يجب التخلص من حوالي ثلث الحرارة المتولدة عن حرق الوقود بواسطة التبريد .
هناك طريقتان مستخدمتان لتبريد المحركات ، تبريد الهواء وتبريد الماء .
يعتبر التبريد بالماء الطريقة الشائعة لتبريد المحركات بالمركبات الخاصة حيث تنتقل الحرارة من المحرك إلى مياه التبريد أولاً ثم إلى الهواء عن طريق المشع بعد ذلك ، يعمل المشع كمبادل حراري بين مياه التبريد والهواء حيث تمر المياه داخل أنابيب ملحوم بها زعانف رقيقة يمر من خلالها الهواء .
يزود غطاء المشع بصمام ضغط زائد وصمام ضغط منخفض ، وتؤدي زيادة الضغط داخل المشع إلى رفع درجة حرارة غليان الماء .
يعمل الثرموستات (صمام حراري) نتيجة تغير حجم مادة شمعية قابلة للتمدد عند انصهارها داخل حيز موجودة فيه ، ويؤدي التمدد إلى ضغط الإصبع إلى الخارج فيفتح الصمام .
تدور المروحة أو يتم تشغيلها في معظم المركبات عند درجات حرارة معينة مما يؤدي إلى الوصول إلى درجة حرارة التشغيل في وقت أقل .

تتأثر درجة حرارة نظام التبريد بعدة عوامل مثل :

- حجم المشع .
- قدرة مضخة المياه .
- درجة حرارة الهواء الخارجي .
- مقدار الهواء المار بالمشع .
- المدى الحراري لفتح وغلق الثرموستات .
- حمل المحرك .

المصطلحات

Coolant	سائل التبريد	Air cooled	تبريد هواء
Water Pump	مضخة المياه	Water cooled	تبريد ماء
Radiator Cap	غطاء المشع	Recovery Tank	خزان الفائض
Hoses	الليات	Belt	السير
Radiator	مشع	Cooling Fan	مروحة التبريد
Cooling System	نظام التبريد	Fan shroud	موجه هواء التبريد

تمارين للمراجعة

١- ما هي مشاكل تشغيل المحرك وهو بارد ؟ .
٢- ما هي وظائف نظام التبريد ؟ .
٣- ما هي أنواع نظم التبريد المستخدمة بالمركبات ؟
٤- لماذا يعمل نظام التبريد تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي ؟ .
٥- اذكر مميزات استخدام الماء للتبريد .
٦- ما هي عيوب استخدام الماء للتبريد ؟ .
٧- ما هي وظيفة الثرموستات ؟ .
٨- كيف يعمل الثرموستات ؟ .
٩- ما المقصود بالمدى الحراري للثرموستات ؟ .
١٠- ما هو عمل المسار البديل بالقميص المائي بالمحرك ؟ .
١١- كيف يعمل غطاء المشع ؟ .
١٢- ما الوظيفة التي ليست لغطاء المشع ؟ .
أ- يغطي فتحة الملء .
ب- يسمح بتصرف الضغط الزائد .
ج- يخفض من درجة حرارة الغليان لسائل التبريد .
د- يتخلص من التخلل بالنظام .
١٣- نوع الثرموستات الأكثر شيوعاً بالنظام المغلق للتبريد هو :
أ- نوع الوسائد .
ب- نوع الأسطوانة المليئة بالمشع .
ج- نوع الغشاء .
د- النوع الحساس للضغط .

الاحتكاك

يعرف الاحتكاك بأنه مقاومة الحركة بين سطحين متلامسين وفي معظم الحالات يصاحب الاحتكاك تآكل الأجزاء المتحركة وبالتالي يزداد الخلوص (فضاوة) بين الأسطح المتلامسة والذي يؤدي إلى :

١- فقد جزء كبير من القدرة عن طريق الاحتكاك .

٢- زيادة في درجة الحرارة للأجزاء المتحركة والمحتكة .

وفي المحركات يحدث الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة كحلقات المكبس وجدران الأسطوانة واحتكاك البنوز ومحاور عمود المرفق بالكراسي .

من هنا نشأت فكرة تزييت السطوح وهي تقوم على الاحتفاظ بطبقة رقيقة من الزيت بين السطوح ويتراوح سمكها بين ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٠٢ من البوصة .

وينبغي ضمان وجود طبقة بصفة دائمة في مختلف درجات الحرارة وتحت تأثير جميع الضغوط وكلما تآكلت أجزاء المحرك كلما وجب استعمال زيت ذي لزوجة أكبر .

أنواع الاحتكاك :

أ- الاحتكاك الجاف :

هو الاحتكاك الناتج عن انزلاق جسمين جافين لبعضهما وكلما زادت خشونة الجسمين كلما كان الاحتكاك أكبر كلما ارتفعت درجة الحرارة .

ويجب أن تعرف أنه لا يوجد سطح أملس بمعنى الكلمة فلو اختبرنا سطح ما تحت ميكروسكوب أو عدسة مكبرة حتى لو كان السطح مصقولاً بماكينات التشغيل لوجدنا به تعاريج وعلى ذلك ينزلق جسم فوق جسم آخر فإن هذه التعارج تشتبك مع بعضها وتحدث قوة تعمل على مقاومة الجسمين وتسمى (بقوة الاحتكاك) .

ب- الاحتكاك اللزج :

إذا فصل غشاء متكامل من الزيت له سمك معين بين سطحين متحركين فإن قوة الاحتكاك تقل في هذه الحالة .

ويلاحظ أن قوة الاحتكاك في هذه الحالة تتوقف على السرعة النسبية بين السطوح المنزلقة وعلى مساحة سطح الاحتكاك وعلى لزوجة الزيت المستخدم ويحدث الاحتكاك اللزج في أجزاء متعددة في المحرك ، وكراسي عمود المرفق الرئيسة وكراسي أذرع التوصيل

(الركب) وكراسي عمود الكامات حيث تكون طبقة من الزيت بين الكراسي في السرعات المختلفة .

ج- الاحتكاك ذو الغشاء الجزئي :

نعني بالغشاء الجزئي أي غشاء غير متكامل من الزيت يحدث بين السطوح المنزلقة حيث تعمل احتكاك معدني بينهما . ذو غشاء جزئي أي " لا هو احتكاك جاف ولا احتكاك لزج " .

والغشاء الجزئي يميل دائماً إلى ملء المنخفضات الموجودة في السطوح فإن النتوءات العالية تلتصق مع بعضها وتتآكل عند حركة الجسمين بالنسبة لبعضهما .

يحدث هذا النوع من الاحتكاك في المحرك عند بدء إدارته بين شنابر المكبس وجدران الأسطوانة ، لذا نجد أن فترة بدء الإدارة للمحرك وتدفئته هي أقسى الظروف التي تؤدي إلى تآكل أجزاء المحرك .

خواص زيوت التزييت :

توجد بعض الخصائص التي يجب توافرها في زيوت التزييت حتى تؤدي مهمتها على الوجه الأكمل وهي :

١- أن يكون ذا سيولة كافية لكي ينتشر بين الأجزاء المتحركة .

٢- أن يكون للزيت المقدرة على الاحتفاظ بدرجة لزوجته عند ظروف التشغيل المختلفة والمقصود باللزوجة هو مقاومة الزيت للتدفق .

٣- يجب أن يكون لزيت التزييت مقاومة كبيرة للاحتراق مع ارتفاع درجات حرارة المحرك وبالتالي تقل نسبة تكون الكربون المترسب .

٤- يجب أن يقاوم الزيت عملية التأكسد التي تحدث له عندما ترتفع درجة حرارته وهذا التأكسد يكون مادة غروية تعمل على انسداد ممرات الزيت كما ينتج مواد كيماوية تؤدي إلى تآكل المحرك من الداخل .

٥- يجب أن يكون للزيت مقاومة ضد عمل الرغاوي " الفقاقيع التي تؤدي إلى انسكاب الزيت من فتحة التهوية لعلبة المرفق .

٦- يجب أن يكون الزيت مقاوماً للصدأ .

تلف الزيت :

يتلف الزيت أثناء الاستخدام نتيجة لبعض التغيرات التي تحدث في الزيت وهي :

١- الأكسدة : حيث يتحول الزيت في الأماكن التي درجة حرارتها عالية مثل شنابر المكبس إلى مركبات صمغية إسفلتية تعمل على التصاق حلقات المكابس (الشنابر) بمجاريها ويؤدي إلى صعوبة في التشغيل وقد يتأكسد الزيت مكوناً أحماض عضوية قد تكون سهلة التطاير وإذا تركز أكثر من اللازم تعمل على تآكل الكراسي بالمحرك وانسداد مواسير الزيت أو تترسب على الصمامات كما تؤدي أكسدة الزيت إلى تلف الأجزاء الداخلية للمحرك .

٢- تلوث الزيت : وله أسباب عدة مثل تلوث الزيت بنواتج الاحتراق كالجزيئات أو بمركبات الرصاص ، وقد يتسرب أحياناً بعض الوقود غير المحترق عبر الشنابر ويتصل بالزيت الموجود في علبة المرفق (الكرتير) ويختلط به فيقلل من لزوجته .

لذا يجب تغيير الزيت بانتظام للمحافظة على المحرك .

الإضافات المساعدة لزيوت التزييت :

بالرغم من وجود مصافي ومرشحات عند مداخل الهواء وكذلك عند فتحة التهوية لعلبة المرفق فإنه في استطاعة المواد الغريبة التسرب إلى داخل المحرك بالإضافة إلى ذلك فإنه كلما دار المحرك تتخلف عن عملية الاحتراق رواسب كربونية على حلقات المكابس والصمامات وكذلك قد يحدث بعض الأكسدة لزيوت التزييت وتتكون رواسب أخرى .

ونتيجة لهذه العوامل تتراكم الرواسب على أجزاء المحرك المختلفة وتقلل تدريجياً من قدرة المحرك ، كما تزيد من معدل تآكل أجزائه المتحركة ولمنع أو تقليل تكون هذه الرواسب تضاف إلى بعض أنواع الزيوت إضافات خاصة تقوم هذه الإضافات بفصل الكربون والمواد الغريبة التي تتكون داخل علبة المرفق وهي عبارة عن مادة دهنية ثقيلة القوام سوداء اللون تعمل على انسداد مرشحات الزيت والمواسير وتعوق حركة الزيت وهذه الإضافات هي :

١ . إضافات منع الأكسدة :

وهي تعوق أكسدة الزيت وتحول دون تكوين المواد الضارة بالزيت مثل الأحماض .

٢ . إضافات التنظيف :

وهي تعمل على تنظيف أجزاء المحرك من نواتج الأكسدة وتجعلها عالقة بالزيت غير أنه لا يتيسر لهذه الإضافات تفتيت الأتربة .

٣. إضافات منع الرغاوي :

وهي تعمل على إزالة فقاقيع الهواء الناتجة عن تقليب الزيت ولها أهمية خاصة في حالة زيوت تزييت التروس السريعة .

٤. إضافات إعاقة التجمد :

وهي تعوق تجمد المكونات الشمعية في الزيت في درجة الحرارة المنخفضة مما يسهل انسياب الزيت في دائرة الزيت .

٥. إضافات منع التآكل :

وهي قلوية التأثير فهي تتعادل مع الأحماض الناتجة عن أكسدة الزيت والوقود فتقلل من التآكل الذي يمكن أن يحدث في الأجزاء المعدنية وخاصة الكراسي المصنوعة من سبائك النحاس .

٦. إضافات تحسين معامل اللزوجة :

وهي تساعد الزيت على الاحتفاظ بلزوجته مع تغيير درجة حرارة المحرك بقدر الإمكان ويكون تغير اللزوجة بأقل درجة ممكنة بحيث يتمكن الزيت من تأدية وظيفته على أحسن وجه .

أنواع زيوت التزييت :

١. زيوت معدنية :

مستخرجة من البترول الخام وهو أنسب الأنواع للاستخدام في تزييت المحركات حيث إنها لا تتفحم إلا نادراً كما أن الإدارة بها أسهل .

٢. زيوت حيوانية :

وهي تستخلص من شحوم الحيوانات .

٣. زيوت نباتية :

هي تستخدم كزيوت تشحيم بل إنها هي والزيوت الحيوانية تتصمغ في درجات الحرارة العالية عدا زيت الخروع " نباتي " فهو ينفرد بخلوه من التصمغ عند درجات الحرارة العالية وكذلك يستخدم هذا الزيت في محركات السباق والطائرات .

مقياس لزوجة الزيت :

يمكن قياس درجة لزوجة الزيت بدرجة إنجلر " Engler " وهي عبارة عن النسبة بين الزمن اللازم لمرور كمية من الزيت قدرها ٢٠٠سم^{٣} من ثقب معين والزمن اللازم لمرور نفس الكمية من نفس الثقب عند درجة حرارة ٥٢° م .

وقد اتفقت الشركات الأوربية على أن تكون درجة لزوجة الزيت المستخدمة في المحركات للصيف ٩ – ١٢ درجة إنجلر عند درجة حرارة ٥٠°م وزيت الشتاء من ٤,٥ – ٨ درجة إنجلر عند درجة حرارة ٥٠° م .

كما يجب ألا تقل درجة اللزوجة عن ٢ درجة إنجلر عند درجة حرارة ١٠٠° م وقد وضعت جمعية مهندسي السيارات في أمريكا وتختصر إلى " S . A . E " تصنيف بسيط لزيوت المحركات وأعطت أرقاماً تحدد لزوجة الزيت ، هذه الجمعية وضعت مواصفات قياسية تعبر عن اللزوجة للزيت وهي ١٠ ، ٢٠ ، ٣٠ ، ٤٠ ، ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠ ، ويسبق كل من هذه الأرقام الرموز S . A . E (ج . م . س) .

مواصفات زيت التزييت :

وكلما كان الرقم بجوار هذه الرموز صغيراً دل على أن الزيت ذو سيولة منخفضة ، وكلما كان الرقم بجوار هذه الرموز كبير دل على أن الزيت ذو سيولة مرتفعة (أي غليظ) والجدول الآتي يبين ذلك :

S . A . E 10 S . A . E 20	زيت شديد السيولة " **خفيف** "
S . A . E 30 S . A . E 40 S . A . E 50	زيت متوسط السيولة
S . A . E 60 S . A . E 70	زيت غليظ زيت غليظ جداً

الجدول يدل على درجات اللزوجة للمحركات فقط دوناً عن زيوت التروس الزيت الثقيل هو زيت كثيف ، أما الزيت ذو السيولة الشديدة والخفيفة فهو قليل الكثافة .

أما إذا كانت علبة الزيت تحمل العلامة ١٠ – ٣٠ " 10w –30 " ، فذلك يدل على أن لزوجة الزيت ١٠ وهو بارد.

أما عندما يكون الزيت ساخناً فإن لزوجته تصل إلى ٣٠ .

أما حرف w دائماً يوضع بجوار الدرجة الباردة .

طرق تزييت المحرك :

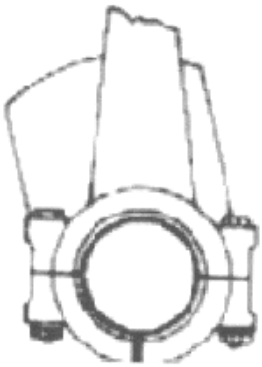
١ ـ التزييت بالطرطشة أو الرش .

٢ ـ التزييت الجبري والرش معاً .

٣ ـ التزييت الجبري بالضغط .

١) التزييت بالطرطشة أو الرش :

تجري هذه العملية طالما أن حوض الزيت " الكرتير " يحتوي على كمية زيت كافية ولكن قليلاً ما يعتمد على هذه الطريقة للتزييت لجميع أجزاء المحرك المهمة ففي هذه الطريقة توجد أحواض صغيرة " ملاعق " مثبتة تحت أذرع التوصيل فعند دوران عمود المرفق " الكرنك " تنغمس هذه الملاعق في الزيت فيتم نثر الزيت على جدران الأسطوانة ويتم التزييت بالرش فينتشر الزيت بالرش إلى كراسي المحرك الرئيسة والطرف الكبير لأذرع التوصيل " النهاية الكبرى " وأجسام المكابس حيث إنه عندما ينزل المكبس إلى أسفل تعمل حلقة المكبس على كشط الزيت من جدار الأسطوانة الداخلي ونزوله إلى حوض الزيت كما في الشكل التالي:



التزييت بالطرطشة

وقد انتهى العمل بهذه الطريقة الآن نظراً لأنه من الضروري ضغط الزيت لأجزاء المحركات الحديثة المعرضة لإجهادات عالية بل يمكن أن تتواجد هذه الطريقة في المحركات الصغيرة ذات القدرة البسيطة .

التزييت بالرش :

التزييت بالرش للأجزاء التالية :

١ ـ الاسطوانة .

٢ ـ ذرات التوصيل .

٣ ـ عمود الكرنك .

٤ ـ ملاعق التزييت بالرش .

٥ ـ حوض التزييت .

٢) التزييت الجبري والرش معاً :

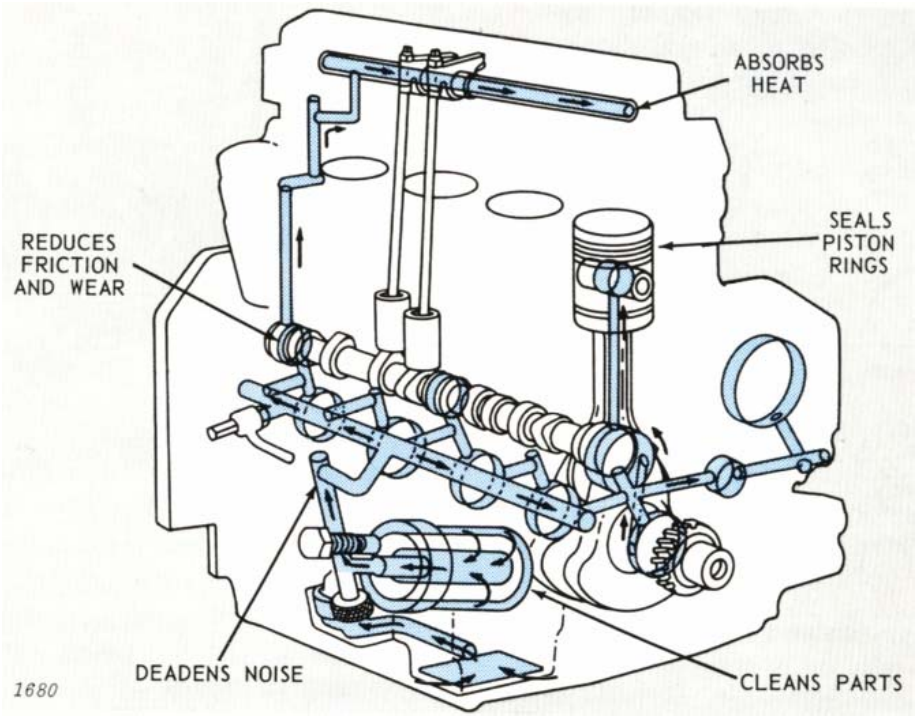
هذه الطريقة تشبه الطريقة السابقة علاوة على أنه يوجد مضخة تقوم بضغط الزيت خلال الكراسي المعرضة لإجهادات عالية أي أن الكراسي لعمود الكرنك يتم تزييتها بالمضخة أما باقي أجزاء المحرك بالرش .

٣) التزييت الجبري بالضغط :

وهو شائع الاستخدام عملياً وفيه تدفع مضخة الزيت ، الزيت أولاً إلى كراسي عمود المرفق " عمود الكرنك " ثم ينساب الزيت خلال المجاري في عمود الكرنك إلى النهاية الكبرى لذراع التوصيل ثم يمر الزيت عبر ثقب في النهاية الكبرى لذراع التوصيل ويخرج تحت ضغط المضخة إلى جدران الأسطوانة من الداخل ومن ثم يندفع الزيت ليغذي مجموعة تشغيل البلوف والصمامات خلال أعمدة روافع الصمامات ويركب في عصب الزيت صمام خاص لتحديد أقصى ضغط ويسمح لجزء من الزيت بالعودة إلى حوض الزيت ويكون ضغط الزيت عادة من ٢ – ٤ كجم/سم^{٢} .

أجزاء دائرة التزييت :

دورة الزيت في محركات الديزل تتكون كما في شكل(٦٩) .



شكل(٦٩) دورة الزيت في المحرك

١- زيت المحرك (وهو الذي يزيت الأجزاء المتحركة في المحرك) .
٢- خزان الزيت أو وعاء الزيت (وهو الذي يجمع الزيت أسفل المحرك) .
٣- مصفاة الزيت الحديدية (وهي عبارة عن مصافة معدنية في أسفل أنبوب السحب) .
٤- سدادة تغيير الزيت (وهو من أجل تغيير الزيت وكذلك لالتقاط القطع المعدنية لكونه مغناطيس دائم) .
٥- مضخة الزيت (وهي التي تضخ الزيت إلى أجزاء المحرك) .
٦- ممرات الزيت (وهي التي تنقل الزيت لأجزاء المحرك) .
٧- فلتر الزيت (وهو الذي يصفي الزيت من الشوائب) .
٨- مبرد الزيت (وهو عبارة عن مبادل حراري لتبريد الزيت ويتواجد في بعض المحركات) .
٩- مؤشر ضغط الزيت (وهو عبارة عن مؤشر أو ضوء تحذير) .

عمل نظام التزييت :

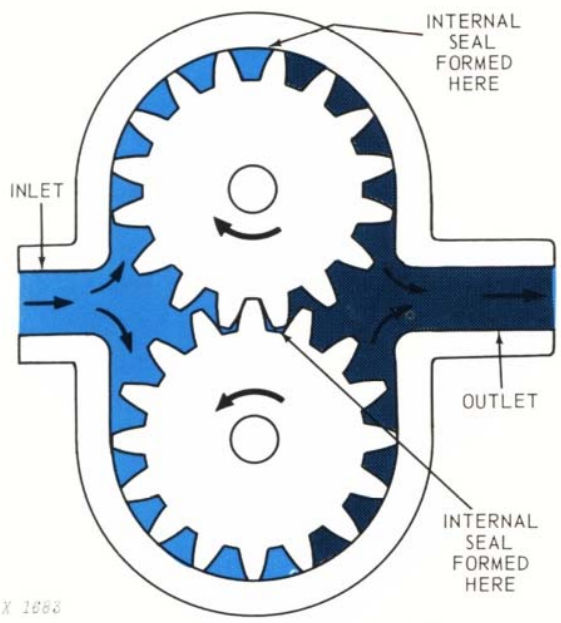
عند عمل المحرك تقوم المضخة بسحب الزيت من خزان الزيت كما هو مبين في الشكل (٦٩) ، ويمر الزيت من خلال المصفاة المعدنية لإزالة الشوائب الكبيرة ويدخل الزيت المضخة ويضخ الزيت من خلال الفلتر ثم إلى ممرات الزيت في جسم المحرك ويقوم الفلتر بإزالة الشوائب الصغيرة ومنظم الضغط بالسيطرة على ضغط الزيت ، ويمر الزيت إلى عمود الكرنك وعمود الكامات والرافعات والأذرع المتحركة وكل الأجزاء المتحركة ، وعندما يتسرب الزيت خلال حوامل المحرك فإنه يقوم بتزييت الأجزاء الداخلية للمحرك مثل شنابر المكابس والأجزاء الأخرى .

مضخات الزيت :

تعمل مضخة الزيت على سحب الزيت من خزان الزيت ودفعه تحت ضغط إلى الأجزاء المختلفة في المحرك وتركب مصفاة للزيت في مدخل الزيت قبل المضخة لتنظيف الزيت من المواد العالقة أو الغريبة وتستمد المضخة حركتها عن طريق ترس موجود على عمود الكامات وهناك نوعان رئيسان من المضخات ، مضخة التروس والمضخة الدوارة .

أ. مضخة التروس :

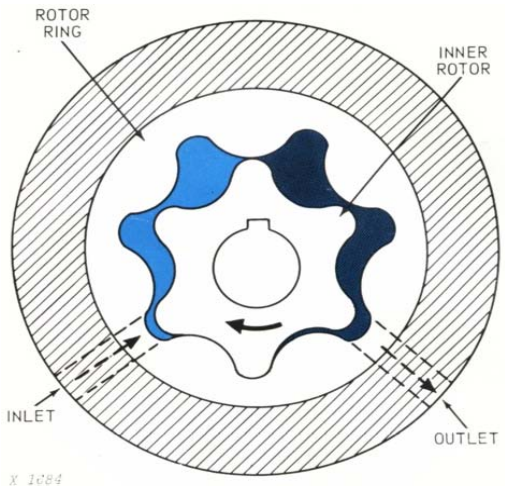
تستخدم حالياً المضخة ذات الترسين وتتألف من زوج من التروس المتداخلة (المعشقة) وعندما تدور التروس يملأ الزيت الداخل إلى المضخة الحيز الموجود بين أسنانها وعندما تتداخل الأسنان يدفع الزيت إلى خارج المضخة من فوهة الخروج وللحصول على تدفق كاف تستخدم تروس ذات أسنان كبيرة يجب أن تضبط بدقة تامة داخل غرفة الزيت بالمضخة سواء على المحيط أو من ناحية المحاذاة ، ويبين الشكل (٧٠) مضخة ذات ترسين .



شكل (٧٠) مضخة زيت ذات التروس

ب. المضخة الدوارة:

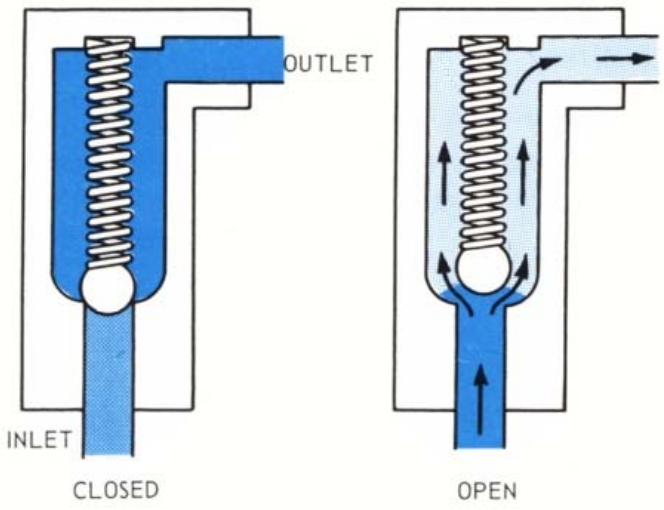
يتكون هذا النوع من المضخات من جزء مدير وجزء آخر مدار معشقات مع بعض داخل جسم مضخة ، وحركة الجزء المدير ليست مركزية بالنسبة للجسم فعندما يدور هذا الجزء يدير الجزء الأخير ، وبما أن دوران الأول لا مركزي فالمسافة بينهما تكون غير ثابتة ، لذلك يدخل الزيت من فتحة الدخول عندما تكون المسافة كبيرة ويرسل بواسطة هذه الحركة إلى الجانب الآخر من جسم المضخة ، وعندما تصبح المسافة أصغر ما يمكن يخرج الزيت من فتحة الخروج تحت ضغط إلى خارج جسم المضخة وذلك نتيجة لتصغير الحيز أثناء الدوران ، والشكل (٧١) يبين هذا النوع من المضخات .



شكل (٧١) مضخة الزيت الدوارة

منظم ضغط الزيت :

عند دوران المحرك بسرعات عالية ترسل المضخة إلى الأجزاء المختلفة كمية أكبر من الزيت فيعمل المنظم على حجب الكميات الزائدة وإعادتها إلى خزان الزيت ويعتبر جزء من مضخة الزيت ويكون صمام التحكم إما على شكل كرة أو زنبرك أو مكبس يضغط عليهم نابض للتحكم في ضغط الزيت ، حيث عندما يصل ضغط الزيت إلى الحد المطلوب ينفتح الصمام ويسمح بالزيت الزائد بالرجوع إلى الخزان كما هو مبين في الشكل (٧٢) .



شكل (٧٢) صمام ضغط الزيت مفتوح ومغلق

ممرات الزيت :

وهي عبارة عن مسارات ضيقة في جسم ورأس المحرك بغية إيصال الزيت الذي ضخ بمضخة الزيت الموصول إلى الحوامل والأجزاء المتحركة مثل حوامل عمود المرفق والكامات وروافع الصمامات والكراسي والمحاور.

مرشح الزيت :

ويستخدم نوعان من دوائر مرشحات الزيت وهي:

١ ـ المرشح ذو الانسياب التام.

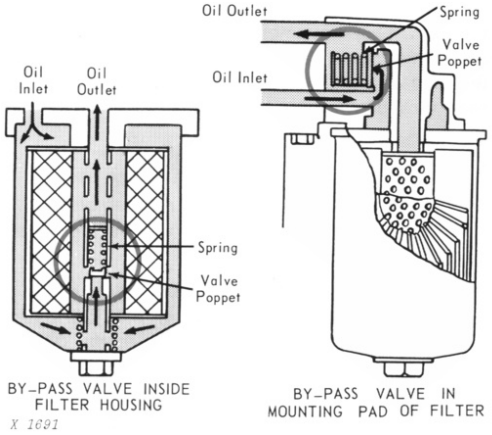
٢ ـ المرشح ذو مجرى التحويل.

(١) المرشح ذو الانسياب التام :

وفيه يوضع المرشح على العصب الرئيس " على التوالي " ولذلك يتم ترشيح كل الزيت بعد تسليمه من المضخة .

وباستخدام المرشح ذي الانسياب التام يرشح على الزيت الذي تورده المضخة قبل أن يذهب إلى أجزاء المحرك ويمر الزيت في جسم المرشح ثم إلى الداخل في مركز حشو المرشح وتحجز الشوائب والمواد الغريبة خارج الحشو .

ويمر الزيت النظيف من داخل المرشح إلى مجاري الزيت الخارجية العصب الرئيس في المحرك ، ويزود دائماً بصمام تحويل غير قابل للضغط في رأس المرشح ذي الانسياب التام حتى إذا ما أصبح الحشو مسدوداً أو الزيت بارداً يدفع ضغط الزيت الصمام ليتفتح ويستمر الزيت في دورته ويصمم صمام التحويل في العادة بحيث يفتح ما بين ١٥ – ٢٠ رطل/بوصة مربعة ، انظر الشكل (٧٣) .



شكل (٧٣)

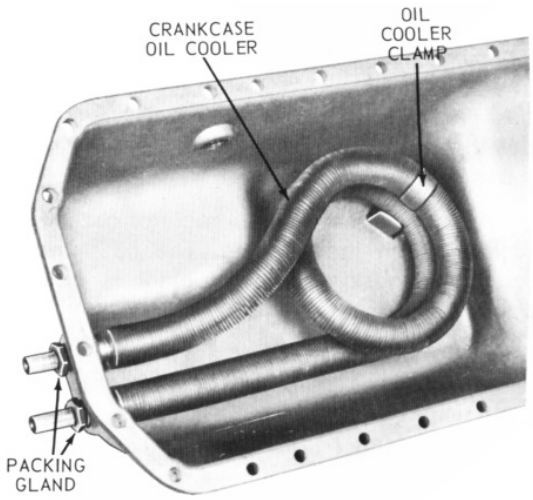
مرشح الزيت ينقي الزيت كلياً ثم يدفعه إلى المحاور الرئيسة وعند انسداد ممرات الزيت يتم فتح بلف الإرجاع ليدفع الزيت دون تنقية إلى كراسي المحرك أما الزيت ذا الضغط الزائد عن الحاجة يفتح ملف الأمان ليعود الزيت مرة أخرى إلى حوض الزيت .

(٢) المرشح ذو مجرى التحويل :

وفيه يوضع المرشح على التوازي في عصب فرعي وفي هذه الحالة يتم ترشيح جزء من الزيت الخارج من المضخة فقط ويلاحظ أن مرشح الزيت يستقبل نسبة بسيطة فقط من ناتج مضخة الزيت ويمر الزيت من المرشح ذي مجرى التحويل خلال فوهة صغيرة معايرة ، بعد المرور خلال المرشح يصفى هذا الزيت ليعود ببساطة إلى حوض الزيت (أي جميع الزيت داخل حوض الزيت نقي) .

خزان الزيت :

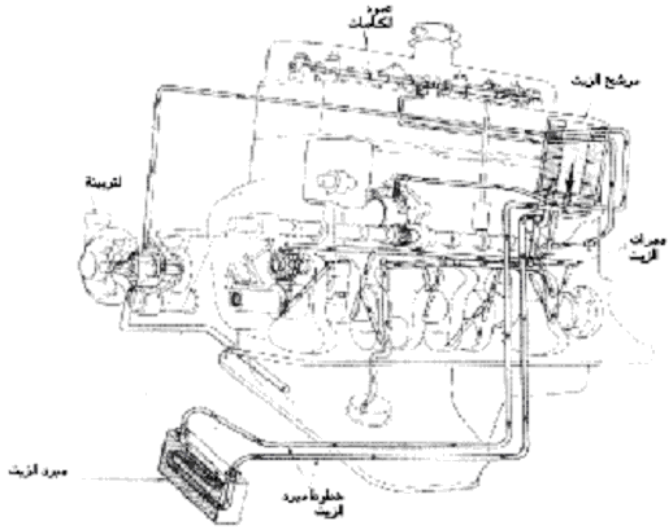
وهو عبارة عن وعاء يقع في أسفل المحرك لتجميع الزيت وإعادة ضخه للمحرك للتزييت بالطرق المختلفة ويصنع من الحديد أو الألمنيوم وتوجد فيه حواجز لمنع الحركة المستمرة للزيت مع حركة المركبة ، وفي بعض المركبات يتم تبريد وتسخين الزيت من خلال وضع ماسورة ماء داخل خزان الزيت متصلة بالمشع شكل (٧٤) .



شكل (٧٤)

مبرد الزيت :

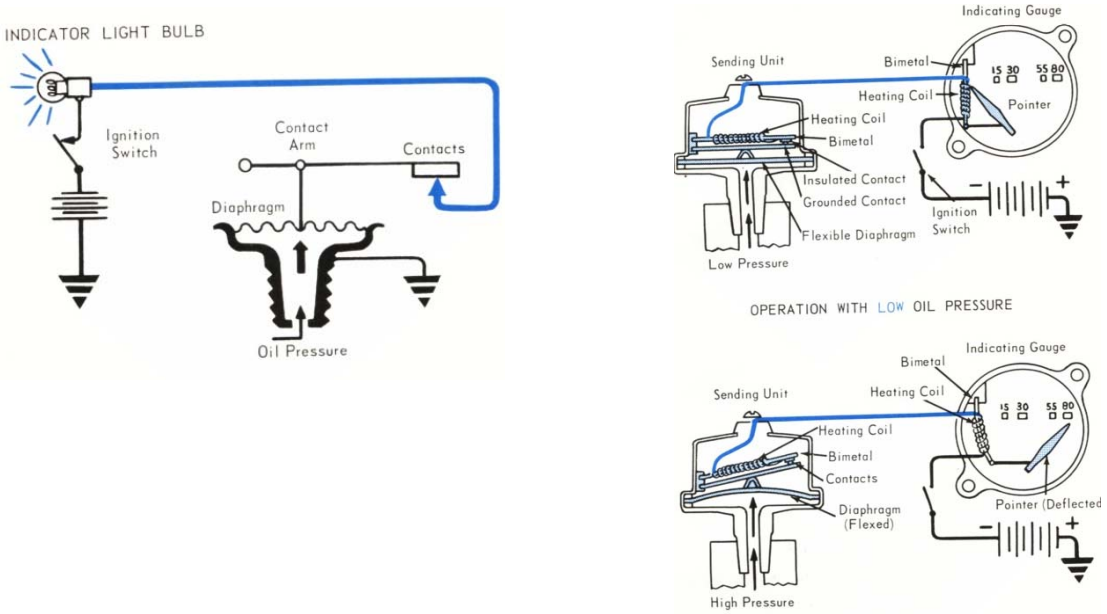
ويوجد في بعض المحركات مبادل حراري (مشع) كالذي يكون فيه الماء، من أجل تبريد الزيت عند ارتفاع درجة حرارته عن الحد المطلوب ويكون التبريد بالهواء كما في شكل (٧٥) .



شكل (٧٥)

مبين ضغط الزيت :

وهو عبارة عن مؤشر أو ضوء تحذير للسائق أو معاً ويحذر من أن ضغط الزيت في المحرك ضعيف ويتطلب إيقاف المحرك وإجراء الفحص السريع وإلا أدى ذلك إلى تلف المحرك ويبين الشكل (٧٦) تركيب مؤشر وضوء النذير لضغط الزيت .



شكل (٧٦)

الملخص

نظام التزييت يستخدم مضخة الزيت لضخ الزيت إلى باقي أجزاء المحرك لتقليل الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة والدوارة لتقليل التآكل وكذلك له دور ثانوي في التبريد أيضاً ، وتمثل لزوجة الزيت قدرة الزيت على الانسياب وتوجد زيوت متعددة اللزوجة .

ويضخ الزيت بواسطة نوعين رئيسين من مضخات الزيت وهما المضخة الدوارة والمضخة ذات المسننات وهما يضخان الزيت عبر الممرات إلى باقي أجزاء المحرك .

ويتم تغيير زيت المحرك والمرشح بحدود (٦٠٠٠) كيلومتر وقد تقل المسافة حسب الظروف الجوية .

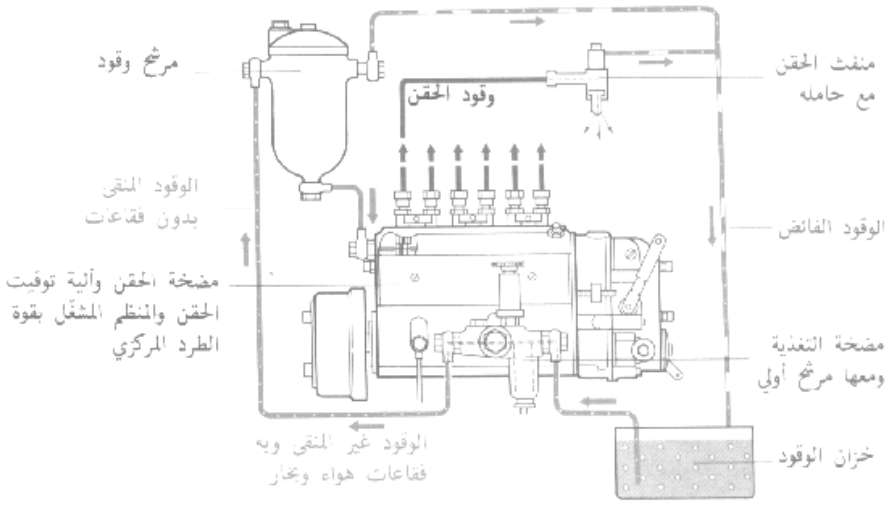
المصطلحات

Oil pump	مضخة الزيت
Oil relief valve	صمام الأمان
Oil filter	مرشح الزيت
Oil cooler	مبرد الزيت
Oil pressure	مؤشر ضغط الزيت
Pick up screen	مرشح الزيت المعدني
Oil plug	قفل تغيير الزيت

تمرينات للمراجعة

١ ـ اذكر أنواع التزييت .
٢ ـ اذكر أجزاء دورة التزييت ووظيفة كل جزء .
٣ ـ اذكر أنواع الإضافات التي تضاف إلى الزيت .
٤ ـ اذكر أنواع التزييت داخل المحرك .
٥ ـ اذكر أنواع زيوت المحرك المستخدمة .
٦ ـ اشرح أنواع مضخات التزييت .
٧ ـ اشرح طريقة عمل مؤشر الزيت .

الأجزاء الأساسية لأنظمة حقن الديزل



شكل (٧٧)

ـ خزان الوقود :

وظيفته :

الاحتفاظ بوقود الديزل الذي يحتاجه المحرك للسير عدة كيلومترات معينة حسب سعته .

مواصفاته :

١- أن يصنع من مادة لا تتفاعل مع مركبات وقود الديزل .
٢- أن يكون المعدن المصنع منه قوياً.
٣- أن يحتوي على حواجز.
٤- لا بد من احتوائه على منقي مبدئي عند فوهة دخول الديزل .
٥- أن يوجد به فتحة لمعادلة الضغط الجوي.
٦- أن تكون سعته بعدد لترات من الوقود مناسبة لنوع استخدام مركبة.

ـ أنابيب توصيل الوقود (أنابيب الضغط المنخفض ـ أنابيب الضغط العالي):

وظيفتها :

توصيل الوقود إلى الأجزاء المختلفة في الدورة.

مواصفاتها :

١- أن تكون مرنة لتحمل الاهتزازات.
٢- مصنوعة من مادة لا تتفاعل مع مركبات الديزل .
٣- ذات أطوال وأقطار مناسبة حسب وضعها بالدورة .
٤- مصنوعة من مادة متينة لتحمل الضغط (لأنابيب الضغط العالي).
٥- ذات نهايات جيدة للإحكام.

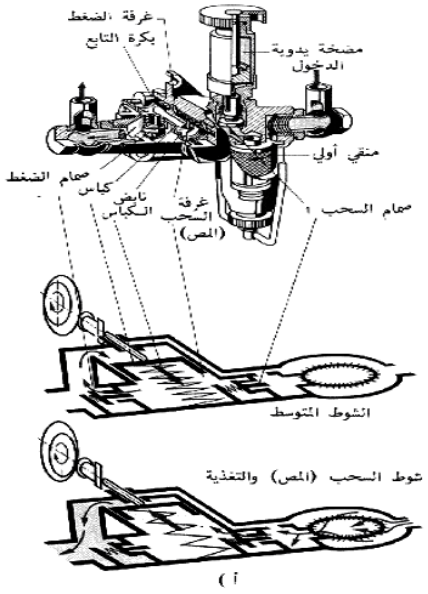
مضخة تغذية الوقود :

ـ مضخة تغذية الوقود تسحب هذه المضخة الوقود من الخزان وتضخه إلى مضخة الحقن بضغط زائد يتراوح من ١ بار إلى ١,٥ بار ، وهي تعمل على نمط المضخة ذات الكباس ، وتستمد حركتها من عمود حدبات مضخة الحقن ، ويركب مرشح أولي في أنبوب السحب (المص) ليمنع مرور الشوائب الغليظة وغالباً ما يمكن إدارة مضخة تغذية الوقود يدوياً أثناء توقف المحرك للتخلص من الهواء الموجود بمجموعة الحقن .

. أنواع مضخة تغذية الوقود :

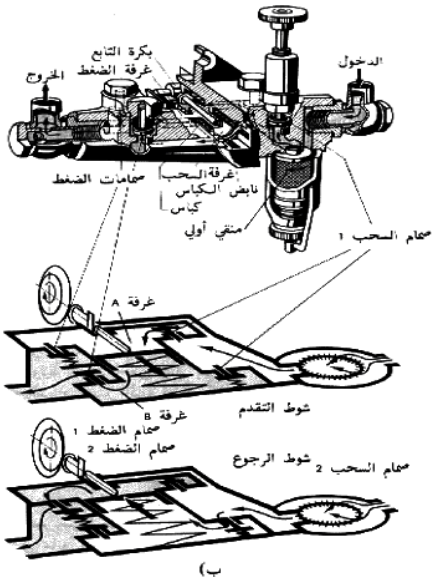
١- مضخة تغذية ذات الكباس شكل (٧٨).

أ- مفردة التأثير .



شكل (٧٨ أ)

ب- مزدوجة التأثير .



شكل (٧٨ ب).

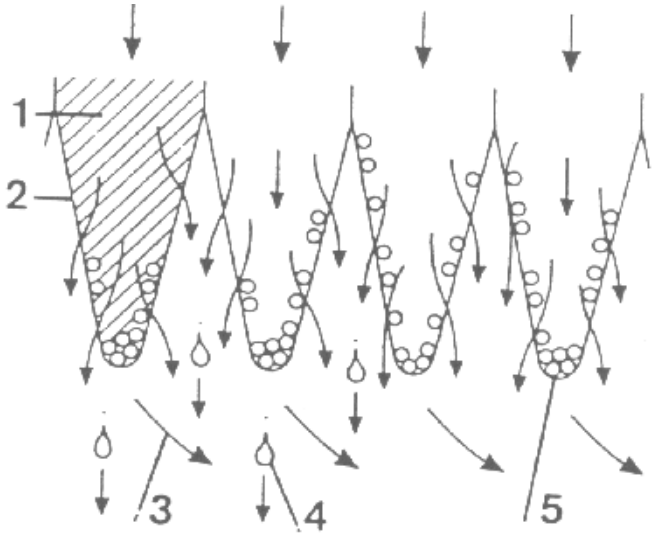
٢- مضخة تغذية تعمل بالتروس .

٣- مضخة تغذية ذات ريش .

المرشحات

وظيفتها :

تنقية الوقود من الشوائب والأتربة والمياه وتركب إما مفردة أو مزدوجة متوالية لزيادة تنظيف الوقود شكل (٧٩) يبين كيفية حجز عنصر التنقية للأتربة والمياه المختلطة بالوقود .



شكل (٧٩)

١- حجز الأتربة.
٢- عنصر التنقية.
٣- سريان الوقود إلى الأنابيب.
٤- سقوط الماء إلى غرفة تجميع الماء.
٥- ترسب الشوائب والماء خلف عنصر التنقية

مواصفاتها :

١ ـ أن تكون ذات قدرة عالية لتنقية الوقود ٠ يصل قطر فتحات التنقية إلى ٠,٠٠١ مم) .
٢ ـ أن تحتوي على فتحة استئصال الهواء الزائد .
٣ ـ يصنع الجسم الخارجي من معدن يتحمل الصدمات .

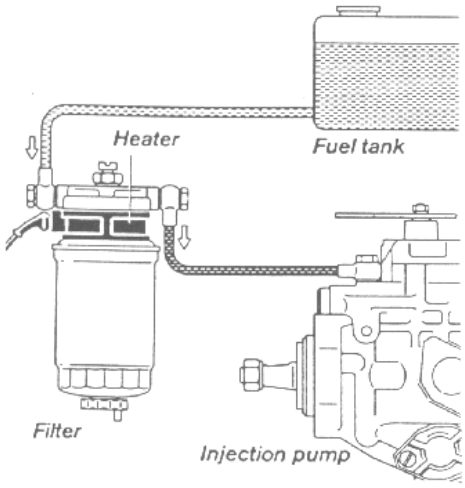
أنواع المرشحات لوقود الديزل :

١ ـ مرشح بسيط : لا يحتوي على أي تجهيزة مساعدة .
٢ ـ مرشح بغرفة تجميع الماء مزود بصمام لتفريغ الماء .

تزود بعض مرشحات الوقود في بعض أنظمة الحقن بتجهيزات إضافية مثل :

أ- مُسخن الوقود :

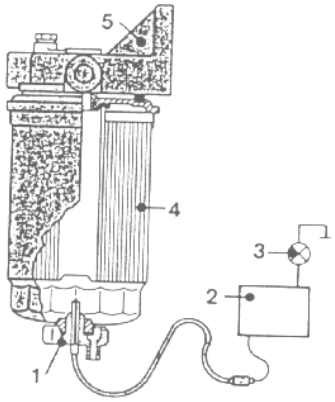
ويعمل على المحافظة على حرارة الوقود المنساب خلاله والذاهب إلى المضخة الرئيسة ويبدأ عمله عند درجة حرارة +٥ درجة مئوية ، ويقفل عند +١٥ درجة مئوية ويركب المسخن في الجزء العلوي للمرشح شكل (٨٠) ، ويتحكم بالمقاومة حرارية PTC .



شكل (٨٠)

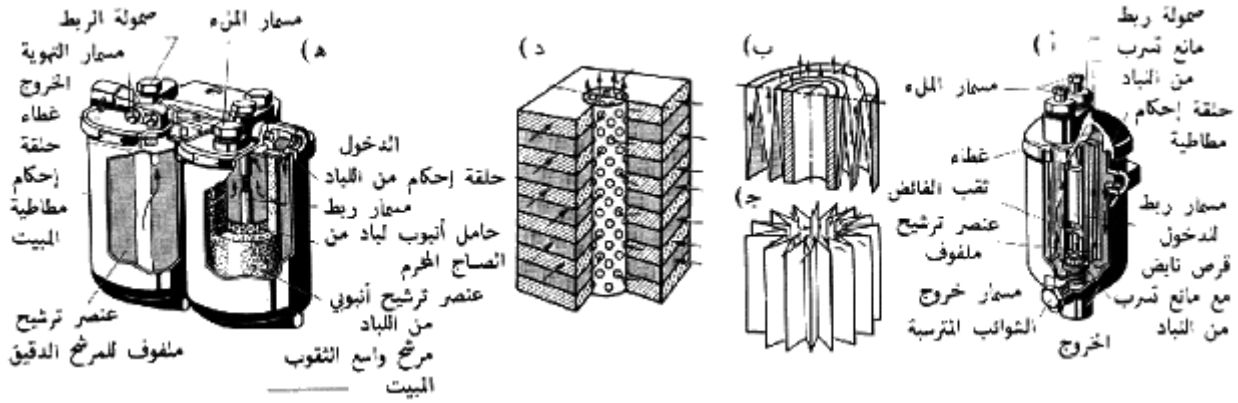
ب- مُبين مستوى الماء الكهربائي :

وهذه التجهيزة خاصة بالمنقي المزود بغرفة لتجميع الماء بعد فصله عن الوقود وعند عدم تفريغ الماء لمدة طويلة نوعاً ما فإن مصباح تحذير يضيء أمام السائق لتنبيهه لتفريغ الماء عبر صمام التفريغ بالمرشح شكل (٨١) .



شكل (٨١)

المرشحات وأشكال عناصر الترشيح شكل (٨٢) :



شكل (٨٢) المرشحات الخاصة بوقود الديزل وعناصر الترشيح

مرشحات الوقود الخاصة بوقود الديزل :

وهي عبارة عن مرشحات دقيقة ، وتصنع عناصر الترشيح بالمرشحات من اللباد أو الورق ، وتعتبر المرشحات الورقية أدق من مرشحات اللباد ، وتصميم عناصر الترشيح بطرق مختلفة ، (أ) فيصنع المرشح الورقي كمرشح ذي شكل ملتف (ب) أو كمرشح مطوي بشكل نجمي (ج) أما المرشح اللبادي فيكون ذا شكل أنبوبي (هـ) أو كمرشح رقائقي (د) كما يمكن التفريق بين ما يلي :

مرشح بسيط (مرشح بوش ذو عنصر ترشيح ملفوف) ، ومرشح متدرج (مرشح بوش ذو عنصر ترشيح أنبوبي من اللباد وعنصر ترشيح ملفوف) ، وعند تبديل عنصر الترشيح ، يجب تصريف الشوائب المترسبة أولاً بفتح مسمار التهوية .

مضخة الحقن الرئيسة :

وظيفتها :

تضغط مضخة الحقن الوقود إلى منافث الحقن ومنها إلى غرفة الاحتراق بالمحرك .

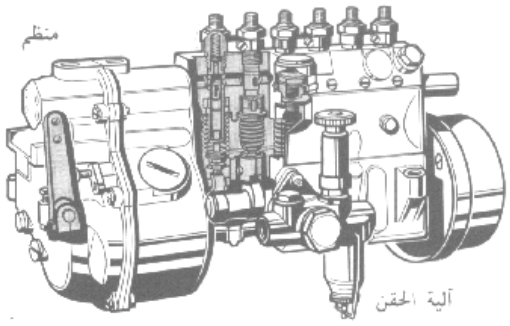
مواصفاتها :

١- توليد ضغط حقن عال بدرجة كافية .
٢- السماح بتغيير كمية الوقود المحقون .
٣- إمكان تغيير توقيت الحقن .
٤- ضخ نفس كمية الوقود في كل أسطوانة .
٥- إنهاء الحقن فجائياً .

أنواع مضخات الحقن :

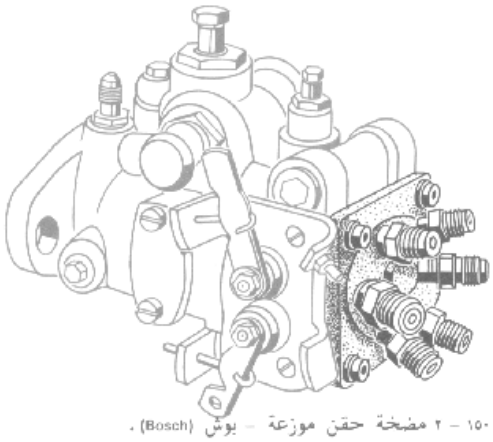
تعمل مضخة الحقن مثل المضخة ذات الكباس ، وتوجد منها تصميمات متعددة :

١- مضخة الحقن المتتالي شكل (٨٣) وهي تحتوي على عنصر ضخ مستقل لكل أسطوانة من أسطوانات المحرك ، ويتكون هذا العنصر من أسطوانة وكباس ، بخلوص تركيب يتراوح بين ٢/١٠٠٠مم و ٣/١٠٠٠مم وينجز الإزواج بدقة عالية ، بحيث لا يحتاج الكباس لأي مانع تسرب ، ويجب عند الإصلاح أو التغيير تبديل الأسطوانة والكباس معاً .



شكل (٨٣)

٢- مضخة الحقن الموزعة شكل (٨٤) : تولد هذه المضخة ضغط الحقن لكل الأسطوانات من عنصر ضخ واحد ويوزع كباس المضخة الوقود في نفس الوقت على أنابيب منفصلة ، تؤدي إلى منافث الحقن ، يدور الكباس حول محوره ، في نفس الوقت الذي يتحرك فيه في الاتجاه الطولي وتسمى هذه الحركة بالحركة التذبذبية لكباس المضخة ، ويوجد صمام ضغط خاص في كل أنبوب حقن ، ويمكن مقارنة مضخة الحقن الموزعة بمجموعة الإشعال بمحرك أوتو ، التي تتولد بها الشرارة لشموع الإشعال ، بواسطة ملف إشعال واحد .

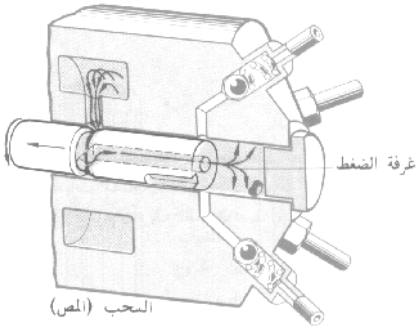


١٥٠ – ٢ مضخة حقن موزعة – بوش (Bosch) .

شكل (٨٤)

طريقة عمل المضخة الموزعة :

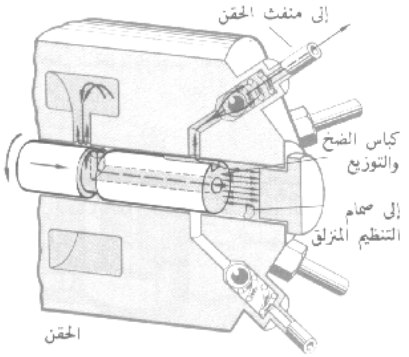
١ ـ شوط السحب : عند السحب يتحرك الكباس إلى النقطة الميتة السفلى ، فيتدفق الوقود من غرفة السحب خلال مجرى التغذية والحز الحلقي والثقب المحوري متوجهاً إلى غرفة الضغط ، وفي نفس الوقت يدور الكباس شكل (٨٥).



شكل (٨٥)

٢ ـ شوط الحقن : عند الحقن يتحرك الكباس إلى النقطة الميتة العليا ، وبمجرد غلق قناة التغذية ،

يضغط الوقود عبر حز التوزيع إلى أنبوب الحقن ومنه إلى منفث الحقن ، وينتهي شوط التغذية بواسطة صمام التنظيم المنزلق الذي يفصل أو يوصل بين غرفتي الضغط والسحب شكل (٨٦) .



شكل (٨٦)

الرشاشات :

وظيفتها :

تقوم باستقبال الديزل المضغوط من المضخة الرئيسة على شكل سائل ومن ثم تحويله إلى غاز وذلك لضمان اختلاط الهواء المضغوط مع الوقود بداخل غرفة الاحتراق للحصول على احتراق جيد.

مواصفاتها :

١- أن يكون مصمماً لنوع المحرك ونوعية منظومة الحقن.

٢- أن تصنع أسطوانة الإبرة والإبرة من سبائك فولاذية عالية الجودة حتى تتحمل الضغط العالي ولكي تعمر طويلاً.

أنواعها :

١- رشاش لمحرك ديزل مباشر الحقن (يحقن الرشاش الوقود بغرفة الاحتراق مباشرة) .

٢- رشاش لمحرك ديزل غير مباشر (يحقن الرشاش الوقود بغرفة مبدئية أولاً) .

شكل (٨٧) يبين أجزاء الرشاش .

مقارنة بين رشاش مباشر ورشاش غير مباشر

رشاش غير مباشر	رشاش مباشر
يحتاج إلى شمعة تسخين .	لا يحتاج إلى شمعة تسخين .
ضغطه يصل إلى ١٣٠ بار تقريباً .	بين ١٨٠ بار إلى ٣٠٠ بار أو أكثر .
حجمه صغير بالنسبة للرشاش المباشر .	حجمه أكبر .
يوجد برأسه ثقب واحد .	يوجد برأسه من ٣ إلى ٩ ثقوب أو أكثر .
استهلاك كثير للوقود .	استهلاك أقل بحوالي ١٥٪ تقريباً .
يستخدم في المحركات الصغيرة .	يستخدم في المحركات الكبيرة والصغيرة حديثاً.

وتنقسم رشاشات الحقن المباشر إلى نوعين هما :

١- رشاش ذو ثقب نفاث شكل (٨٧) .

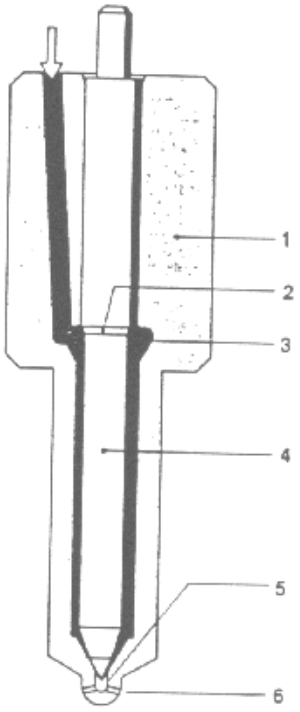
٢- رشاش ذو ثقب نفاث مُبرد شكل (٨٨) .

وتنقسم رشاشات الحقن غير المباشر إلى نوعين هما :

أولاً : ١ – رشاش ذو إبرة نفاثة شكل (٨٩) .

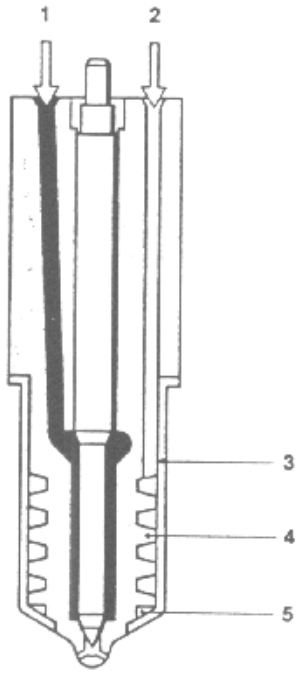
٢ – رشاش ذو إبرة خنق شكل (٩٠) .

ثانياً : رشاش لنظام حقن الديزل كهربياً شكل (٩١) .



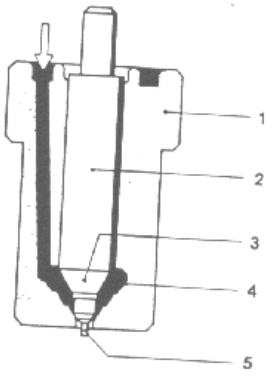
1- جسم الرشاش .
2- حلقة الضغط المخروطية .
3- غرفة الضغط .
4- إبرة الرشاش .
5- مقعد إبرة الرشاش .
6- ثقوب الرشاش .

شكل (٨٧) رشاش ذو ثقب نفاث



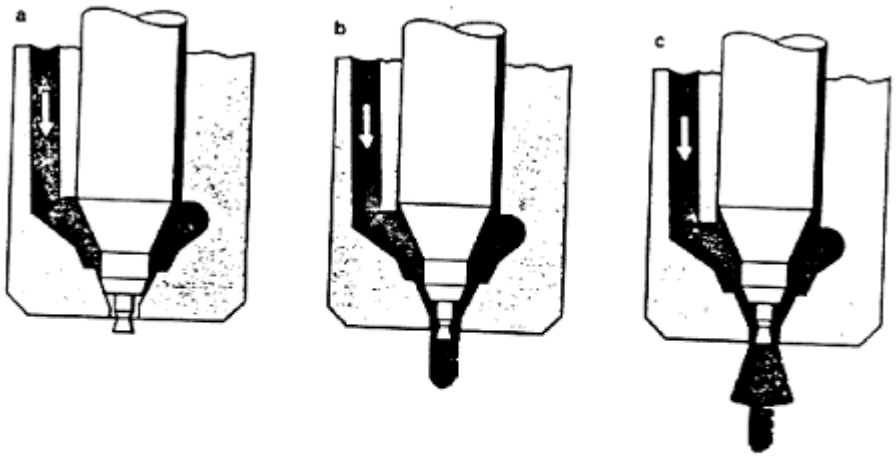
1- دخول الوقود .
2-دخول الهواء .
3-قمصان التبريد .
4- ريش (زعانف) التبريد .

شكل (٨٨) رشاش ذو ثقب نفاث مُبرد



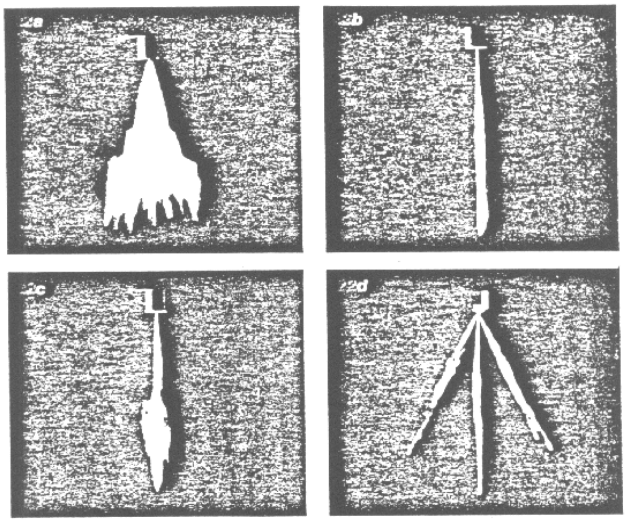
1- جسم الرشاش .
2- إبرة الرشاش .
3- حلقة الضغط المخروطية .
4- غرفة الضغط .
5- رأس إبرة الرشاش .

شكل (٨٩) رشاش ذو إبرة نفاثة



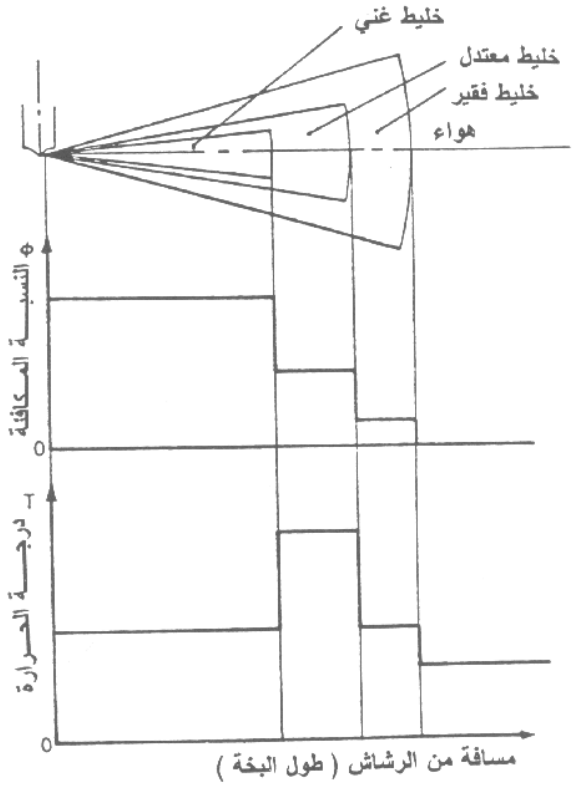
a- فتحة الرشاش مقفلة .
b- بدء الحقن (أثناء فترة عطلة الإشعال) .
c- الحقن الرئيس (أثناء فترة الإحتراق السريع) .

شكل (٩٠) يبين رشاشاً ذا إبرة خنق



a -رشاش ذو إبرة خنق. c,b- رشاش ذو إبرة نفاثة. d - رشاش ذو ثقب نفاث

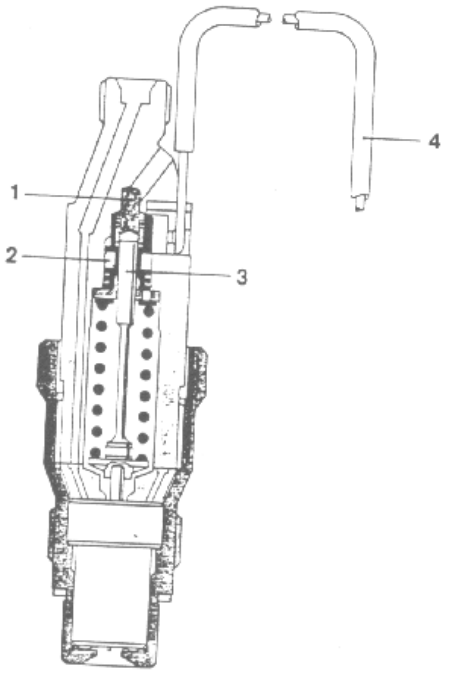
شكل (A) يبين شكل رذاذ كل نوع على حدة



شكل (B) يبين قطاع لمخروط تذرية حقن وقود الديزل داخل غرفة الاحتراق بواسطة الرشاش ومنحنى العلاقة البيانية بين طول مخروط التذرية والنسبة المكافئة (Ø) ودرجة الحرارة

رشاش لنظام حقن الديزل كهربياً :

لنظام حقن الديزل كهربياً رشاش خاص به يحتوي على إضافات مع التشابه في الأجزاء وطريقة العمل وشكل(٩١) يوضح قطاع لرشاش يعمل بنظام كهربي EDC.



1- برغي أو مسمار الضبط .
2- حساس حركة ساق الضغط .
3- ساق الضغط .
4- سلك التوصيل الكهربي .

شكل(٩١) رشاش لنظام حقن الديزل كهربياً

طريقة سريان الديزل في الرشاش المباشر وغير المباشر

يدخل الديزل المضغوط بواسطة المضخة الرئيسة إلى الرشاش عبر فتحة الدخول ومن ثم إلى غرفة الضغط وعند زيادة الضغط إلى الحد الذي يتغلب فيه الوقود المضغوط على قوة النابض تتحرك الإبرة إلى الخلف عكس قوة النابض فيخرج الوقود من الثقوب الخاصة إلى غرفة الاحتراق عند انخفاض الضغط القادم من المضخة الرئيسة يعود نابض الإرجاع إلى وضعه السابق دافعاً الإبرة إلى الأمام مقفلاً ثقوب الرشاش .

ملحظة : يعود الديزل الفائض إلى الخزان الرئيس عبر مجرى الفائض علماً بأن هذا الوقود الفائض يعمل أثناء رجوعه بتزييت وتنظيف أجزاء الرشاش الداخلية

محركات الديزل

مصطلحات وقياس أداء محركات الديزل

الجدارة

في هذه الوحدة يتم معرفة مصطلحات محركات الديزل وحساب الأبعاد لكل من (الإزاحة ـ سعة المحرك نسبة الانضغاط وحيز الاحتراق ـ النسبة الشوطية ـ زيادة نسبة الانضغاط) .

كذلك يتم قياس ومعرفة وحساب مختلف حدود أداء محركات الديزل المشحنة منها وغير المشحنة وفهم جميع المصطلحات التالية :

(القدرة البيانية ـ القدرة الفرملية ـ العزم ـ السرعة ـ الكفاءة الميكانيكية ـ الكفاءة الحجمية) .

الأهداف

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على فهم ومعرفة مصطلحات محركات الديزل وحساب الأبعاد وقياس الأداء لتلك المحركات على اختلاف أنواعها.

١ ـ مصطلحات الأبعاد وهي :

(الإزاحة ـ سعة المحرك ـ نسبة الانضغاط وحيز الاحتراق ـ النسبة الشوطية ـ زيادة نسبة الانضغاط) .

٢ ـ قياس وحساب مختلف حدود الأداء وهي :

(القدرة البيانية ـ القدرة الفرملية ـ العزم ـ السرعة ـ الكفاءة الميكانيكية ـ الكفاءة الحجمية) .

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ٩٥٪ .

الوقت المتوقع للتدريب ٨ ساعات .

الوسائل المساعدة

جهاز لعرض بعض المنحنيات والصورة التوضيحية .

متطلبات الجدارة

ـ إتقان أهداف الوحدات السابقة .

ـ فهم القوانين والقدرة على فهم الأمثلة .

مقدمة

تتناول هذه الوحدة فهم ومعرفة مصطلحات محركات الديزل وجميع الحسابات الخاصة بها .

حيث يتم عرض وشرح تفصيلي عن معادلات كل من :

(الإزاحة ـ سعة المحرك ـ نسبة الانضغاط وحيز الاحتراق ـ النسبة الشوطية ـ زيادة نسبة الانضغاط) .

وكذلك يتم قياس وحساب مختلف حدود أداء تلك المحركات من حيث :

(القدرة البيانية ـ القدرة الفرملية ـ العزم ـ السرعة ـ الكفاءة الميكانيكية ـ الكفاءة الحجمية) .

المحرك

رموز الصيغ والوحدات طبقاً للمواصفات القياسية

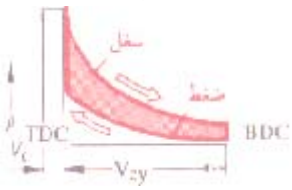
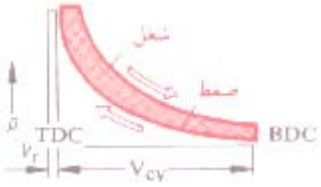
الكمية	الرمز	الوحدة	الكمية	الرمز	الوحدة
الشغل	w	Nm	القدرة	p	kw
طول القوس	^{l}a	mm	نسبة القدرة إلى الوزن	Pm*	kw\t
الكثافة	e	$g\backslash cm^3$	نسبة القدرة إلى الحجم	P*	kw\t
عزم الدوران	M	Nm	القدرة البيانية	pi	kw
سرعة الدوران (عدد الدورات)	n	r.p.m.	قدرة الشحان	pl	kw
الضغط	p	bar	نسبة الوزن إلى القدرة	mp*	kg\kw
ضغط السحب	p_s	bar	القدرة الفعالة	peff	kw
الضغط البياني للكباس	p_i	bar	القدرة المختزلة	pred	kw
الضغط الفعال للكباس	peff	bar	القدرة الاحتكاكية	pf	kw
الضغط الأقصى للاحتراق	Pmax	bar	قدرة تيار الطرد (الكسح)	psc	kw
الضغط النهائي للانضغاط	p_c	bar	الكفاية الحجمية	λ_l	-
حجم الشوط الكلي	v_s	Cm^3	نسبة الهواء	λ	-
السرعة	v	m\s	وزن المحرك	m_{M*}	kg
السرعة القصوى للكباس	v_{max}	m\s	طول ذراع التوصيل	l	mm
السرعة المتوسطة للكباس	v_m	m\s	نسبة ذراع التوصيل	λ_{cr}	-
السرعة المتوسطة للغاز	v_g	m\s	معدل استهلاك زيت التزليق	Bo	kg\h
نصف القطر	r	mm	الاستهلاك النوعي لزيت التزليق	bo	g\kwh
القمة الحرارية	H_u	kj\kg	درجة الحرارة	ϑ	℃
حيز الشوط للأسطوانة (الإزاحة)	v_{cy}	Cm^3	درجة الحرارة القصوى للاحتراق	ϑ_{max}	℃
مساحة الكباس	A	Cm^2	درجة حرارة نهاية الانضغاط	ϑ_c	℃
شوط الكباس	s	mm	زمن الفتح للصمام	t	s
القوة	F	N	حيز الاحتراق	v_{cn}	Cm^3
القوة المؤثرة على الكباس	F	N	حيز الانضغاط	v_c	Cm^3

الكمية	الرمز	الوحدة	الكمية	الرمز	الوحدة
القوة المؤثرة على المحمل	F_B	N	نسبة الانضغاط	ε	-
القوة المؤثرة على ذراع التوصيل	F_{cr}	N	كمية الحرارة	Q	kJ
القوة الجانبية	F_n	N	معدل استهلاك الحرارة	ϕ	kJ\h
القوة المماسة	F_t	N	معدل الاستهلاك النوعي للحرارة	w_{eff}	kJ\kwh
معدل استهلاك الوقود	B	Kg\h	الكفاية	η	-
معدل الاستهلاك النوعي للوقود	beff	g\kwh	الكفاية البيانية	η_i	-
متوسط استهلاك الوقود	k	1/100km	الكفاية الميكانيكية الكلية	η_m	-
نصف قطر المرفق	r	mm	الكفاية المستفادة	η_{eff}	-
وزن الشحنة	m	kg	قطر تجويف الأسطوانة	d	mm
وزن الشحنة الجديدة	m_f	kg	مساحة مقطع الأسطوانة	A	Cm^2
وزن الشحنة النظرية	m_{th1}	kg	عدد الأسطوانات	z	-

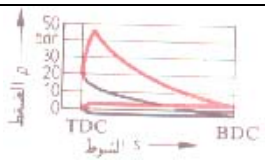
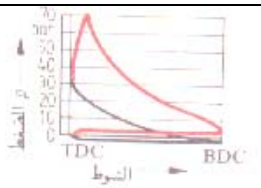
❖ غير قياسية .

مقارنة بين محرك أوتو ومحرك ديزل

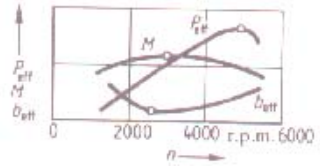
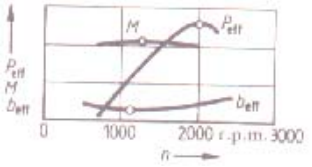
	محرك أوتو (OTTO) ١٨٦٧		محرك ديزل (DIESEL) ١٨٩٢
المخترع	نيكولاس أوجست أوتو ١٨٣٢- ١٨٩١		رودلف ديزل ١٨٥٨- ١٩١٣
أنواع الوقود	زيوت خفيفة : وقود ذو درجة غليان منخفضة مثل البنزين والكحول والمواد الغازية		زيوت ثقيلة : وقود ذو درجة غليان مرتفعة مثل وقود الديزل والزيت الخام وزيت القطران والسولاز .
	درجة حرارة الاشتعال الذاتي : ٥٥٠℃ ... ٤٥٠℃		درجة حرارة الاشتعال الذاتي : 350℃- 350℃
المتطلبات	مقاومة الاشتعال الذاتي ـ رقم أوكتان عال (Octane Number)		المتطلبات : قابلة للاشتعال الذاتي رقم سيتان عال (Cetane Number)
معدل الاستهلاك النوعي للوقود	محرك ذو مكربن ثنائي الأشواط : 400 - 600 g\kwh ثنائي الأشواط : 280-430 g\kwh محرك الحقن ثنائي الأشواط : 310-500 g\kwh رباعي الأشواط : 270-430 g\kwh		معدل الاستهلاك النوعي للوقود محرك السيارة ثنائي الأشواط : 260 - 370 g\kwh رباعي الأشواط : 200-340 g\kwh محرك السفينة : 200-340 g\kwh
نقطة الوميض	: ابتداء من 25℃ خطر الحريق : كبير		نقطة الوميض : أعلى من 55℃ خطر الحريق : صغير
معدل استهلاك الوقود	رباعي الأشواط	ثنائي الأشواط	رباعي وثنائي الأشواط
مناسب	حمل كامل مع سرعة دوران متوسطة	من ½ إلى ¾ حمل مع سرعة متوسطة إلى عالية	أقل من محرك أوتو ، وذلك بسبب جودة الكفاية الحرارية عن محرك أوتو ، سرعة دوران متوسطة .
غير مناسب	سرعة دوران منخفضة وعالية	حمل كامل وسرعة دوران منخفضة (مفقودات كسح)	أعلى بقدر ضئيل فقط عنه في محرك أوتو، وذلك في سرعات دوران أصغر أو أكبر .
الموازنة الحرارية (قيم متوسطة)	ماء التبريد (C) 33% عوادم وإشعاع (R) 36% احتكاك (F) 7% الشغل المستفاد (W) 24% 100%		ماء التبريد (C) 33% عوادم وإشعاع (R) 29% احتكاك (F) 7% الشغل المستفاد (W) 32% 100%
كلما زاد الكبس (الضغط) زادت شدة تحرر الغازات وكلما قلت درجة حرارة غازات العادم زاد الشغل المستفاد			
تكوين الخليط	عند كبس (ضغط) الخليط		عند كبس (ضغط) الهواء فقط

	تكوين الخليط خارجياً		تكوين الخليط داخلياً				تكوين الخليط داخلياً		
	١. تذرية الوقود في غرفة الخلط داخل المكربن . ٢. حقن الوقود في مشعب السحب		حقن الوقود في الأسطوانة أثناء شوط السحب أو شوط الضغط .				حقن الوقود في الأسطوانة في نهاية شوط الضغط .		
التنظيم	١. تغيير كمية الخليط المسحوب بواسطة التحكم في صمام الخنق . ٢. تغيير كمية الوقود المحقون .						تغيير كمية الوقود المحقون		
عملية الاحتراق	احتراق حجم ثابت (نظرياً) يكون الحجم ثابتاً تقريباً طوال عملية الاحتراق 						احتراق تحت ضغط ثابت (نظرياً) يكون الضغط ثابتاً تقريباً طوال عملية الاحتراق 		
نسبة الخلط. وقود : هواء	ضبط المكربن	هواء : وقود	نسبة نقص الهواء	نسبة فائض الهواء	يجب أن يعمل محرك الديزل ، من حالة عدم التحميل وحتى الحمل الكامل بفائض في الهواء، وذلك لعدم إمكانية توفير احتراق كامل خال من الدخان بسبب الزمن القصير المتاح للحقن .				
	حد الاشتعال ضعيف	1:17	.	كبيرة جداً					
	النسبة النظرية للخلط	1:14,8	.	.					
	القدرة العظمى غني	1:13 حتى 1:1,48	15%...0%	.					
	الاستهلاك الاقتصادي الأقصى ضعيف	1:15	.	%30 . %10					
	بدون حمل غني جداً	1:10	%40 ..%30	.					
	حد الاشتعال غني	1:7	كبيرة جداً	.	التحميل	نسبة فائض الهواء			
	بدء التشغيل غني فوق المعدل المطلوب	1:3	.	.	بدون حمل حمل جزئي حمل كامل	حتى 1000% حتى 40% تقريباً 15% - 10% على الأقل			

مقارنة بين محرك أوتو ومحرك ديزل

	محرك (OTTO)	محرك ديزل (DIESEL)
نسبة الانضغاط الضغط النهائي للانضغاط (ساخن) Pc درجة الحرارة النهائية للانضغاط	من 6 إلى حوالي 12 من 8 bar إلى 18 bar من ℃ 400 إلى ℃ 600 تؤدي زيادة الانضغاط إلى : زيادة الكفاية زيادة نسبة القدرة إلى الحجم تقليل معدل الاستهلاك النوعي للوقود زيادة الانضغاط يحددها رقم الأوكتان للوقود (خطر الدق للمحرك)	من 14 إلى حوالي 22 من 30 bar إلى 55 bar من ℃ 700 إلى ℃ 900 تؤدي زيادة الانضغاط إلى : زيادة الكفاية زيادة درجة حرارة الهواء تأخير الاشتعال قليلاً زيادة الانضغاط يحددها مقدار التحميل الواقع على مجموعة نقل الحركة وكذلك وزن المحرك (تصميم ثقيل)
الاحتراق	 يتم ضغط مخلوط من الوقود والهواء قابل للاشتعال تم إشعاله بمشعل خارجي (شمعة اشتعال) السرعة العادية للاحتراق : من 10 m\s إلى 25 m\s للاحتراق ذي الدق : من 100 m\s إلى 300 m\s	 يتم ضغط الهواء بدرجة عالية ، بحيث يشتعل الوقود المحقون ذاتياً بعد اختلاطه بالهواء الساخن . الزمن العادي لتأخير الاشتعال حوالي : 0.001 s يؤدي تأخير الاشتعال بصورة أكثر من اللازم (أكبر من 0.002 s) إلى حدوث احتراق سريع للغاية (دق الديزل)

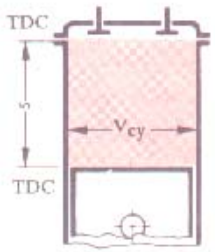
الحد الأقصى لضغط الاحتراق Pmax	30 bar - 60 bar			60 bar - 90 bar	
درجة الحرارة القصوى للاحتراق max	2000 ℃ - 2500 ℃			2000 ℃ - 2500 ℃	
درجة حرارة غازات العادم عند الحمل الكامل	700 ℃ – 1000 ℃			500 ℃ – 600 ℃	
الكفاية المتسفادة	22% - 30%			32% - 40%	
النسبة الحجمية لمكونات غاز العادم	المحرك عند سرعة اللاحمل	المحرك عند الحمل الكامل		المحرك عند سرعة اللاحمل	المحرك عند الحمل الكامل
		سرعة دوران منخفضة	سرعة دوران مرتفعة		سرعة دوران منخفضة	سرعة دوران مرتفعة
ثاني أوكسيد الكربون CO2	6,5 - 8	7 - 11	12 - 13	3,5	5,5	7
بخار الماء H2O	7 - 10	9 - 11	10 - 11	3,5	5	5
أوكسجين O2	1 – 1,5	0,5 - 2	0,1 – 0,4	16	12	10
أول أوكسيد الكربون CO	أقل من 4,5	4	1 - 3	حتى 0,05	0,1	حتى 0,3
هيدروجين H2	0,5 - 4	0,2 - 1	0,1 – 0,2	-	0,1	-
نتروجين N2	71 تقريباً	74 تقريباً	76 تقريباً	77 تقريباً	77 تقريباً	77 تقريباً

	عند دوران المحرك بسرعة اللاحمل يعمل محرك أتو بنقص في الهواء ويؤدي الاحتراق غير الكامل إلى خروج غازات عادمة تحتوي على كمية كبيرة من أول أوكسيد الكربون CO .	ابتداء من حالة اللاحمل وحتى الوصول إلى الحمل الكامل يعمل محرك الديزل بفائض في الهواء ، يؤدي إلى احتراق يكاد يكون كاملاً ولذا يحتوي العادم على كميات ضئيلة من أول أوكسيد الكربون CO .
منحنيات الأداء عند الحمل الكامل	 عند رفع أو خفض سرعة دوران المحرك ينخفض عزم الدوران عن قيمته القصوى انخفاضاً موائماً	 يعطي منحني عزم الدوران الأكثر تسطحاً قدرة جر متجانسة تقريباً لنطاق سرعة دوران كبير
الحد الأقصى لسرعة الدوران	4000 r.p.m - 10000 r.p.m	1500 r.p.m - 5000 r.p.m
نسبة الوزن إلى القدرة نسبة القدرة إلى الحجم	2 kg\kw - 6 kg\kw 22 kw\1 - 55 kw\1	5 kg\kw – 9,5 kg\kw 7 kw\1 - 30 kw\1

الحجم الشوطي (الإزاحة)

يطلق على الحيز المحدود بين النقطة الميتة العليا TDC والنقطة الميتة السفلى BDC للكباس باسم الحجم الشوطي (الإزاحة) V_{cy} شكل (٩٢) ويعرف من المعادلة التالية :

$$Vcy = A.S = \frac{d^2.\Pi}{4}.s$$



شكل (٩٢)

V_{cy} = حيز الشوط للأسطوانة بوحدة (cm^2) .

d = قطر الأسطوانة بوحدة (cm) .

A = مساحة مقطع الأسطوانة بوحدة (cm^2) .

S = طول الشوط (المشوار) بوحدة (cm) .

Π = ٣,١٤ .

مثال : إذا كانت d = 84 mm ; s = 80 mm ، أوجد حيز الشوط للأسطوانة V_{cy} .

الحل :

$$Vcy = A.s = \frac{\Pi \times 8.4^2 cm^2}{4} \times 8cm$$

$$= 443.4 cm^3$$

سعة المحرك

يتم حساب سعة محرك يحتوي على عدد من الأسطوانات من الصيغة الرياضية التالية :

$$Vs = A.S.Z = \frac{d^2.\Pi}{4}.S.Z$$

$$Vs = Vcy.Z$$

حيث :

Vs = سعة المحرك بوحدة (cm^3) .

Z = عدد الأسطوانات .

مثال :

إذا كانت : Z = 6 .

. Vcy = 443.4 cm3

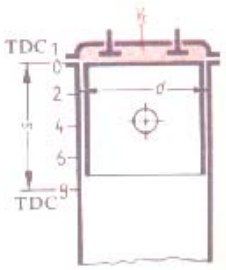
أوجد سعة المحرك بوحدة (cm^3) .

الحل :

$$Vs = Vcy \cdot Z$$
$$= 443.4\,cm^3 \times 6$$
$$= 2660.4\,cm^2$$

نسبة الانضغاط (حيز الاحتراق)

يتم تعيين حيز الانضغاط في معظم الأحيان بمعايرة سعته باللتر بسائل ما ، نظراً لصعوبة حسابه نظرياً وذلك بسبب شكله المعقد ، وتطلق تسمية حيز (غرفة) الاحتراق على ذلك الحيز الذي يحيط به السطح الداخلي للأسطوانة ورأسها وقمة الكباس فضلاً عن جميع الأحياز الجانبية مثل حيز أو غرفة الاحتراق المتقدم ، ويتغير حيز الاحتراق أثناء الدورة ، ويشكل الحد الأدنى لحيز الاحتراق (Vcn min) حيز الانضغاط (Vc) شكل (٩٣).



شكل (٩٣)

$$\varepsilon = \frac{Vcy + Vc}{Vc}$$

$$Vcy = Vc.(\varepsilon - 1)$$

$$Vc = \frac{Vcy}{\varepsilon - 1}$$

$$Vcn\,max = Vcy + Vc$$

الكباس في TDC

$$Vcn\,min = Vc$$

الكباس في BDC

حيث :

ε = نسبة الانضغاط .

Vc = حيز الانضغاط بوحدة (cm^3) .

Vcn = حيز الاحتراق بوحدة (cm^3) .

Vcn max = الحد الأقصى لحيز الاحتراق بوحدة (cm3).

(الكباس في النقطة BDC) .

Vcn min = الحد الأدنى لحيز الاحتراق بوحدة (cm^3) .

مثال :

احسب نسبة الانضغاط (ε) إذا علمت أن : $Vc = 47.5\ cm^3$; $Vcy = 366\ cm^3$.

الحل :

$$\varepsilon = \frac{Vcy + Vc}{Vc} = \frac{366 + 47.5}{47.5} = 8.7$$

مثال :

احسب حيز الانضغاط (Vc) بوحدة (cm^3) إذا كانت : $\varepsilon = 6.5$; $Vcy = 49\ cm^3\ m$.

الحل :

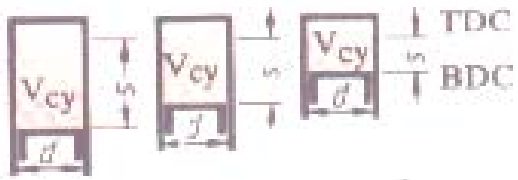
$$Vc = \frac{Vcy}{\varepsilon - 1} = \frac{49}{6.5 - 1} = 8.9\, cm^3$$

ملحظة :

نوع المحرك	نسبة الانضغاط (ε)
محركات أوتو	6 ... 11
محركات أوتو لسيارات السباق	حتى 14
محركات الديزل	14 ... 22

النسبة الشوطية

النسبة الشوطية تعني حساب نسبة طول الشوط إلى القطر .



s أكبر من d	محرك طويل الشوط	k < 1
d = s	محرك مربع الشوط	k = 1
s أصغر من d	محرك قصير الشوط	k > 1

الصيغة الرياضية :

$$k = \frac{s}{d}$$

$$s = k.d$$

$$d = \frac{s}{k}$$

حيث :

k = النسبة الشوطية (نسبة طول الشوط إلى قطر الأسطوانة) .

s = طول الشوط بوحدة (cm) .

d = قطر الأسطوانة بوحدة (cm) .

ملحظة :

محركات أوتو	k = 0.6 ... 1,5
محركات الديزل	k = 0.9 ... 1,5

زيادة نسبة الانضغاط

يمكن رفع قدرة المحرك بزيادة نسبة الانضغاط بالطرق التالية :

١ ـ تركيب كباسات أكثر ارتفاعاً مما يؤدي إلى زيادة نسبة الانضغاط .

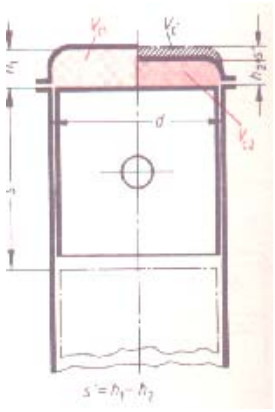
٢ ـ تركيب حشوات منع تسرب أقل سمكاً عند رأس الأسطوانة .

٣ ـ تفريز أو تجليخ الأسطوانة أو رأس الأسطوانة .

٤ ـ توسيع قطر الأسطوانة أو زيادة الشوط (أي تكبير حيز الشوط) .

ويمكن حساب النسبة الجديدة للانضغاط إذا علم التغير الحادث في ارتفاع حيز الانضغاط .

وعند إجراء الحساب يعتبر الحيز الذي يجري تصغيره بمقدار Vc_1 حيزاً أسطوانياً .



$$s' = \frac{V_{c1} - V_{c2}}{A}$$

$$s' = \frac{s}{\varepsilon_1 - 1} - \frac{s}{\varepsilon_2 - 1}$$

$$Vc' = A.s'$$

$$V_{c2} = V_{c1} - V_{c'}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{V_{cy} + V_{c2}}{V_{c2}}$$

حيث :

V_{c1} = حيز الانضغاط بوحدة (cm^3) قبل زيادة الانضغاط .

V_{c2} = حيز الانضغاط بوحدة (cm^3) بعد زيادة الانضغاط .

ε_1 = نسبة الانضغاط قبل الزيادة .

ε_2 = نسبة الانضغاط بعد الزيادة .

$V_{c'}$ = التصغير في حيز الانضغاط بوحدة (cm^3) .

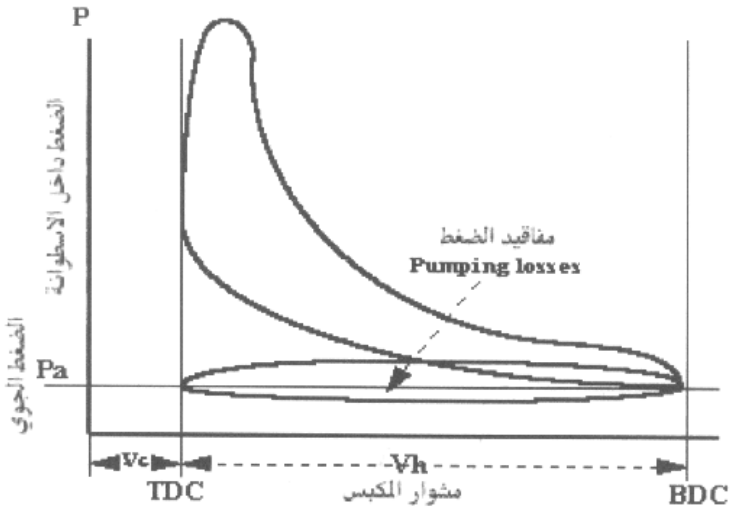
s' = التغير في ارتفاع حيز الانضغاط بوحدة (cm) .

s = طول الشوط بوحدة (cm) .

A = مساحة مقطع الأسطوانة بوحدة (cm^2) .

القدرة البيانية :

تعرف القدرة البيانية لمحرك بأنها قيمة القدرة المولدة من ضغط الغازات في الأسطوانة ، وهي أول خطوة يتم عندها تحويل الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة آلية في المحرك ، وتسمى قدرة بيانية نظراً لأنها يمكن قياسها باستخدام جهاز المبين ، وهو يقوم برسم المنحنى البياني الذي يوضح العلاقة بين الضغط داخل الأسطوانة عند مختلف أوضاع الكباس خلال أشواطه المتتابعة . الشكل (٩٤)



شكل (٩٤)

ويمكننا من قياس مساحة المنحنى المبين للمحرك أن نستنتج مقدار الطاقة الآلية الناشئة من الغازات المحترقة في الأسطوانة وبذلك نحسب قدرتها البيانية .

ويقتصر استخدام المنحنيات البيانية لقياس قدرة المحرك على المحركات الكبيرة بطيئة السرعة (أو المتوسطة) ، كذلك تستخدم المنحنيات البيانية لدراسة أداء محرك الديزل عند تغيير تصميم بعض أجزائه ، مثل غرفة الاحتراق ، صمامات الحقن . . إلخ ، إذ يتضح من تحقيق قدرة بيانية أكبر عند احتراق كمية محددة من الوقود أنه بالإمكان تحويل كمية أكبر من الطاقة الحرارية إلى طاقة آلية في المحرك .

رباعي الأشواط	ثنائي الأشواط
$p_i = \frac{v_s \cdot p_i \cdot n}{1200}$	$p_i = \frac{v_s \cdot p_i \cdot n}{600}$
$p_i = \frac{F_i \cdot v_m \cdot z}{4000}$	$p_i = \frac{F_i \cdot v_m \cdot z}{2000}$
	$v_m = \frac{2.s.n}{60}$
	$F_i = A.p_i$
	$p_i (N\backslash cm^2)$

ملحظة :

يمكن الحصول على Peff بالتعويض في الصيغتين السابقتين عن Pi بمقدار Peff أو عن Fi بمقدار Feff .

Pi = القدرة البيانية بوحدة (kw) .

d = قطر الكباس بوحدة (cm) .

A = مساحة سطح الكباس بوحدة (cm^2) .

s = طول الشوط بوحدة (m) .

z = عدد الأسطوانات .

Pi = متوسط الضغط البياني للكباس بوحدة (bar) .

n = سرعة دوران المحرك بوحدة (r.p.m) .

Vs = حجم الشوط الكلي بوحدة (l) .

Peff = القدرة المستفادة بوحدة (kw) .

P = متوسط الضغط الفعال للكباس بوحدة (bar) .

Fi = قوة الضغط البياني للكباس بوحدة (N) .

Vm = السرعة المتوسطة للكباس بوحدة (m\s) .

مثال :

محرك ديزل رباعي الأشواط قطر الأسطوانة ، $d = 69,5$ mm ، طول الشوط $s = 72$ mm ، عدد الأسطوانات $z = 4$ ، سرعة دوران المحرك $n = 6000$ r.p.m ، متوسط الضغط البياني للكباس $Pi = 7,7$ bar .

احسب كلاً من حجم الشوط الكلي (V_s) بوحدة (l) ، والقدرة البيانية (Pi) بوحدة (kw) .

الحل :

$$v_{cy} = \frac{\Pi . d^2}{4} . s = \frac{\Pi . 6,95^2 cm^2}{4} . 7,2cm =$$

$$37,94 cm^2 . 7.2cm = 273,17 cm^3$$

$$v_s = v_{cy} . z = 273,17 cm^3 . 4 \approx 1093 cm^3 = 1,093 L$$

$$p_i = \frac{v_s \cdot p_i . n}{1200} = \frac{1,093.7,7.6000}{1200} = 42kw$$

مثال :

محرك ديزل ثنائي الأشواط بياناته هي :

$F_i = 1800$ N ; $V_m = 12,5$ m\s ; $z = 2$.

احسب القدرة البيانية (P_i) بوحدة (kw) .

الحل :

$$p_i = \frac{F_i \cdot v_m . z}{2000} = \frac{1800.12,5.2}{2000} = 22,5kw$$

القدرة الفرملية :

يتم قياس القدرة الفرملية للمحرك بالكيلو واط ، وهي مقدار القدرة الفعلية المنتفع بها عند عمود الإدارة وتساوي شغلاً مقداره ١٠٠٠ جول في الثانية ، وتسمى بالقدرة الفرملية لأنه يتم قياسها عملياً بجهاز يسمى الفرملة ، ويبين الشكل (٩٥) أحد أنواع أجهزة القدرة الفرملية ، وتعرف باسم فرملة بروني وتقوم بامتصاص قدرة المحرك بواسطة المقاومة الاحتكاكية الناتجة عن وجود مجموعة من الكتل الخشبية (a) التي تحيط بحذافة المحرك ، وتضغط عليها بواسطة حزام ملتف حولها ، ويرتبط من نهايته بذراع رافعة (r1) تقوم بدورها عند النقطة (m) بالضغط على قاعدة ميزان (e) .

وتكون صواميل الضغط (b) مفككة (سائبة) قبل البدء في قياس قدرة المحرك، حتى لا تؤثر بأي ضغط على الكتل الخشبية المحيطة بطارة (حذافة) المحرك ، وتسجل قراءة وضع الاتزان لثقل الميزان عندئذ ، ولنفرض أنها (e1) ، وهو وزن الذراع (r1) فحسب .

ثم يتم تشغيل المحرك حتى يدور بسرعته المعتادة ، وتربط الصواميل (b) ، فتزداد مقاومة الاحتكاك بين الكتل الخشبية والطارة ، وتضغط ذراع الفرملة (r1) على قاعدة الميزان بقوة جديدة تتناسب مع القدرة الفرملية للمحرك ، وتسجل قراءة وضع الاتزان الجديد لثقل الميزان ، ولنفرض أنها (e2) وبذلك تكون القوة الفعلية الناتجة عن شغل المحرك هي تأثير الفرق الناتج بين القراءتين e1 و e2 ، أي إن :

القوة الناشئة على الفرملة $F = (e_2 - e_1) \times g$ (N) .

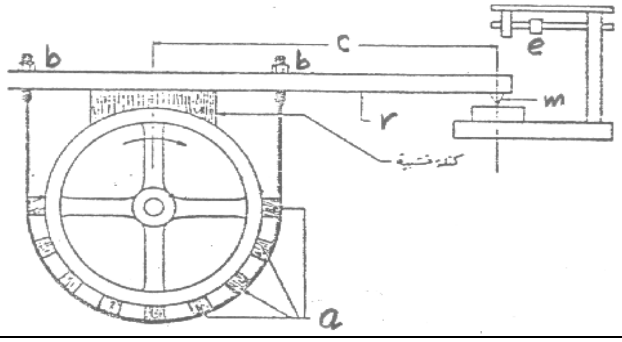
حيث إن :

F = القوة الناشئة عن الفرملة بـ (N) .

e2 = قراءة وضع الاتزان النهائي لثقل الميزان بالجرام (g) .

e1 = قراءة وضع الاتزان الابتدائي لثقل الميزان بالجرام (g) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية $m\backslash s^2$ (9,81) .



شكل (٩٥)

رسم تخطيطي لفرملة بروني

فإذا أردنا حساب الشغل الفعال في لفة دوران واحدة للمحرك فلا بد أن نقوم باعتبار القوة الناتجة بالإضافة إلى مسافة تأثيرها ، أي عند محيط الدائرة التي تكون نصف قطرها طول ذراع الفرملة (r) وهي المسافة بين مركز الحذافة ونقطة ارتكازها على قاعدة الميزان مقدرة بالمتر ، أي إن :

الشغل الفعال في لفة دوران واحدة = القوة × المسافة.

$$W = F \times S$$

$$S = 2.\Pi.r$$

والمعروف أن القدرة هي معدل الشغل المبذول في الثانية وبذلك تكون :

القدرة الفرملية :

$$p_b = F \times 2\Pi \times r \times n$$

$$= w \times n$$

حيث إن :

W = هي الشغل بـ (J) جول .

F = القوة بـ (N) نيوتن .

S = المسافة بـ (الدوران rad – الدرجات بالمتر m) .

Π = النسبة الدائرية (3.14) .

r = نصف قطر طارة الفرملة .

P_b = القدرة الفرملية بـ (kw) كيلوات .

n = عدد اللفات في الثانية (rpm - rps) .

مثال : يدور محرك رباعي الأشواط مفرد التأثير بسرعة (n) = 300 rpm ، وقد وجد أن القوة الفرملية الناشئة على حافة الطارة مقدارها F = 65 kN .

احسب القدرة الفرملية إذا كان القطر الفعال لعجلة الطارة d = 1,8 m .

الحل :

$$F = 65 \times 1000 = 65000\ N$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9\,m$$

$$n = \frac{300}{60} = 5\,rps$$

$$p_b = F \times 2\Pi \times r \times n$$

$$= 65000 \times 2 \times 3,14 \times 0,9 \times 5$$

$$= 1836900w$$

$$= 1836,9kw$$

عزم الدوران :

يتم دوران عمود مرفق المحرك بواسطة قوة تؤثر على المرفق المتصل بالكباس ، ويعرف الشغل الناتج عن هذه القوة والذي يسبب دوران عمود المرفق باسم عزم الدوران ، وينتقل بدوره من عمود المرفق إلى الآلة التي يتم إدارتها ، فإذا أمكننا حساب عزم الدوران وقياس سرعة المحرك فسوف نستطيع حساب قدرة المحرك ، أي إنه يمكننا استنتاج عزم دوران المحرك (الشغل) إذا عرفت قدرته وسرعة دورانه .

ويقاس عزم الدوران بواسطة ضرب القوة المؤثرة في ذراع العزم أي مقدار بعدها عن مركز الدوران في اتجاه عمودي عليها .

معادلة عزم الدوران : $M = F . L$.

حيث إن :

F = القوة المؤثرة (N) .

L = ذارع العزم (m) .

M = عزم الدوران (Nm) .

مثال :

إذا كانت القوة (F) المؤثرة في عمود المرفق تساوي 1200 KN ، وكان طول ذارع المرفق (L) يساوي 0,50 m احسب عزم الدوران .

الحل :

$M = F . L$

$= 1200(KN) . 0,50 (m) = 600 KJ$

وفي هذه الحالة يجب أن تكون القدرة الفرملية (P_b) بالواط (W) :

$$P_b = (F.L) \times \frac{2\Pi n}{60}$$

أي إن :

$$P_b = M \times \frac{2\Pi n}{60}$$

مثال :

أوجد عزم دوران محرك سرعته (n) 240 rpm ، وقدرته الفرملية 6400 KW.

الحل :

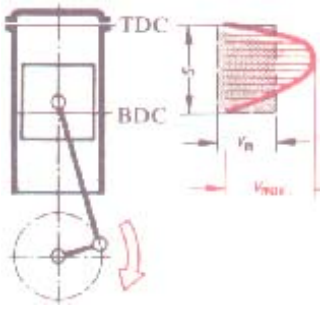
$$P_b = M \times \frac{2\Pi n}{60}$$

$$M = \frac{P_b .60}{2\Pi n}$$

$$= \frac{6400 \times 60}{2\Pi 240} = 254{,}48kj$$

سرعة الكباس

تكون سرعة الكباس صفراً عند نقطتي TDC و BDC وتقع القيمة القصوى لسرعة الكباس بين هاتين النقطتين ، عندما يكون ذراع التوصيل مع ساعد المرفق زاوية قائمة تقريباً ، أي إن سرعة الكباس تتراوح بين الصفر والقيمة القصوى شكل (٩٦).



شكل (٩٦)

$$V_m = \frac{2.s.n}{60}$$

$$s = \frac{60.V_m}{2.n}$$

$$n = \frac{60.V_m}{2.s}$$

$$V_{max} \approx 1{,}6.V_m$$

حيث :

V_m = السرعة المتوسطة للكباس بوحدة (m\s) .

V_{max} = السرعة القصوى للكباس بوحدة (m\s) .

s = طول الشوط بوحدة (m) .

n = سرعة دوران المحرك بوحدة (r.p.m) .

60 = عدد تحويل (60 s = 1 min) .

مثال :

إذا كانت $s = 80\ mm\ ;\ n = 5000\ r.p.m$.

احسب السرعة المتوسطة للكباس (V_m) بوحدة (m\s) .

الحل :

$$V_m = \frac{2.s.n}{60} = \frac{2.0{,}0800m.5000}{60s \setminus min} = 13{,}3m \setminus s$$

قيم عملية :

نوع المحرك	السرعة المتوسطة للكباس (V_m)
محرك أوتو	8 m\s ... 16 m\s
محركات الديزل	9 m\s ... 14 m\s

الكفاءة الحرارية البيانية :

تعرف الكفاءة الحرارية البيانية للمحرك بأنها النسبة بين الشغل الناتج من الغازات في الأسطوانات في مدة محددة والطاقة الحرارية للوقود المستخدم في نفس المدة، وعلى ذلك تكون:

الكفاءة الحرارية البيانية ٪ = [(الشغل البياني) ÷ (الحرارة الداخلة)] × ١٠٠ .

وتستعمل الكفاءة الحرارية البيانية في الاختبارات المعملية والبحوث التي يجريها صناع محركات الديزل .

مثال :

يدور محرك ثنائي الأشواط مفرد التأثير بسرعة (n(126 r.p.m ، فإذا كان طول المشوار (S (1,600 m ، وقطر الأسطوانة (d (0,800 m ، ويستهلك (H (2900 kg\hr من وقود قيمته الحرارية (Hu (44 MJ\kg ، فإذا كان متوسط الضغط التأثيري البياني (Peff (12 bar ، وعدد الأسطوانات (Z (6 .

حيث إن :

n = سرعة دوران (126 r.p.m) .

s = طول المشوار (1,600 m) .

d = قطر الأسطوانة (0,800 m) .

H = استهلاك الوقود (2900 kg\hr) .

Hu = القيمة الحرارية للوقود (44 MJ\kg) .

Peff = متوسط الضغط البياني (12 bar) .

z = عدد الأسطوانات (6) .

احسب :

١ ـ القدرة البيانية (Pi) .

٢ ـ الكفاءة الحرارية البيانية (ηthi)

٣ ـ الاستهلاك النوعي للوقود (beff) .

الحل :

١ ـ القدرة البيانية :

$$p_i = Peff \frac{\Pi d^2}{4} s \frac{n}{60} z$$

$$= 12 \frac{10^5}{1000} \times \frac{\Pi (0,8)^2}{4} \times 1,6 \frac{126}{60} \times 6$$

$$= 12 \times 100 \times 0,50 \times 1,6 \times 2,1 \times 6$$

$$= 12096 kw$$

٢ ـ الكفاءة الحرارية البيانية :

$$\eta thi = \frac{p_i \times 3600}{B \times Hu}$$

$$= \frac{12096 \times 3600}{2900 \times 44 \times 10^3}$$

$$= 0,341$$

$$= 34,1\%$$

٣ ـ الاستهلاك النوعي للوقود :

$$beff = \frac{B}{p_i}$$

$$= \frac{2900}{12096} = 0,239 kg \setminus kw \setminus hr$$

الكفاءة الميكانيكية :

تعرف القدرة البيانية للمحرك على أنها القدرة (بالكيلو واط) الناشئة عن الغازات داخل الأسطوانة ، وعندما تنتقل إلى خارج المحرك في صورة مقدرة منتفع بها فإنها تعرف حينئذ باسم القدرة الفرملية .

ويصحب عملية انتقال القدرة من داخل المحرك إلى خارجه فقداً ميكانيكياً للتغلب على المقاومة الاحتكاكية الناتجة في الأجزاء المتحركة للمحرك، مثل حلقات الكباس وجدار الأسطوانة ، وعند الكراسي الرئيسة والصمامات والدلائل . . إلخ .

وتستعمل الكفاءة الميكانيكية لتقدير مقدار الفقد الناشئ في تحويل القدرة البيانية إلى قدرة فرملية وعلى ذلك تكون :

الكفاءة الميكانيكية ٪ = [القدرة الفرملية (بالكيلو واط) ÷ القدرة البيانية (بالكيلو واط)] × ١٠٠ .

ويعرف الفقد الميكانيكي أحياناً باسم القدرة الاحتكاكية أي إن :

القدرة الاحتكاكية (P_f) = القدرة البيانية (P_i) – القدرة الفرملية (P_b) .

ويمكننا في المحركات الكبيرة حساب القدرة الاحتكاكية بطرح الفرق بين القدرة البيانية المحسوبة من أشكال البيان والقدرة الفرملية التي يتم قياسها بالدينامو متر .

أما في المحركات الأصغر والتي يصعب قياس قدرتها البيانية ، فقد يستخدم محرك كهربائي لإدارة المحرك مع قطع الوقود عنه حتى تصل سرعته إلى السرعة المعتادة ، ويتم قياس القدرة الكهربائية المستخدمة لذلك ، وبذلك تكون القدرة الاحتكاكية للمحرك هي القدرة المستخدمة لإدارته بالمحرك الكهربائي ، وبعدها نستنتج القدرة البيانية من المعادلة :

$$P_i = P_f + P_b .$$

مثال :

احسب الكفاءة الميكانيكية لمحرك إذا كانت قدرته الفرملية (P_b) 570 KW عند سرعة معينة ويحتاج إلى 190 KW ليدور بمحرك كهربائي عند نفس السرعة مع قطع الوقود عنه .

الحل :

القدرة البيانية = 570 + 190 = 760 KW .

$$\text{الكفاءة الميكانيكية} = \frac{p_f}{p_i} \times 100 = \frac{570}{760} \times 100 = 75\% .$$

وتختلف الكفاءة الميكانيكية للمحركات باختلاف طرازها ، كما تتغير قيمتها بالنسبة للمحرك الواحد تبعاً لسرعته ومقدار تحميله وأحوال تشغيله المختلفة ، مثل التبريد والتزييت ودرجات الحرارة . . إلخ ، وتزداد الكفاءة الميكانيكية للمحرك كلما نقص الفقد الميكانيكي عندما تراعى العناية في تركيب وتشغيل أجزائه المتحركة ، كما تقل الكفاءة الميكانيكية عند الحمل الجزئي عن قيمتها عند الحمل الكامل ، وذلك لثبات الفقد الميكانيكي في الحالتين (تقريباً) وتتراوح الكفاءة الميكانيكية لمعظم محركات الديزل عند الحمل الكامل بين 70% , 90% .

مثال :

يدور محرك رباعي الأشواط مفرد التأثير بياناته كالتالي :

n = سرعة الدوران 300 r.p.m .

z = عدد الأسطوانات 6 .

D = قطر الأسطوانة 460 mm .

s = طول المشوار 640 mm .

أجري اختبار وتم تسجيل النتائج التالية أثناء الاختبارات .

h = متوسط ارتفاع الأشكال البيانية 11 mm .

k_s = ثابت النابض 120 kN\m^2\mm .

F = القوة الفرملية الفعالة عند المحيط 57,6 KN .

d = القطر الفعال لعجلة الفرملة 1,98 m .

احسب :

١ـ القدرة البيانية P_i . ٢ ـ القدرة الفرملية P_b . ٣ ـ الكفاءة الميكانيكية ηm .

الحل :

١ ـ القدرة البيانية :

$$p_i = h \times Ks \times \frac{\Pi D^2}{4} \times s \times \frac{n}{60} \times \frac{1}{2} \times z$$

$$= 11 \times 12 \times \frac{\Pi (0,46)^2}{4} \times 0,64 \times \frac{300}{60} \times \frac{1}{2} \times 6$$

$$= 2105,96 kw$$

٢ ـ القدرة الفرملية :

$$p_b = 2 \times \Pi \times \frac{n}{60} \times \frac{d}{2} \times F$$
$$= 2 \times \Pi \times \frac{300}{60} \times \frac{1,98}{2} \times 57,6$$
$$= 1791,46kw$$

٣ ـ الكفاءة الميكانيكية :

$$\eta m = \frac{p_b}{p_i}$$
$$= \frac{1791,46}{2105,96}$$
$$= 0,85$$
$$= 85\%$$

الكفاءة الحجمية :

تعبر الكفاءة الحجمية عن النسبة بين مقدار الهواء المسحوب فعلياً في أسطوانة المحرك وبين أكبر مقدار يمكن سحبه من الهواء أثناء شوط الشحن ، وتمثله إزاحة الكباس ، وهي عبارة عن مساحة الكباس مضروبة في طول المشوار ، ويتم تقدير حجم الهواء الداخل فعلياً إلى الأسطوانة أثناء شوط الشحن عند درجة حرارة وضغط عيارين أي عند ١٥° م وضغط ٧٣٦ مم زئبق ، وبذلك تكون :

الكفاءة الحجمية (بالمئة) = [حجم الهواء المسحوب (عند ١٥°م ، ٧٣٦مم زئبق) ÷ إزاحة الكباس]× ١٠٠

ويتضح لنا أنه يمكن استخدام الكفاءة الحجمية لتقدير النسبة بين وزن الهواء المسحوب في الأسطوانة ، ووزن حجم من الهواء يملأ إزاحة الكباس عند الحالة العيارية ، ويتضح لنا أن وزن الهواء المسحوب فعلياً أقل من وزن هواء إزاحة الكباس لأن الهواء المسحوب يكون في درجة حرارة أكبر وفي ضغط أقل من الحالة العيارية ، وترتفع درجة حرارة الهواء المسحوب بسبب اختلاطه ببعض غازات العادم وبسبب المقاومة التي يتعرض لها في سريانه خلال صمامات الشفط ومواسيره .

تأثير الكفاءة الحجمية على قدرة المحرك :

تتصل قدرة المحرك اتصالاً مباشراً بكفاءته الحجمية ، فتقل القدرة إذا نقصت الكفاءة ، لأن وزن الهواء الداخل للمحرك يقل ، مما يسبب نقصاً في كمية الوقود التي يمكن احتراقها في المحرك وتقل القدرة تبعاً لذلك .

وتزيد قدرة المحرك إذا تحسنت كفاءته الحجمية ، مثل مراعاة أحوال تبريد الهواء الداخل ، ودقة توقيت صمامات سحب الهواء وخروج العادم ، والخلوص اللازم لها ، إلى غير ذلك من أحوال الصيانة والتشغيل السليم .

وتتراوح الكفاءة الحجمية بين ٨٠٪ و ٩٠٪ لمحركات الشفط المعتاد .

ويستخدم تعبير كفاءة الكسح (للمحركات ثنائية الأشواط ، وتدل على مقدار ما تخلصت منه الأسطوانات من غازات العادم المتبقية من الشوط السابق ، وملئها بالهواء النقي ، وتعتمد كفاءة الكسح على طراز الكسح المستخدم وتبريد هواء الكسح وآلية خروج العادم . . إلخ .

ولا تستعمل الكفاءة الحجمية في المحركات بالشحن الجبري ، لأن فعل الشحان يؤدي إلى زيادة الهواء المشحون عن حجم إزاحة المكبس في الحالة العيارية ، ويكون هواء الشحن عند ضغط يزيد عن الضغط الجوي .

تأثير أحوال التشغيل في كفاءة المحرك :

ترجع الزيادة في كفاءة محرك الديزل أيضاً إلى زيادة نسبة الانضغاط وذلك بتقليل حيز الخلوص وهو حجم الحيز بين الجدار الداخلي لرأس الأسطوانة والسطح العلوي لتاج الكباس عند نهاية شوطه الصاعد وبذلك تزيد نسبة الانضغاط ، أي النسبة بين إزاحة الكباس وحيز الخلوص .

وكلما زادت نسبة الانضغاط زادت نسبة التمدد ، وهي النسبة بين الحجم الكلي للغازات عند نهاية شوط التمدد وحجم الغازات المنضغطة في حيز الخلوص ، وبذلك يمكن تحويل كمية أكبر من طاقتها الحرارية إلى طاقة بيانية وميكانيكية ، وقد أثبتت البحوث أن زيادة نسبة الانضغاط تؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الغازات بعد تمددها في الأسطوانة .

ويتضح من ذلك أن زيادة الكفاءة عند ارتفاع نسبة الانضغاط هي نتيجة لزيادة تمدد الغازات في الأسطوانة، مما يؤدي إلى تحويل جزء أكبر من الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية .

وقد تتأثر نسبة الانضغاط المصممة للمحرك فتقل نتيجة لزيادة البلى في المحامل ، أو عدم إحكام حلقات الكباس ، أو زيادة الحشية بين الرأس وجسم الأسطوانة ، أو عدم إحكام مسامير رباطهما أو غيرها من الأسباب ، مثل تراكم الكربون الصلب في حيز غرفة الاحتراق .

أنواع الفقد الحراري في المحرك :

تتبدد أكثر من نصف الطاقة الحرارية للوقود في محرك الديزل ، ولا يستخدم إلا أقل من نصف القيمة الحرارية لطاقة الغازات المتمددة في الأسطوانة ، وتكون أسباب الفقد الحراري في المحرك هي :

١ ـ يتبدد جزء من الطاقة الحرارية في الأجزاء المعدنية المحيطة بالغازات مثل الأسطوانة ورأسها والكباس . . إلخ ، كما تفقد الحرارة بالإشعاع إلى الهواء المحيط بالمحرك في غرفة المكنات .

٢ ـ ينطرد جزء من الطاقة الحرارية مع غازات العادم الخارجة من المحرك ، والتي يراعى أن تحدد عند مدى معين حرصاً على سلامة الأجزاء المعدنية من تأثير حرارة العادم ، وقد أمكن استخدام جزء من تلك الحرارة في أغراض التسخين أو توليد المياه العذبة . . إلخ .

ويبين الجدول التالي نسبة توزيع الطاقة الحرارية للوقود في محرك ديزل معملي ، يدور بالحمل الكامل .

ويتضح من الجدول زيادة الحرارة المفقودة في مياه التبريد ، وفي غازات العادم على وجه الخصوص ، وهو ما يؤدي إلى كثير من الأبحاث لاستغلالها في أغراض تقطير مياه البحر لتوليد المياه العذبة ، أو غيرها من المجالات لاسترجاع الطاقة .

نسبة توزيع الطاقة الحرارية في محرك الديزل

نوع الطاقة	النسبة المئوية من القيمة الحرارية للوقود	كيلو جول لكل كيلو واط ساعة فرملي
طاقة فرملية	٣٣	١٤,٥٢٠
احتكاك	٩	٣,٩٦٠
حرارة ماء التبريد	٢٧	١١,٨٨٠
حرارة في غازات العادم	٢٨	١٢,٣٢٠
حرارة إشعاع	٣	١,٣٢٠
المجموع	**١٠٠**	**٤٤,٠٠٠ كيلو جول**

المراجع

١) محركات الديزل / مهندس : محمد ربيع الملط / الناشر : منشأة المعارف / الإسكندرية / الطبعة الثانية / ١٩٩٩م .

٢) مبادئ محركات الاحتراق الداخلي ، الجزء الأول / الدكتور : محمود مصطفى غنيم الأستاذ بكلية الهندسة ، جامعة عين شمس / ١٩٩٤م .

٣) محركات الاحتراق الداخلي / تأليف : أحمد زكي حلمي ـ دكتور : سلام محمد جعفر .

٤) أنظمة وقود الديزل / المهندس : أحمد ناصيف / الكتاب الثاني / دار الكتاب العربي / دمشق ـ سوريا .

٥) الجداول الفنية للمركبات الآلية / المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني / تأليف: مجموعة من المدرسين المهنيين والمهندسين / إشراف: دبلوم مهندس هـ . جير سلد.

٦) تكنولوجيا المركبات الآلية / المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني / تأليف : الأستاذ فريد ريك نيس ـ رودي كيرجد ـ رولف بيكر ـ يرنهارد فيللينبوجز ـ فيلهيم ولف .

٧) صيانة المركبات وتشخيص أعطالها / مهندس : سفيان توفيق / الناشر : دار الشرق للنشر والتوزيع / عمان ـ الأردن .

٨) المرجع العملي لصيانة وإصلاح المحرك / مهندس : عطية علي عطية .

المحتويات

الرقم	الموضوع	الصفحة
	الوحدة الأولى : أساسيات محركات الديزل	
١	مقدمة .	
٢	الدورة الرباعية لمحركات الديزل .	٦
٣	نسبة خلط الهواء إلى الوقود في محركات الديزل .	٨
٤	خطوات احتراق وقود الديزل داخل المحرك .	٩
٥	الدورة الثنائية لمحركات الديزل .	١٢
٦	مقارنة بين المحركات الرباعية والمحركات ثنائية الأشواط .	١٥
٧	تصنيف محركات الديزل .	١٦
٨	مجالات استخدام محركات الديزل .	٢١
٩	مميزات وعيوب محركات الديزل .	٢٢
١٠	مقارنة فنية بين محرك الديزل ومحرك البنزين .	٢٣
١١	مكونات وقود الديزل .	٢٦
١٢	رقم السيتان .	٣١
١٣	مراحل عملية الاحتراق في محركات الديزل .	٣٣
١٤	الطرق بمحركات الديزل .	٣٦
	الوحدة الثانية : غرف الاحتراق. شمعات التسخين	
١٥	غرف الاحتراق في محركات الديزل .	٤٠
١٦	تصنيف غرف الاحتراق .	٤١
١٧	طرق إثارة الهواء بداخل غرف الاحتراق .	٤٢
١٨	أنواع غرف الاحتراق لمحركات الديزل .	٤٣
١٩	شمعات التسخين .	٦٩
	الوحدة الثالثة : نظم المحركات	
٢٠	نظام دخول الهواء وخروج العادم .	٧٩

٢١	أنواع الكسح في المحركات الثنائية .	٨٠
٢٢	طرق الكسح .	٨٢
٢٣	الشاحن التربيني بغازات العادم .	٨٧
٢٤	نظام التبريد لمحركات الديزل : أ ـ نظام تبريد الهواء . ب ـ نظام تبريد الماء .	٩٠
٢٥	المشع (الرديـاتير) وأجزاؤه .	٩٣
٢٦	الأنواع المختلفة للمشع .	٩٥
٢٧	أجزاء مضخة المياه .	٩٨
٢٨	نظام التزييت (الاحتكاك) .	١٠٩
٢٩	خواص زيوت التزييت .	١١٠
٣٠	الإضافات المساعدة لزيوت التزييت .	١١١
٣١	أنواع زيوت التزييت .	١١٢
٣٢	مواصفات زيت التزييت .	١١٣
٣٣	طرق تزييت المحرك .	١١٤
٣٤	مضخات الزيت .	١١٧
٣٥	مرشح الزيت .	١٢٠
٣٦	مبين ضغط الزيت .	١٢٢
٣٧	أنظمة حقن الديزل .	١٢٦
٣٨	مضخة تغذية الوقود (التحضير) .	١٢٧
٣٩	مرشحات الوقود .	١٢٩
٤٠	مضخة الحقن الرئيسة .	١٣٢
٤١	الرشاشات (البخاخات) .	١٣٤
	الوحدة الرابعة : مصطلحات وقياس أداء محركات الديزل	
٤٢	جدول رموز الصيغ والوحدات .	١٤٢
٤٣	مقارنة بين محرك أوتو ومحرك ديزل .	١٤٤

٤٤	الحجم الشوطي (الإزاحة) .	١٤٩
٤٥	سعة المحرك .	١٥٠
٤٦	نسبة الانضغاط (حيز الاحتراق) .	١٥١
٤٧	النسبة الشوطية .	١٥٣
٤٨	زيادة نسبة الانضغاط .	١٥٤
٤٩	القدرة البيانية .	١٥٥
٥٠	القدرة الفرملية .	١٥٨
٥١	عزم الدوران .	١٦٠
٥٢	سرعة الكباس .	١٦٢
٥٣	الكفاءة الحرارية البيانية .	١٦٤
٥٤	الكفاءة الميكانيكية .	١٦٦
٥٥	الكفاءة الحجمية .	١٦٩
٥٦	تأثير الكفاءة الحجمية على قدرة المحرك .	١٦٩
٥٧	تأثير أحوال التشغيل في كفاءة المحرك .	١٧٠
٥٨	أنواع الفقد الحراري في المحرك .	١٧٠
٥٩	نسبة توزيع الطاقة الحرارية في محرك الديزل .	١٧١