محركات الاحتراق الداخلي 2015

دراسة موجزة عن المحركات و مكوناتها

محمد عبد الله الحسن العلي

محمد عبد الله الحسن العلي

التقديم

أعدّت هذه الدراسة كتجربة على سبيل التأليف في علم محركات الاحتراق الداخلي

إعداد محمد عبد الله الحسن العلي

- طالب سنة خامسة قسم هندسة المعدات و الآليات بكلية الهندسة التقنية

وأحب في هذه المناسبة أن أتوجه بالشكر لكل من أشرف على تدريسي في المرحلة الجامعية من دكاترة مدرسين و أستاذة مشرفين وغيرهم من أهل الخبرة و الرأي و أخص بالذكر

الدكتور محمد محمد
الدكتورة ميساء شاش
الدكتور نوفل الأحمد
الدكتورة هبة يوسف

الدكتور عارف علي
الدكتور حبيب محمود
الدكتور حسن علي
الدكتور نزار عبد الرحمن

الدكتور عدنان أحمد
الدكتور عدنان عمران
الدكتور موسى المحمد
الدكتورة ابتسام سنو

كلمة

بادئ ذي بدء يمكن القول أن هذا العمل هو آخر أعمالي الأكاديمية العلمية في صفوف المرحلة الجامعية ، و أعلم أن فيه من الثغرات ما هو من البداهة بمكان لدى أهل النقد و الخبرة و العلم . لكن أردت من خلال هذه الدراسة الموجزة هو التجربة الفعلية التي تطلق العنان عن مدى قدراتي المتناهية بالصغر حقيقة لا مجاملة في الترجمة و التنسيق ، و صقل المفردات الهندسية و إخراجها بأبهى حلة و أدق معلومة . كما أني أعتبرها خطوة جريئة في مضمار العلم العربي الحديث ، و نقلة نوعية في فن التأليف بحيث نواكب الدول المتقدمة في هذا المجال . و أرجو أن تكون دراستي هذه قد تمتعت بما أرجوه من دقة بالغة في اختيار الألوان ، و التنسيق الفاخر ، و الرسومات الواضحة ، و الصور عالية الجودة ، علاوة عن ذلك تزويد و تتويج الدراسة التي نحنا بصددها بالمعلومات الكافية الوافية .

دراسة موجزة عن المحركات و مكوناتها

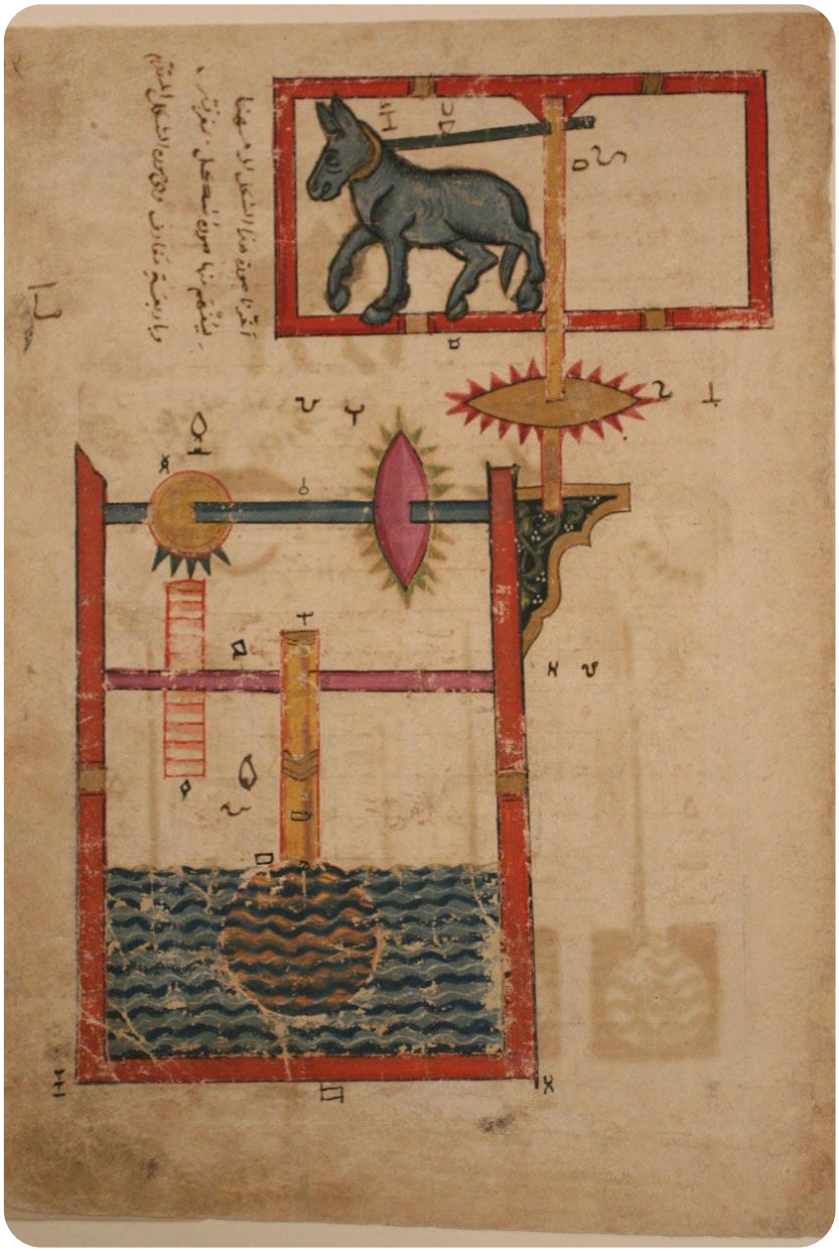
الفصل

1

المدخل إلى المحركات

نبذة عن مراحل تطور محرك الاحتراق الداخلي

- في سنة **1206** : سجل العالم العربي الكبير **بديع الزمان أبو العز ابن إسماعيل الرزاز الجزري** أكثر من ستين اختراعاً في كتابه " الجمع بين العلم و العمل النافع في صناعة الحيل " الذي يعد أروع و أهم مؤلف هندسي وصل إلينا من جميع الحضارات القديمة و الوسطى التي عرفها العالم حتى عصر النهضة الأوربية ، و لا ترجع هذه الأهميّة فقط لاشتمال الكتاب على أوصاف مهمّة للآلات الميكانيكية التي ابتكرها و وصفها الجزريّ ، بل ترجع أيضاً إلى اشتماله على طرائق صنعها ؛ فقد وُصفت هذه الطرق بتفاصيل وافية و إرشادات دقيقة أمكن معها صنعها في عصرنا بأيدي الفنيين .

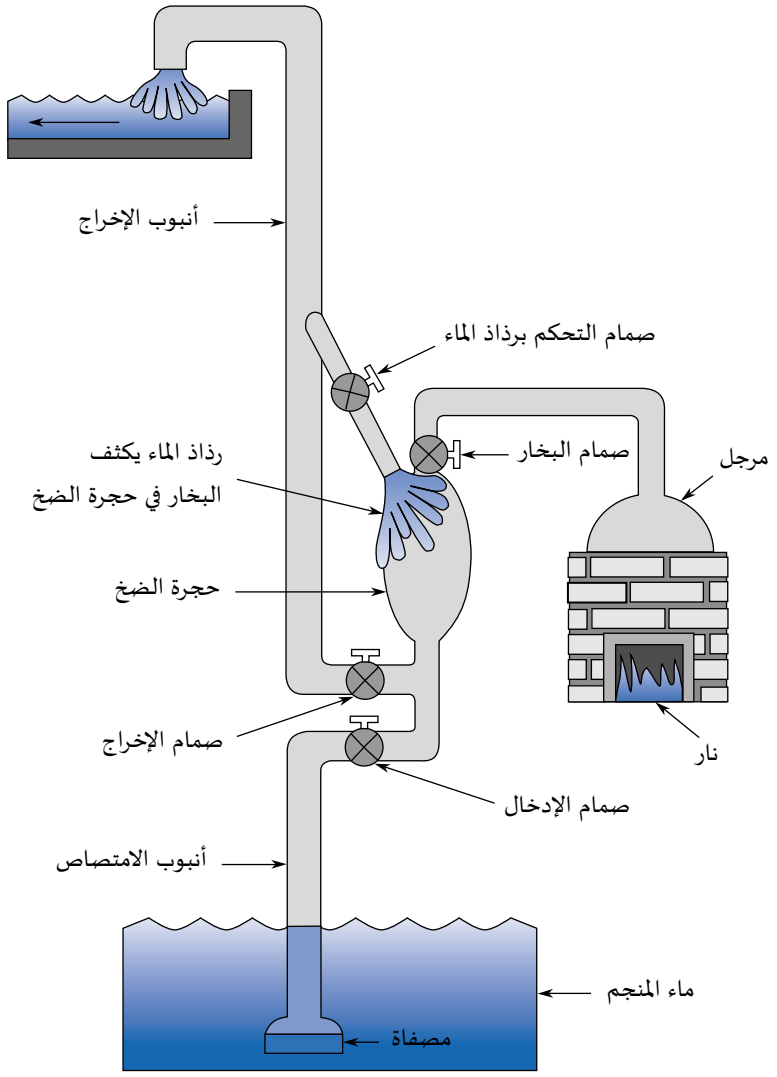


الشكل 1.1 : إحدى طرق الجزري الميكانيكية لرفع الماء .

و ممّا حفل به كتاب الجزري ؛ وصفه لخمس آلات لرفع المياه تعمل بقوة جريان الماء في مجراه الطبيعي ، و قد جعلها الجزريّ ذات تصميمات مختلفة لتناسب الارتفاعات المتباينة التي يلزم نقل الماء إليها ، و قد تركت هذه الآلات بصمة واضحة على تاريخ صناعة الآلات في

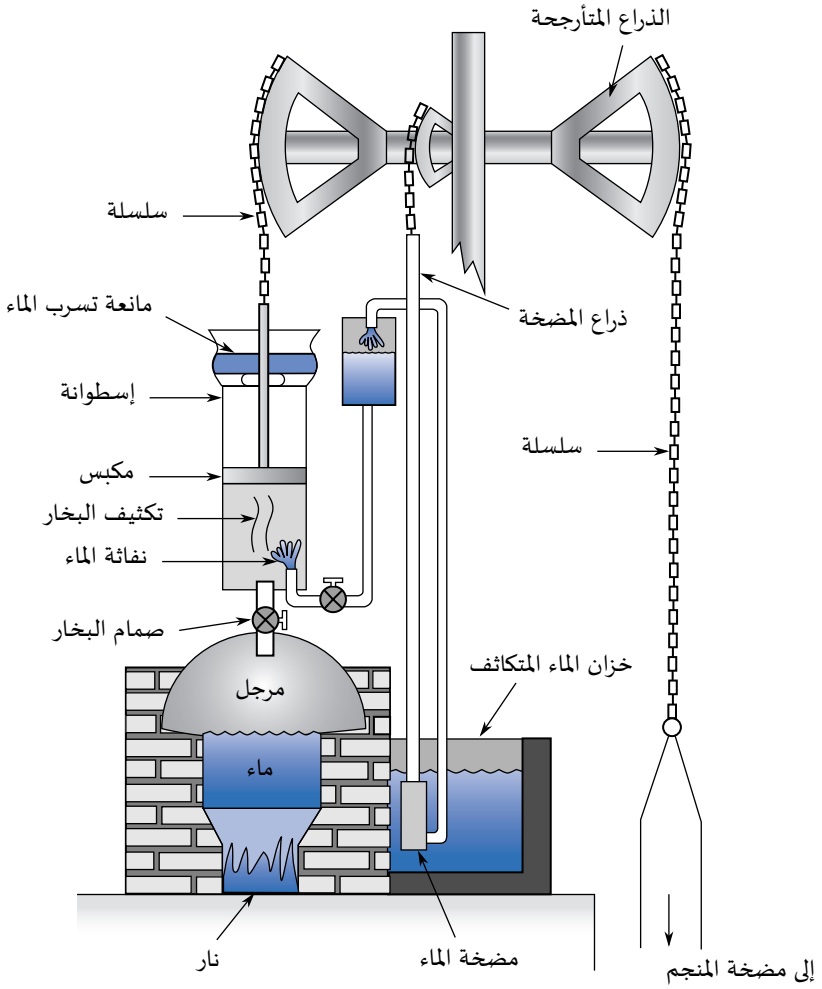
العالم . و الجدير بالذكر أن الجزري هو أول من اخترع " عمود المرفق" ثم قام بوصله مع ذراع التوصيل ليشكلا ما يُعرف بـــ " الآلية الساعدية المرفقية " التي تحول الحركة الدورانية المستمرة إلى حركة ترددية خطية و استخدم هذه التقنية في آخر تصاميمه بالنسبة لآلات رفع المياه . و كذلك وصف الجزري النموذج الأول للمضخة المائية ، و هذه الإنجازات الباهرة مهدت السبيل لابتكار المحركات البخارية و محركات الاحتراق الداخلي و التحكم الآلي و التي لا تزال أثارها ظاهرة إلى الآن .

- في سنة **1509** : وضع الإيطالي **ليوناردو دافينشي** تصميم لعربة ذاتية الحركة على ثلاث عجلات ، و معززة بنظام توجيه و ميكانيزمات مختلفة بين العجلتين الخلفيتين ، لكن هذه التصاميم بقيت حبراً على ورق .
- في سنة **1680** : صمّم الهولندي **كريستيان هايجنز** محرك احتراق داخلي و استخدم البارود كوقود له ، لكن نظراً لظروف الصناعة البدائية المحدودة آنذاك حال دون تنفيذه .
- في سنة **1698** : مُنح الإنكليزي **توماس سافيري** براءة اختراع عن ابتكاره لمحرك يقوم بضخ الماء من مناجم الفحم .

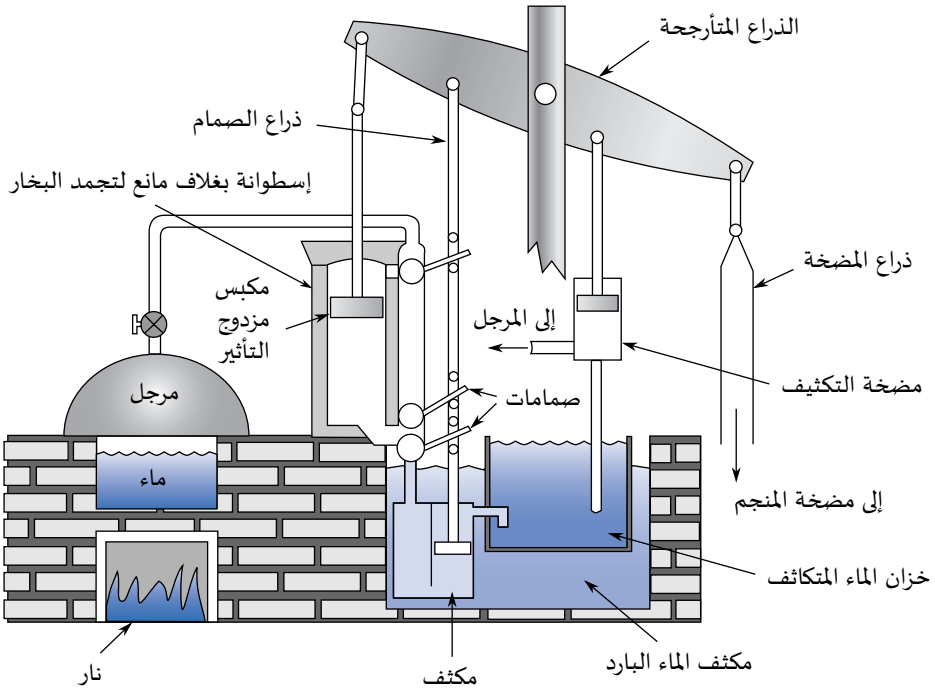


الشكل 2.1 : محرك سافيري البخاري .

- في سنة **1712** : حسّن الإنكليزي **توماس نيوكومن** من تصميم محرك سافيري مستخدماً إسطوانة بمكبس بدلاً من حجرة الضخ ، و كان مردوده أفضل إذ يمكن له أن يضخ الماء من أعماق كبيرة .
- في سنة **1768** : ابتكر الاسكتلندي **جيمس واط** أول محرك بخاري يتضمن التكثيف المنفصل ، و قد مكّن هذا الاختراع من تحريك السيارات آلياً . فكان الإنكليزي جورج ستيفنسون أول من قام بتركيب الآلة البخارية في عربة نقل ، و تم تشغيل أول خط حديدي بالفعل في إنكلترا سنة 1825 .

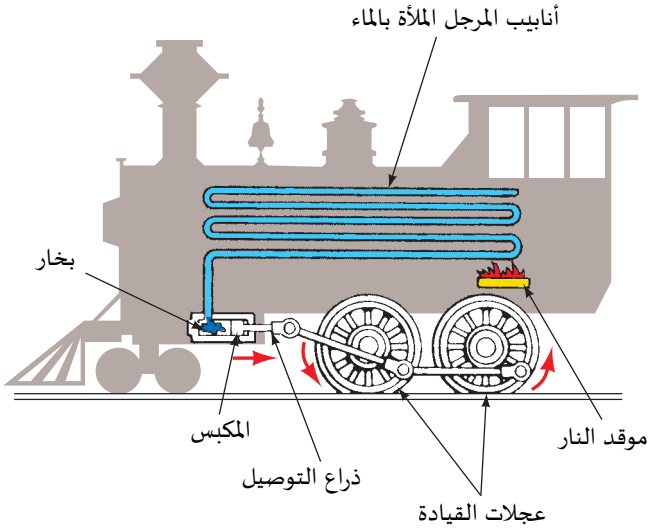


الشكل 3.1 : محرك نيوكومن البخاري .



الشكل 4.1 : محرك واط البخاري .

- في سنة **1769** : اخترع الفرنسي **نيكولاس جوزيف كوينو** أول عربة ذاتية الحركة بمحرك بخاري ، و كانت عبارة عن عربة جر بثلاث عجلات تصل سرعتها بحدود $(5\ km/h)$ ، و تم استخدامها في جر مدفعية الجيش الفرنسي .

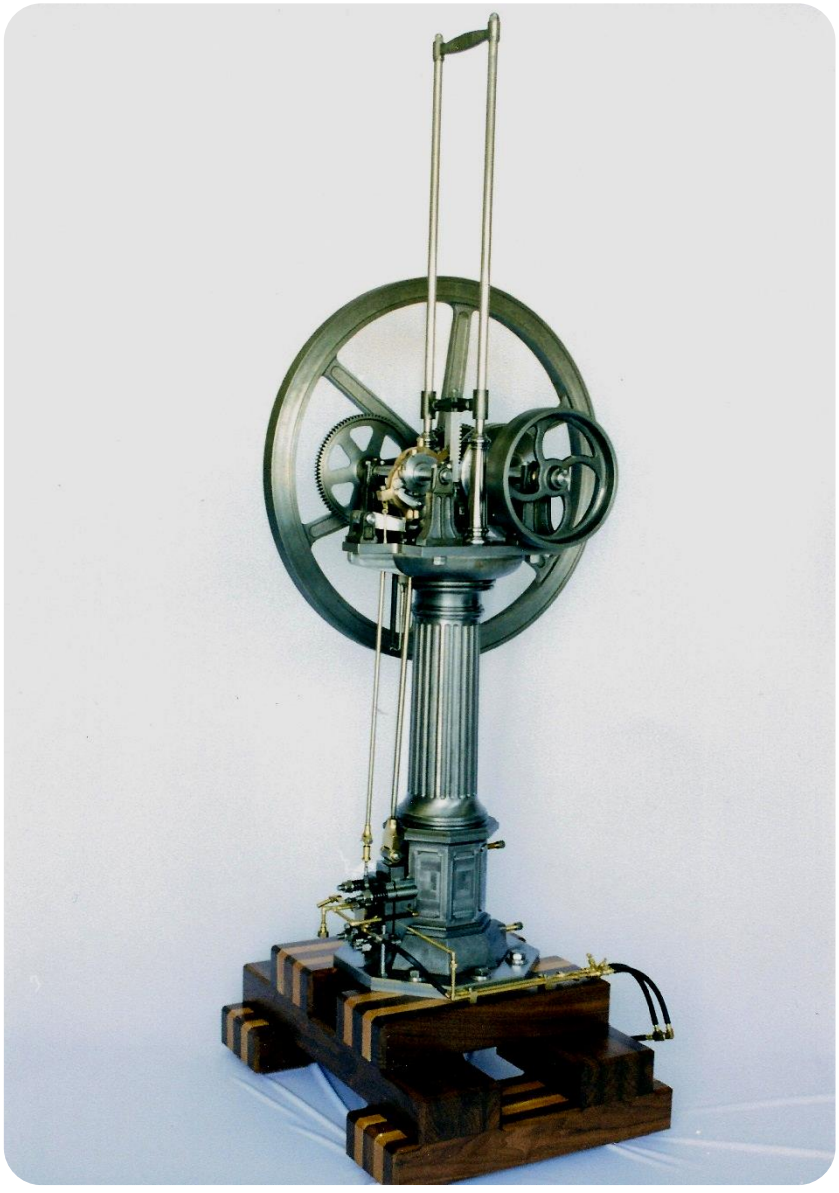


الشكل 5.1 : قاطرة تعمل على البخار .

- في سنة **1780** : صنع الإيطالي **أليساندرو فولتا** مسدساً كهربائياً على شكل لُعبة ، و استخدم الشرارة الكهربية لإحداث انفجار خليط الهواء و الهيدروجين ، و نتيجة لهذا الانفجار تنطلق سدادة الفلين من نهاية فوهة المسدس . فأعطى بذلك مبدأ أو فكرة عمل محرك الاحتراف الداخلي .
- في سنة **1791** : سجل الإنكليزي **جون بارير** براءة اختراع عن ابتكاره لعمل أول عنفة غازية ناجحة ، و تضمّن تصميمه على عنفة و ضاغط ترددي و حجرة احتراق و سلسلة قائدة لنقل القدرة .
- في سنة **1794** : صنع الإنكليزي **روبرت ستريت** محرك ليس فيه عملية انضغاط ، لتظل الطريقة الأساسية لعمله هي السائدة لنحو قرن من الزمان .
- في سنة **1807** : اخترع السويسري **فرانسوا إيزاك دو ريفا** محرك احتراق داخلي و استخدم خليط الهيدروجين و الأكسجين كوقود له ، ثمّ صمّم سيارة تعمل بهذا المحرك ، حيث تعتبر سيارته أول سيّارة تعمل بمحرك الاحتراق الداخلي إلا أنّ تصميمه كان فاشلاً و لم يزدهر .
- في سنة **1823** : مُنح الإنكليزي **صمويل براون** براءة اختراع عن محرك الاحتراق الداخلي الأول الذي يتم تنفيذه على المستوى الصناعي ، و كان هذا المحرك بدون عملية انضغاط ، و كان قائماً على ما أسماه هاردنبرغ "دورة ليوناردو" .
- في سنة **1824** : أثبت الفرنسي **سادي كارنو** نظريته في الترموديناميك للمحركات الحرارية المثالية ، و قد أثبتت هذه النظرية علمياً الحاجة لعملية الانضغاط من أجل زيادة الفرق بين درجات حرارة تشغيل المحرك العظمى و الصغرى .
- في سنة **1826** : حصل الأمريكي **صمويل موري** على براءة اختراع عن محرك يعمل بالغاز أو بالبخار و بدون انضغاط .
- في سنة **1833** : حصل الإنكليزي **ليموبل ويلمان رايت** على براءة اختراع عن صناعته لمحرك غازي مزدوج التأثير ، كما أنه أول من صنع القميص المائي للإسطوانة .
- في سنة **1838** : حصل الإنكليزي **ويليام هول بارنيت** على براءة اختراع عن وصفه لعملية انفجار الغاز القابل للاشتعال عن طريق عملية الانضغاط ، و كانت هذه هي أول الاقتراحات بإحداث عملية انضغاط داخل الإسطوانة .
- في سنة **1854** : سجّل الإيطاليان **يوجينيو بارسانتي** و **فيليس ماتوكسي** براءة اختراع لأول المحركات الفعّالة التي تعمل بنظام الاحتراق الداخلي ، و لكن لم يدخل هذا المحرك في حيز الإنتاج ، كما أن براءة الاختراع فُقدت .
- في سنة **1856** : نفّذ الإيطالي **بيترو بينيني** نموذجاً صناعياً لمحرك بلغت قدرته $(5\ HP)$ ، و في السنوات اللاحقة قام بتطوير محركات أكثر قوة بمكبس واحد أو اثنين ، و استخدمت محركاته في مصادر القدرة الثابتة و حلت محل المحركات البخارية .
- في سنة **1860** : أخترع البلجيكي **جين جوزيف إتين لينوير** أول محرك احتراق داخلي و استخدم غاز المصابيح لإدارته ، و يشبه في مظهره

المحرك البخاري الأفقي مزدوج التأثير مع وجود الإسطوانات و المكابس و أذرع التوصيل و الحذافة ، إلا أنه يختلف عنه بإحلال الغاز عوضاً عن البخار ، و قد اقتصر هذا المحرك على الأنواع الثابتة المربوطة بشبكة الغاز كما أنه كان يعمل بطريقة غير اقتصادية و بالرغم من ذلك فإن لينوير وضع باختراعه هذا حجر الأساس لمحركات الاحتراق الداخلي الحالية .

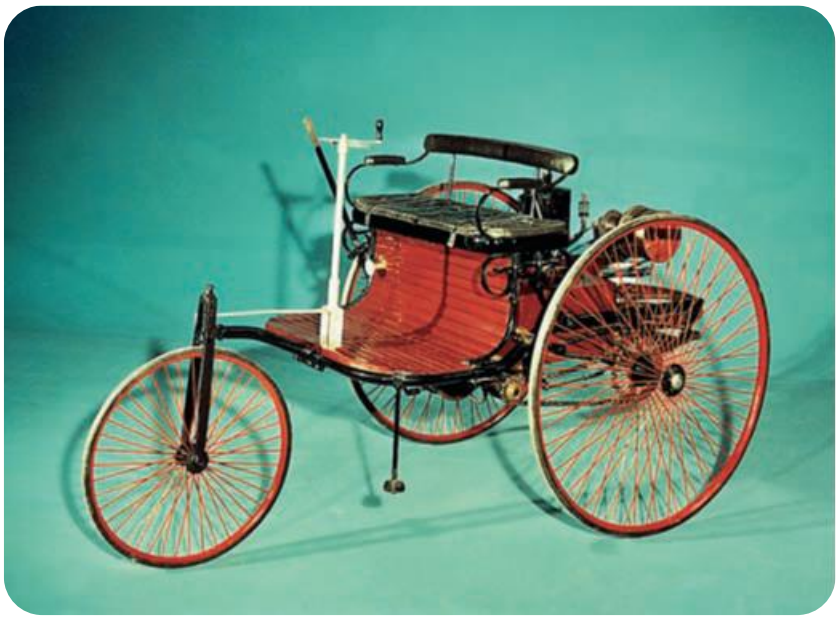
- في سنة **1861** : سجل الفرنسي **ألفونس باو دو روشا** براءة اختراع عن تصميمه لمحرك بأربع إسطوانات .
- في سنة **1862** : قام الألماني **نيكولاس أوغست أوتو** بتصميم محرك ذي مكبس حر يتحرك في أشواط بشكل غير مباشر بدون حدوث عملية انضغاط ، و قد تميز هذا المحرك بفعاليته العالية مما أكسبه مساندة منطقة لانجن في ألمانيا ثم بعد ذلك أغلب الأسواق الألمانية ، و التي كانت في ذلك الوقت للمحركات الصغيرة الثابتة التي يتم تشغيلها بغاز المصابيح .



الشكل 6.1 : محرك أوتو .

- في سنة **1865** : بدأ **بيير هاغون** بإنتاج محرك مشابه لمحرك لينوير ، لكنه أفضل اقتصادياً و أكثر موثوقية من ناحية الاشتعال .
- في سنة **1870** : قام النمساوي **سيغفريد ماركوس** بوضع أول محرك متحرك يعمل بالبنزين على عربة يد .
- في سنة **1872** : اخترع الأمريكي **جورج برايتون** محرك ثنائي الأشواط يعمل بالكيروسين ولكن المحرك كان ضخما و بطيء الدوران و لم ينجح تسويقياً .

- في سنة **1876** : عمل الألماني نيكولاس أوغست أوتو بالتعاون مع غوتليب دايملر و فيلهلم مايباخ بتطوير أول محرك عملي بأربعة أشواط (قائم على دورة أوتو) ، ولكن المحاكم الألمانية مع ذلك لم تعتبر براءة الاختراع هذه شاملة لكل المحركات التي يحدث فيها انضغاط داخل الإسطوانة أو حتى ذات الأربعة أشواط ، و بعد هذا القرار أصبح الانضغاط داخل الإسطوانة منتشراً عالمياً .
- في سنة **1876** : تمكن الأمريكي صمويل موري من صنع النموذج الأولي لمحرك احتراق داخلي بإحداث عملية انضغاط داخل الإسطوانة و تعددية الأشواط ، الذي فتح آفاقاً جديدة لصناعة محركات الاحتراق الداخلي من خارج ألمانيا و القارة الأوروبية ، فيما بعد انضم جين جوزيف المخترع البلجيكي إلى شركة دوزونبيرغ الأمريكية لصناعة السيارات .
- في سنة **1878** : صمّم الاسكتلندي دوغالد كلرك أول محرك ثنائي الأشواط ناجح بانضغاط داخل الإسطوانة .
- في سنة **1879** : عمل كارل بنز بشكل مستقل و مُنح براءة اختراع عن ابتكاره لمحرك الاحتراق الداخلي ، و كان عبارة عن محرك غازي ثنائي الأشواط مستند على تصميم محرك أوتو رباعي الأشواط ، و فيما بعد قام بنز بتصميم و إنشاء محرك رباعي الأشواط و استخدمه أولاً في سياراته ، ثم دأب على تطوير ابتكاره طيل فترة سنة 1885 حتى تمكن أخير في سنة 1886 من تسجيل براءة اختراع و أصبحت سيارته أول السيارات التي تدخل حيز الإنتاج في ألمانيا .



الشكل 7.1 : سيارة بنز ذات المحرك رباعي الأشواط .

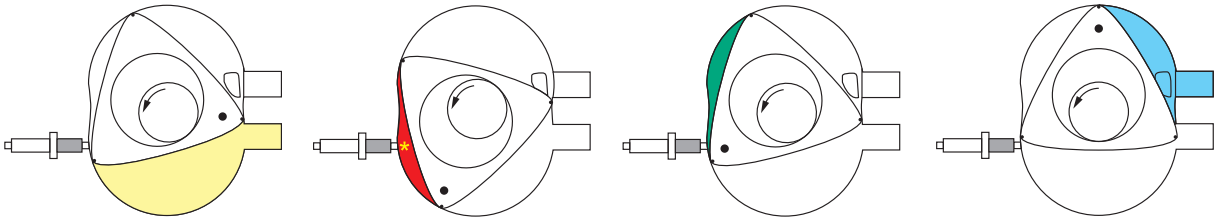
- في سنة **1882** : بدأ غوتليب دايملر و فيلهلم مايباخ و اللذان كانا يعملان مع أوتو في صناعة أول محرك صغير يعمل بالبنزين .
- في سنة **1882** : اخترع جيمس أتكينسون محركه و الذي عرف فيما بعد باسمه ، و كان محرك أتكينسون به مرحلة واحدة يعطي فيها القدرة لكل دورة ، بالإضافة إلى الاختلاف في الحجوم عند الإدخال و التمدد ، مما جعل محركه أكثر فاعلية من محرك أوتو .
- في سنة **1884** : أنشأ البريطاني إدوارد بتلر أول محرك احتراق داخلي يعمل بالبنزين ، و اخترع له شمعة الاحتراق و ملف اشتعال و مكربن (مفحّم) ، و كان الاستعمال الأول لكلمة " بنزين " .
- في سنة **1885** : سجل غوتليب دايملر براءة اختراع عن ابتكاره لمحرك يستخدم التشحين الفعّال .
- في سنة **1889** : أنشأ غوتليب دايملر محرك رباعي الأشواط محسّن ، حيث صنع المحرك على شكل الحرف اللاتيني (V) بإسطوانتين و استخدم فيه صمّامات على شكل " الفطر " .
- في سنة **1890** : أنشأ فيلهلم مايباخ محرك بأربع إسطوانات ، ثم أنتج محركاً بأربعة أشواط .
- في سنة **1891** : أنشأ الإنكليزي هربرت أكروبد ستيوارت محرك يعمل بالنفط ، و قد أعطى حقوق الاختراع لشركة هورنسبي في إنكلترا لتصنيعه ، و قاموا هناك ببناء أول المحركات التي تبدأ تشغيلها على درجة الحرارة الباردة و التي بها عمليات الانضغاط و الإشعال ، و في سنة 1892 قاموا بتركيب أوائل المحركات في إحدى محطات مضخات المياه . و في نفس السنة تم إحداث محرك تجريبي يعمل على ضغط أعلى بحيث يكون الإشعال فيها مستمراً بشكل ذاتي من خلال الانضغاط فقط .

- في سنة **1892** : طوّر الألماني رودولف ديزل محركه الحراري القائم على نظرية كارنو .
- في سنة **1893** : حصل رودولف ديزل على براءة اختراع عن ابتكاره لمحرك ذي الاشتعال بالانضغاط ، و الذي عُرف فيما بعد باسمه ، و أصبحت جميع المحركات التي تعمل بالانضغاط يطلق عليها اسم " محركات الديزل " .

الشكل 8.1 : محرك ديزل .

- في سنة **1896** : اخترع كارل بنز محرك بوكسر ، و الذي عُرف أيضاً بالمحرك المتباين أفقياً أو المحرك المستوي ، حيث تصل فيه المكابس المتناظرة إلى مركز المحرك في نفس الوقت .
- في سنة **1900** : قام رودولف ديزل بعرض محركه في المعرض العالمي سنة 1900 و استخدام زيت الفول السوداني كوقود له .
- في سنة **1900** : قام فيلهلم مايباخ بتصميم محرك تم إنشاؤه في شركة دايملر للمحركات ، متبعاً مواصفات إميل جيلينيك ، و اشترط دايملر تسمية المحرك على اسم ابنته " مرسيدس " ، و في سنة 1902 بدأ إنتاج السيارات التي تعمل بهذا المحرك لدى شركة دايملر للمحركات .
- في سنة **1903** : بدأ قسطانطين تشياكوفسكي بسلسلة من الدراسات النظرية و التي مهدت العمل صوب الوقود السائل للصواريخ .
- في سنة **1903** : أنشأ الفرنسي أجديس ألنغ عنفة غازية استخدم فيها الضاغط النابذي .

- في سنة **1905** : سجل **ألفريد بوتشي** براءة اختراع عن ابتكاره لمحرك استخدم فيه التشحين العنفي .
- في سنة **1906** : أتم الفريق الفرنسي **أرمينغواد** و **ليمال** من إنشاء المحرك العنفي الغازي ، و استخدموا في تصميم هذا المحرك ثلاثة ضواغط مقابل عنفة واحدة ، علماً أن العنفة لم تكن على شكل مروحة بريش و إنما كانت على هيئة عجلة ، و كان المردود الحراري منخفضاً بالرغم من نسبة الانضغاط الكبيرة إذ وصل إلى 3 % ممّا أدى إلى اندثاره .
- في سنة **1908** : بدأ النيوزلندي **إيرنست غودوارد** مشروعاً تجارياً بإنتاج دراجات نارية في مدينة إنفركارجيل النيوزلندية ، حيث قام باستيراد دراجات و ركّب عليها اختراعه الخاص و هو عبارة عن جهاز لترشيد استهلاك البنزين ، و قد عملت هذه الأجهزة بنجاح في السيارات كما هو الحال في الدراجات النارية .
- في سنة **1908** : بدأ **هانز هولزوارث** بالبحث الشامل عن الدورة المتفجّرة للعنفة الغازية ، و كانت أبحاثه مستندة على دورة أوتو ، و في تصميمه يتم حرق الوقود تحت حجم ثابت ، و بحلول سنة 1927 أنتهى من العمل و حقق مردوداً حرارياً بنسبة 13 % .
- في سنة **1908** : سجل **رينيه لورين** براءة اختراع عن تصميه لمحرك نفّاث .
- في سنة **1916** : اقترح **أوغست راشو** ضاغطاً يعمل بالاستفادة من طاقة العادم و استخدمه لتحسين أداء محرك السيارة و خصوصاً في الأماكن المرتفعة عن مستوى سطح البحر ، و تعتبر فكرته هذه مقدمة للتشحين العنفي .
- في سنة **1921** : سجل **ماكسيم غيوم** براءة اختراع عن ابتكاره لمحرك عنفي غازي محوري ، حيث استخدم ضاغط و عنفة متعددي المراحل بالإضافة إلى غرفة احتراق واحدة كبيرة .
- في سنة **1925** : قدم السويدي **جوناس هسلمان** محركاً عرف فيما بعد باسمه ، حيث أستخدم لأول مرة فكرة الحقن المباشر للبنزين في محرك ذي الاشتعال بالشرارة .
- في سنة **1926** : أطلق **روبرت غودارد** أول صاروخ يعمل بالوقود السائل .
- في سنة **1927** : نشر **أوريل ستودولا** عنفاته البخارية و الغازية ، فوضع بذلك أسس الدفع النفاث في الولايات المتحدة الأمريكية .
- في سنة **1929** : نشر **فرانك ويتل** أطروحته حول المحركات النفاثة .
- في سنة **1930** : سجل **شميت** براءة اختراع عن صناعته لمحرك نفاث نبضي في ألمانيا .
- في سنة **1935** : قدم **هانز فون أوهين** مخطط طائرة بمحرك عنفي نفاث ، ثم أقنع **أرنست هنكل** لتطوير نموذج العمل سوية ، و اختبرا بنجاح أول محرك عنفي نفاث في العالم .
- في سنة **1936** : قام الفرنسي **رينيه ليدوك** بإعادة تأهيل تصميم رينيه لورين ، فأطلق بذلك و بنجاح أول محرك نفاث في العالم يعمل بوقود التشغيل السائل .
- في سنة **1937** : قام **فرانك ويتل** بأول تجربة ناجحة لمحرك عنفي غازي ذي دفع نفاث .
- في سنة **1939** : صنع **هانز فون أوهين** طائرة بمحرك عنفي نفاث .
- في سنة **1941** : أصبحت الطائرة البريطانية غلوستر ($E.28/29$) أول طائرة تعمل بمحرك عنفي نفاث ($W.1$) في العالم ، و كانت قائمة على تصميم **فرانك ويتل** و آخرون .
- في سنة **1946** : قام **سام بايلن** بتطوير محركه ذي الثلاث دورات بالمكابس الدوارة و الذي عرف فيما بعد باسمه ، فكان مثاله معقداً نوعاً ما لكنه مهد السبيل لظهور محرك فانكل .
- في سنة **1954** : تمكن الألماني **فيليكس فانكل** من صنع محرك الاحتراق الداخلي ذي المكابس الدوّارة ، و الذي عرف فيما بعد باسمه .



الشكل 9.1 : دورة محرك فانكل .

المقدمة

المحركات :

هي تلك الآلات التي تقوم بتحويل مختلف أشـكال الطاقة إلى قدرة ميكانيكية (مثل المحركات الحرارية ، و المحركات الكهربائية ، و المحركات الهوائية ، و المحركات المائية ، و ...) .

محركات الاحتراق الداخلي :

هي محركات حرارية تحول الطاقة الكيميائية المختزنة في الوقود إلى طاقة ميكانيكية .

أنواع المحركات :

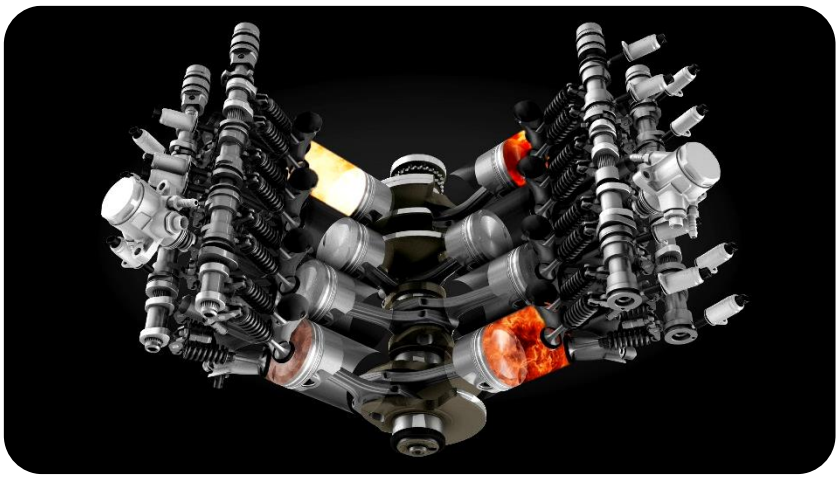
1. **محركات الاحتراق الخارجي :**
   المحركات البخارية المكبسية ، و العنفات البخارية .
2. **محركات الاحتراق الداخلي :**
   محركات الاحتراق الداخلي المكبسية ، و العنفات الغازية ، و المحركات الصاروخية (النفاثة) .

مبدأ عمل الآلات البخارية :

يقوم الماء بدور الجسـم الوسـيط في عملية تحويل الطاقة الحرارية إلى قدرة ميكانيكية حيث يتم حرق الوقود في المرجل ثم يأخذ البخار المتولد في المرجل إلى محمص ثم يدفع عبر أقنية خاصـة إلى المحرك أو العنفة البخارية حيث يتمدد هذا البخار في أسـطوانة المحرك أو بين شـفرات العنفة ، فيتحول قسم من الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود إلى طاقة أو عمل ميكانيكي .

مبدأ عمل محركات الاحتراق الداخلي :

يتم احتراق خليط الوقود و الهواء مباشـرة في غرفة الاحتراق داخل أسـطوانة المحرك ، فتتمدد غازات الاحتراق دافعة المكبس و مجبرة بذلك عمود المرفق على الدوران (فيتم إنتاج الطاقة الميكانيكية) .



الشكل 10.1 : عمل محرك الاحتراق الداخلي .

مبدأ عمل العنفات الغازية :

يتم احتراق خليط الوقود و الهواء في غرفة احتراق خاصة ، حيث يتم دفع الهواء بواسطة ضاغط و الوقود بواسطة مضخة إلى غرفة الاحتراق ، ثم توجه غازات الاحتراق عبر أقنية خاصـة إلى العنفة ، فتتمدد الغازات بين شـفرات العنفة مجبرة بذلك العنفة على الدوران (فيتم إنتاج الطاقة الميكانيكية) .

مبدأ عمل المحركات الصاروخية :

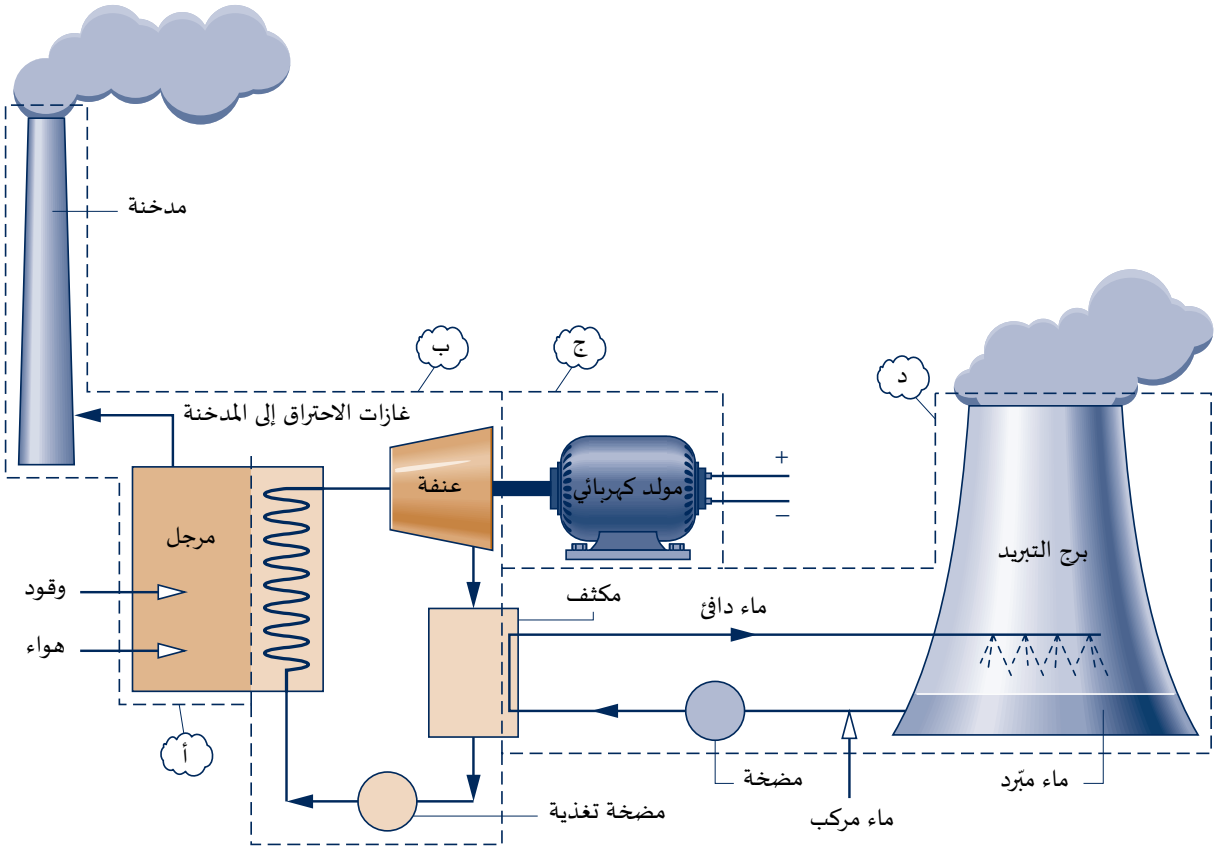
يتم احتراق خليط الوقود و المادة المؤكسدة في غرفة احتراق خاصة ، حيث يتم ضخ كلاً من الوقود و المادة المؤكسدة من خزانين خاصين إلى غرف الاحتراق ، فتتمدد غازات الاحتراق في أنبوب النفث و تنطلق بسرعة عالية جداً إلى الوسط الخارجي مسببة بذلك قوة الدفع اللازمة .

مزايا المحركات البخارية عن محركات الاحتراق الداخلي :

1. أكثر أماناً إضافة إلى الاستفادة من الحرارة الكامنة في البخار المستنزف لأغراض معينة كالتدفئة .
2. الوقود المستخدم في محركات الاحتراق الداخلي يجب أن يتمتع بمواصفات خاصة لا وجود لها بالنسبة للوقود المستخدم في المنشآت البخارية .

مزايا محركات الاحتراق الداخلي عن المحركات البخارية :

1. عملية تحويل الطاقة الحرارية إلى قدرة ميكانيكية تتم بصورة كاملة داخل المحرك و بالتالي لا ضرورة لوجود مسخنات و مكثفات فتكون المنشأة أقل تعقيداً .
2. عملية احتراق الوقود تتم داخل أسطوانة المحرك و بالتالي الاستفادة من غازات الاحتراق كوسيط لتوسيع الحدود الحرارية للدارة ممّا يرفع من الاقتصادية .



الشكل 11.1 : مكونات محطة كهربائية بخارية بسيطة .

أسباب الانتشار الكبير لمحركات الاحتراق الداخلي :

1. الاقتصادية العالية .
2. الأبعاد المحدودة .
3. رخص الثمن .
4. بساطة التصميم .

مصطلحات و مختصرات

النقطة الميتة العليا (ن م ع) :

هي الوضعية النهائية العلوية للمكبس .

النقطة الميتة السفلى (ن م س) :

هي الوضعية النهائية السفلية للمكبس .

الشوط :

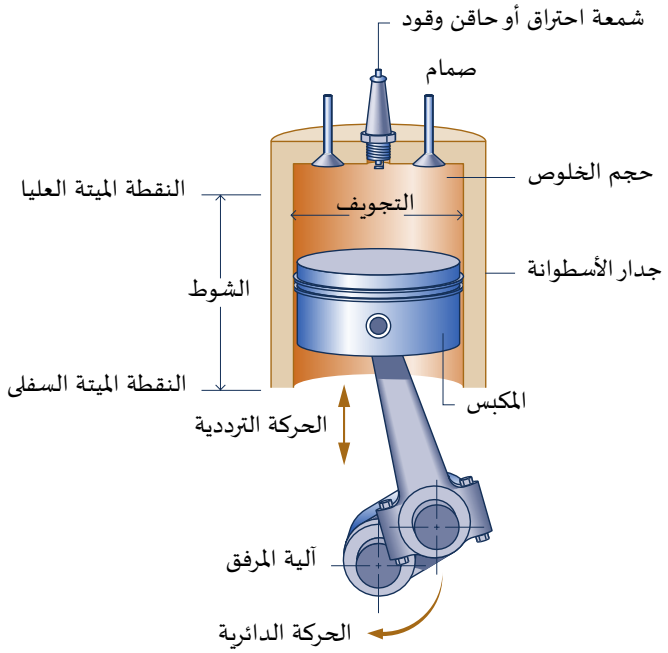
هو المسافة التي يقطعها المكبس بين (ن م س) و (ن م ع) .

حجم التكنيس (الحجم العامل للأسطوانة) :

هو الحجم الذي يمسحه المكبس من (ن م س) إلى (ن م ع) .

حجم الخلوص (حجم غرفة الاحتراق) :

هو الفراغ الكائن بين سطح المكبس عندما يكون في (ن م ع) و السطح السفلي لغطاء الأسطوانات و جدران الأسطوانة .



الشكل 12.1 : الآلية الساعدية المرفقية .

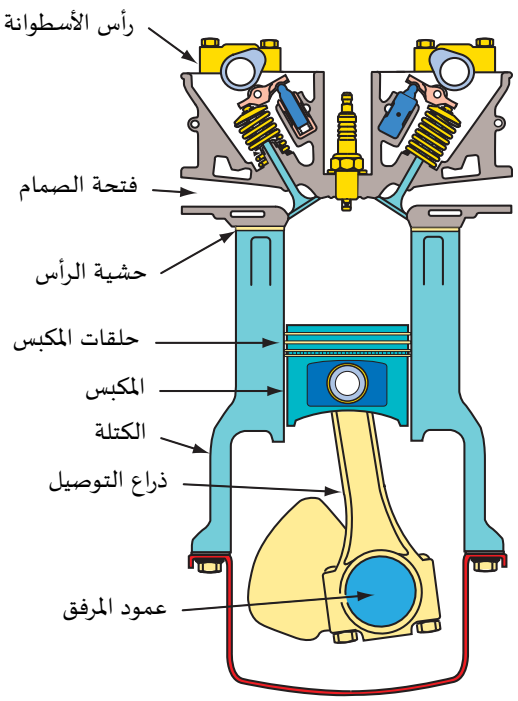
نسبة الانضغاط :

هي نسبة الحجم الإجمالي إلى حجم غرفة الاحتراق ، و هي تدل على عدد المرات التي تصغر بها الشحنة عند انتقال المكبس من (ن م س) إلى (ن م ع) .

$$\varepsilon = \frac{V}{V_0} = \frac{V_0 + V_h}{V_0} = 1 + \frac{V_h}{V_0}$$

حيث :

- ε = نسبة الانضغاط .
- V = الحجم الإجمالي للأسطوانة .
- V_0 = حجم غرفة الاحتراق .
- V_h = حجم الشوط (حجم الإزاحة) .



الشكل 1.13 : أجزاء المحرك .

تصنيف المحركات

يمكن أن تصنّف محرّكات الاحتراق الداخلي بعدد من الطرق المختلفة :

1. **عدد الأشواط المتممة للدارة :**
   - أ. محركات رباعية الأشواط .
   - ب. محركات ثنائية الأشواط .

2. **نوع الوقود المستخدم :**
   - أ. محركات ذات وقود خفيف كالبنزين .
   - ب. محركات ذات وقود ثقيل كالديزل .
   - ج. محركات ذات وقود غازي كالغاز الطبيعي .
   - د. محركات ذات وقود مزدوج كالغازي و السائل .

3. **كيفية تشكيل الخليط :**
   - أ. محركات ذات تشكيل خليط خارجي : مثل محركات البنزين .
   - ب. محركات ذات تشكيل خليط داخلي : مثل محركات الديزل .

4. **طريقة إشعال الخليط المعد للاحتراق :**
   - أ. محركات ذات الإشعال بالشرارة : مثل محركات البنزين .
   - ب. محركات ذات الإشعال بالضغط : مثل محركات الديزل .

5. **طبيعة عملية الاحتراق :**
   - أ. محركات يتم فيها الاحتراق تحت حجم ثابت : مثل محركات البنزين .

ب. محركات يتم فيها الاحتراق تحت ضغط ثابت : مثل محركات الديزل .

ج. محركات يتم فيها الاحتراق بشكل مزدوج أي تحت حجم و ضغط ثابتين للحصول على ضغوط عالية : مثل محركات الديزل .

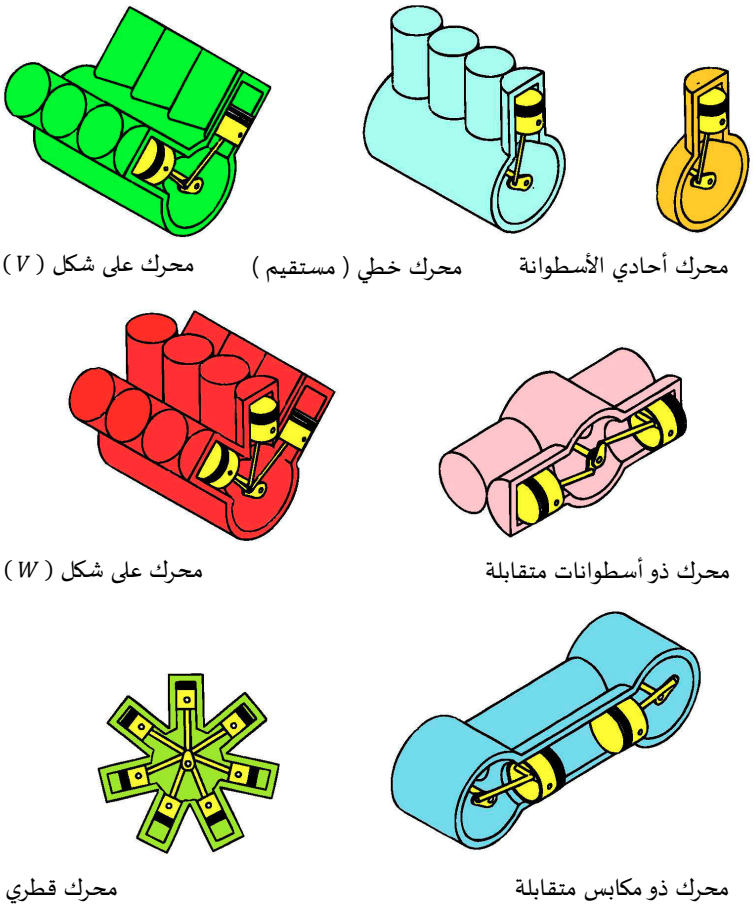
6. **تصميم المحرك :**

أ. **حسب توضع الأسطوانات :**

ترتّب الأسطوانات في المحرك بصور أفقية ، أو عمودية ، أو متقابلة ، أو على أشكال (V) أو (W) أو (X) .

ب. **حسب عدد المكابس في الأسطوانة :**

- محركات أحادية المكبس : يكون فيها مكبس واحد و غرفة احتراق واحدة .
- محركات ثنائية التأثير : يكون فيها مكبس واحد و غرفتي احترق .
- محركات ذات مكابس متقابلة : يكون فيها مكبسين متقابلين و غرفة احتراق واحدة .
- محركات ذات مكابس دوارة : أو ما يعرف بمحرك فانكل .



الشكل 14.1 : نماذج المحرك .

7. **طبيعة الشحنة الداخلة للأسطوانة :**

أ. محركات غير مشحنة .

ب. محركات مشحنة .

8. **الجسم المستخدم في تبريد المحرك :**

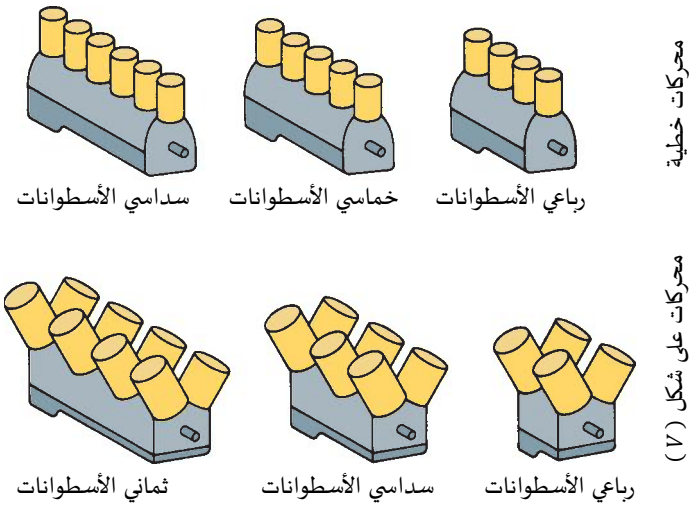
أ. محركات مبردة بالهواء .

ب. محركات مبردة بالماء .

9. **سرعة المكبس ضمن الأسطوانة :**

أ. محركات بطيئة : لا تتجاوز فيها سرعة المكبس عن ($6{,}5\ m/s$) .

ب. محركات سريعة : تتجاوز فيها سرعة المكبس عن ($6{,}5\ m/s$) .



الشكل 15.1 : ترتيب الإسطوانات .

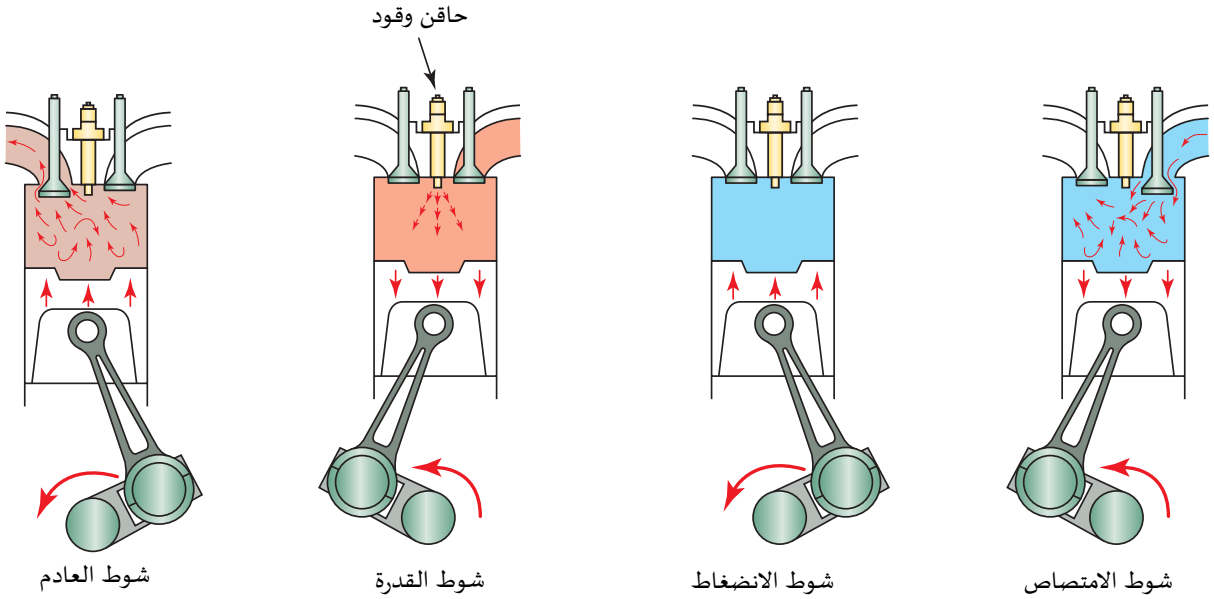
10. **مجالات الاستخدام :**

أ. محركات ثابتة : مثل المحركات المستخدمة في محطات الضخ .

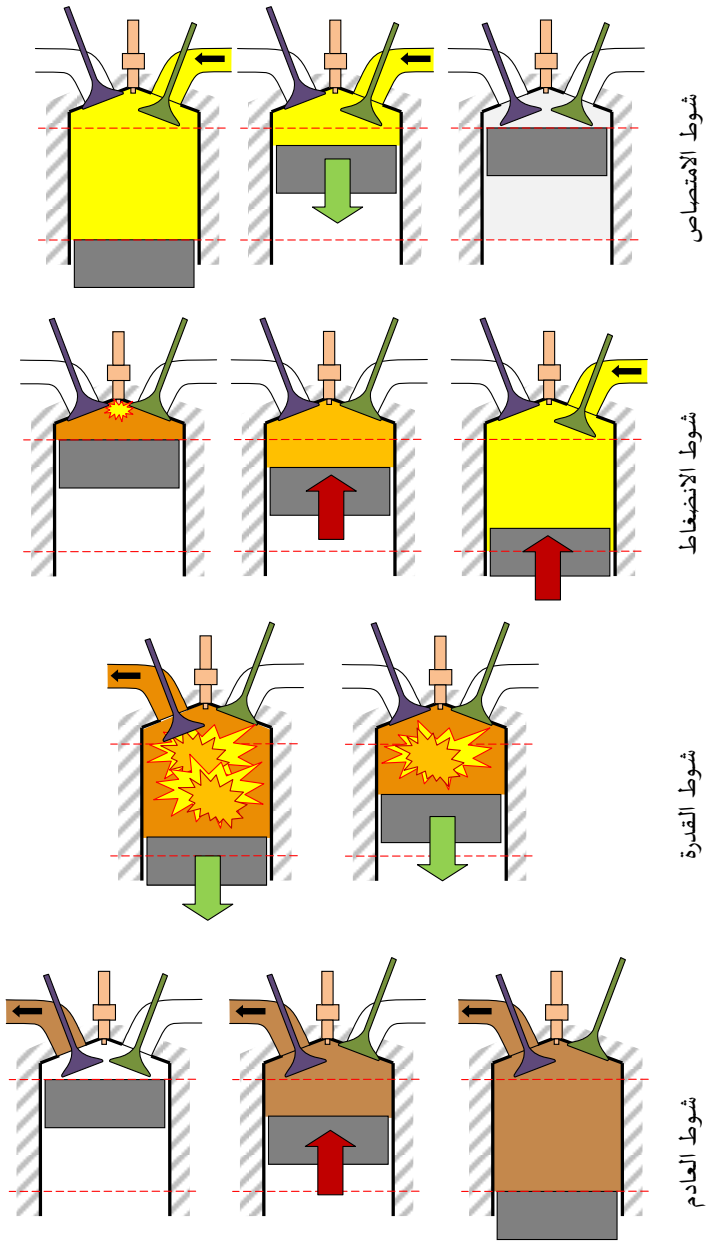
ب. محركات المركبات : مثل المحركات المستخدمة في جميع أنواع الحافلات .

دورات المحرك الأساسية

دورة محرك رباعي الأشواط :



الشكل 16.1 : دورة محرك ديزل رباعي الأشواط .



الشكل 17.1 : دورة محرك أوتو رباعي الأشواط .

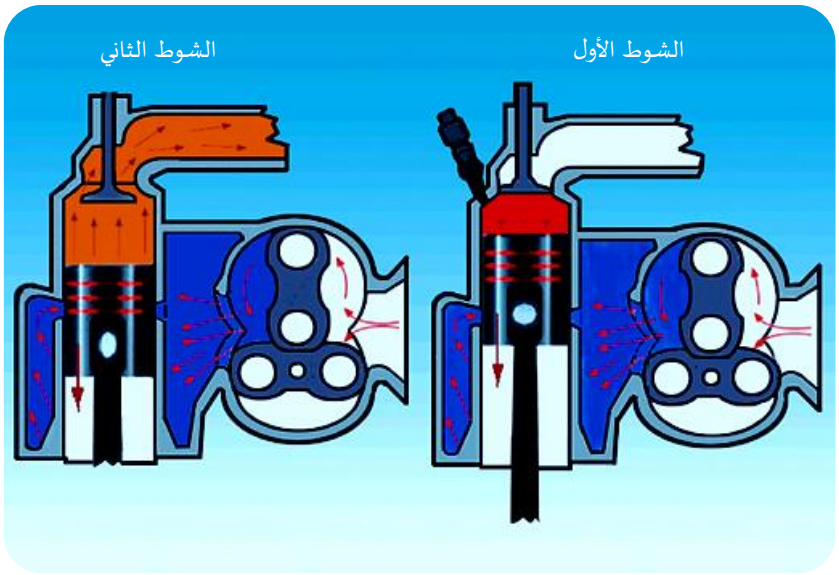
1. **شوط الامتصاص :**
   - يكون صمام الامتصاص مفتوحاً .
   - يتحرك المكبس من (ن م ع) إلى (ن م س) .
   - يحدث دخول للشحنة الجديدة إلى الأسطوانة و ذلك مع استمرار نزول المكبس بسبب تخلخل الضغط الذي يخلقه المكبس بحيث يصبح الضغط ضمن الأسطوانة أقل من الضغط الموجود في مجمّع السحب ، فتنساب الشحنة من المجمّع إلى الأسطوانة .

2. **شوط الانضغاط :**
   - تكون كل الصمامات مغلقة .
   - يتحرك المكبس من (ن م س) إلى (ن م ع) .
   - يحدث ازدياد لضغط و درجة حرارة الشحنة الموجودة في الأسطوانة مع انخفاض لحجمها و ذلك مع استمرار صعود المكبس .

3. **شوط القدرة (التمدد و الاحتراق) :**
   - تكون كل الصمامات مغلقة .
   - يتحرك المكبس من (ن م ع) إلى (ن م س) .
   - يحدث احتراق لخليط الوقود في وقت محدد و قصير جداً ، فتتمدد الغازات الناتجة عن الاحتراق دافعة المكبس إلى الأسفل ليجبر ذراع التوصيل على تدوير عمود المرفق . حيث يحصل انخفاض لضغط و درجة حرارة غازات الاحتراق في الأسطوانة مع ازدياد لحجمها و ذلك مع استمرار نزول المكبس .

4. **شوط العادم (الإفلات) :**
   - يكون صمام العادم مفتوحاً .
   - يتحرك المكبس من (ن م س) إلى (ن م ع) .
   - يحدث خروج لغازات الاحتراق المتبقية في الأسطوانة إلى الوسط الخارجي عبر مجمع العادم و ذلك مع استمرار صعود المكبس .

دورة محرك ثنائي الأشواط :



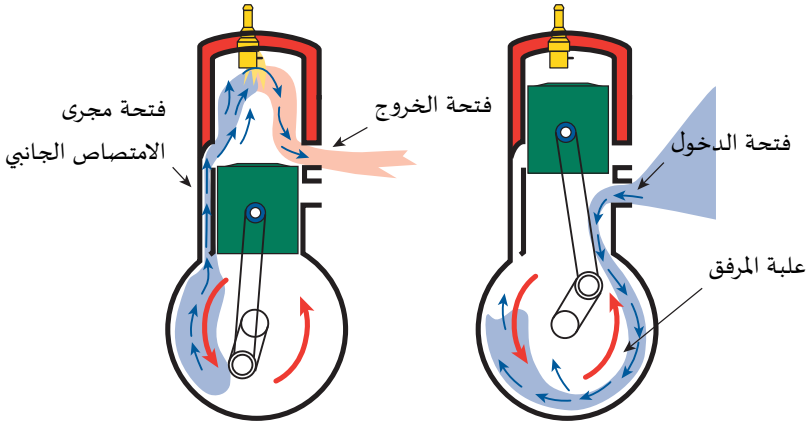
الشكل 1.18 : دورة محرك ديزل ثنائي الأشواط .

1. **الشوط الأول (و يعرف أيضاً بشوط القدرة) :**
   - يبدأ هذا الشوط مع تحرك المكبس من (ن م ع) و ينتهي بوصول المكبس إلى (ن م س) .
   - يحدث خلال هذا الشوط احتراق لخليط الوقود في وقت محدد و قصير جداً ، فتتمدد الغازات الناتجة عن الاحتراق دافعة المكبس إلى الأسفل ليجبر ذراع التوصيل على تدوير عمود المرفق . ثم يُفتح صمام العادم بواسطة آلية التوقيت قبل أن يكشف المكبس لفتحة الامتصاص بقليل و ذلك لخروج معظم غازات الاحتراق في الأسطوانة إلى الوسط الخارجي عبر مجمع العادم . و يستمر المكبس بالنزول كاشفاً فتحة الامتصاص ، فينخفض الضغط بصورة مفاجئة في الأسطوانة و تتدفق شحنة الهواء الجديدة المضغوطة لتساعد على طرد غازات الاحتراق .

2. **الشوط الثاني (و يعرف أيضاً بشوط الانضغاط) :**
   - يبدأ هذا الشوط مع تحرك المكبس من (ن م س) و ينتهي بوصول المكبس إلى (ن م ع) .
   - يحدث خلال هذا الشوط تكنيس الأسطوانة من غازات الاحتراق المتبقية بالإضافة إلى شحن الإسطوانة بشحنة الهواء الطازجة ، و يستمر ذلك حتى يتم إغلاق صمام العادم بواسطة آلية التوقيت و تغطية المكبس لفتحة الامتصاص . و يستمر المكبس بالصعود

ضاغطاً أمامه شحنة الهواء إلى أن يقترب من (ن م ع) بقليل حيث يحدث الاحتراق مرة أخرى و تتكرر العمليات من جديد .

مقارنة بين محركات ثنائية و رباعية الأشواط :



الشكل 19.1 : دورة محرك بنزين ثنائي الأشواط .

مزايا محركات ثنائية الأشواط :

1. زيادة الاستطاعة الناتجة عن زيادة عدد الدارات الفعلية بالنسبة لعدد الدورات التي تزاد فعلياً إلى الضعف لكن الاستطاعة لا تزداد بصورة طردية و إنما ترتفع بمقدار (1,6 – 1,7) مرة فقط و ذلك بسبب :
   أ. تخصيص قسم من شوط المكبس لإداء عملتي السحب و العادم .
   ب. تخصيص قسم من استطاعة المحرك لتشغيل المضخة الهوائية .
2. بساطة التصميم و ذلك لعدم وجود ضرورة لعمود الحدبات و الصمامات و آلية التوقيت المعقدّة التابعة لها .
3. تجانس و انتظام توزع عزم الفتل المطبق على عمود المرفق بسبب حدوث شوط قدرة كل دورة و ليس كل دورتين .

مساوئ محركات ثنائية الأشواط :

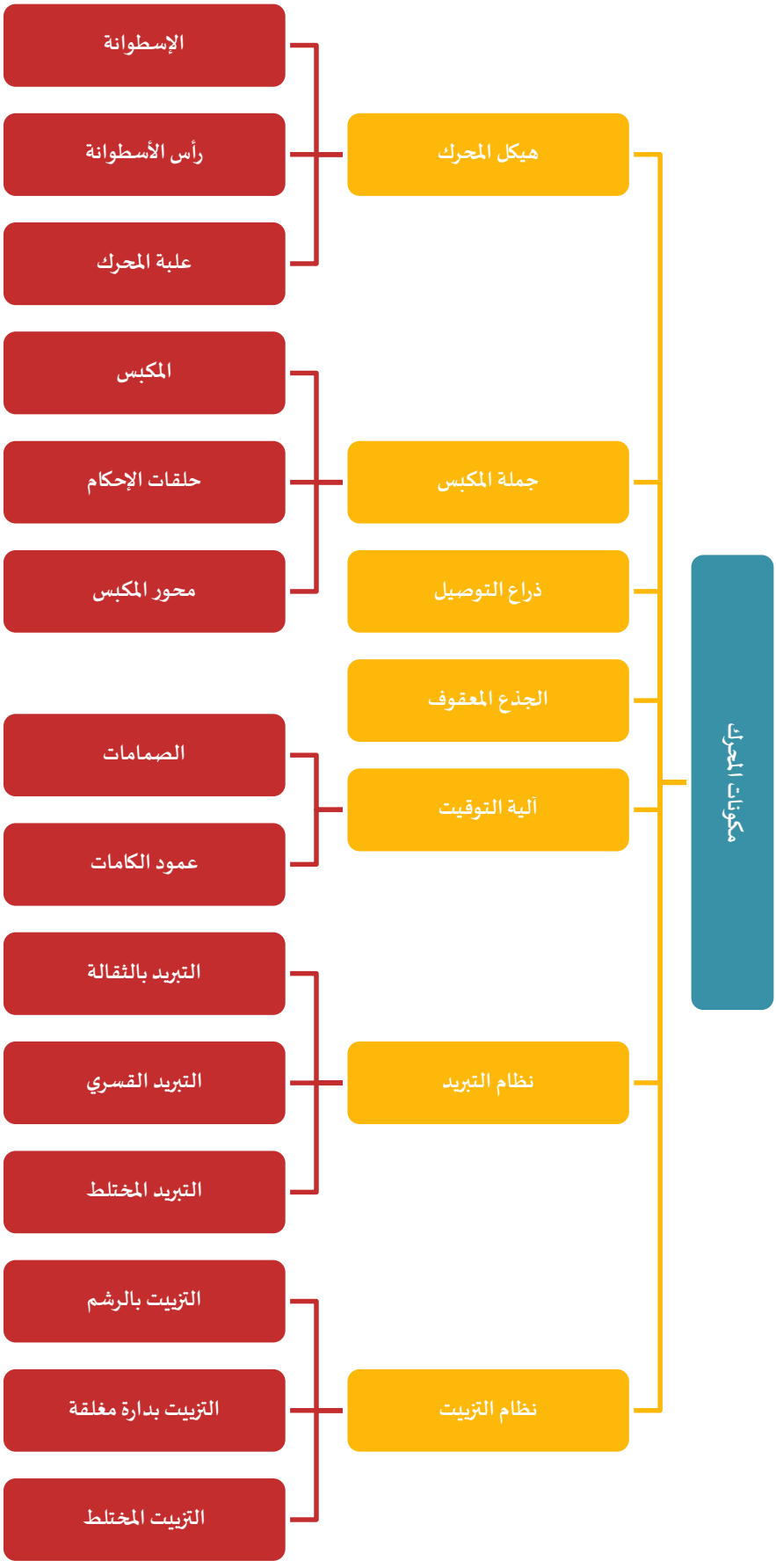
1. الزمن المخصص لعملتي الشحن و التكنيس قصير جداً .
2. الإجهاد الحراري للمحرك بسبب حدوث شوط قدرة كل دورة .

انتهى الفصل

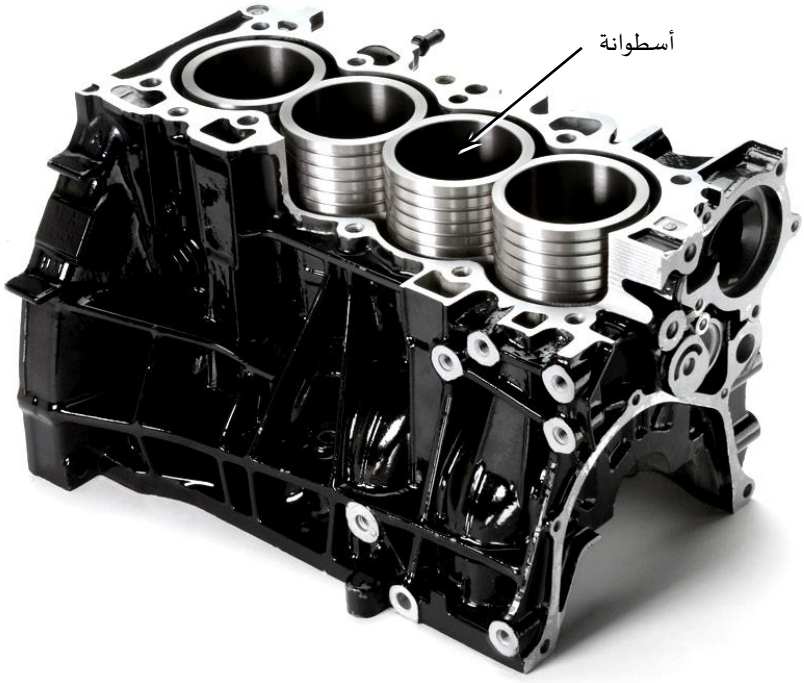
الفصل

2

مكونات المحرك


مكونات المحرك
هيكل المحرك
الإسطوانة
رأس الأسطوانة
علبة المحرك
جملة المكبس
المكبس
حلقات الإحكام
محور المكبس
ذراع التوصيل
الجذع المعقوف
آلية التوقيت
الصمامات
عمود الكامات
نظام التبريد
التبريد بالثقالة
التبريد القسري
التبريد المختلط
نظام التزييت
التزييت بالرشم
التزييت بدارة مغلقة
التزييت المختلط

الأسطوانة



الشكل 2 .1 : مقطع من كتلة الأسطوانات تظهر فيه الأسطوانات .

وظائف و مهام الأسطوانة :

1. تشكل الجدار الجانبي لحجرة الاحتراق .
2. تعمل على توجيه المكبس .
3. تشكّل مع رأس الأسطوانة الحجم الذي يؤمن الشوط العامل .

القوى المؤثرة على سطح الأسطوانة :

1. قوى ضغط غازات الاحتراق .
2. الإجهادات الحرارية ، حيث قد تصل درجات الحرارة إلى أكثر من (2000 °C) .
3. قوى الاحتكاك بين سطح المكبس و حلقاته من جهة و سطح الأسطوانة الداخلي من جهة أخرى .

المتطلبات الواجب توافرها في الأسطوانة :

1. أن يتمتع سطحها بمتانة و صلادة عاليتين .
2. أن تتمتع سطحها بمقاومة عالية للاحتكاك .
3. أن تكون ناقليتها للحرارة عالية .
4. أن تكون دقة صنعها عالية و بسيطة التصميم .

مواد تصنيع الأسطوانة :

- تصنع الأسطوانة من حديد الصب ذي القساوة العالية المقاوم للاحتكاك و الصدأ .
- أو تصنع الأسطوانة من حديد الصب المضاف إليه كروم (Cr) أو نيكل (Ni) أو تنغستين (Ti) .

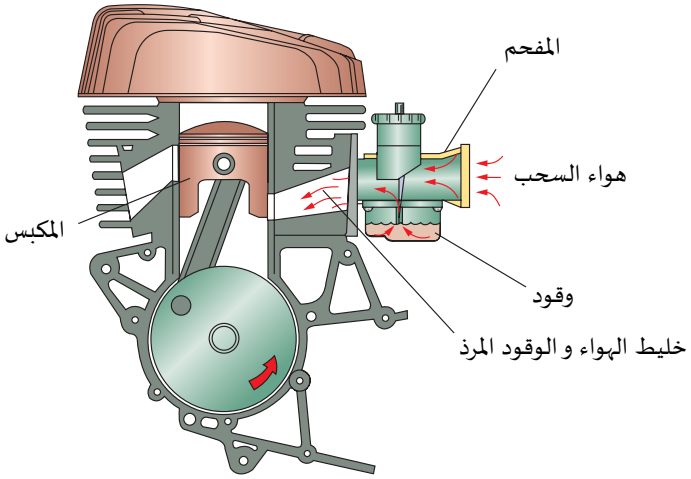
تبريد الأسطوانة :

- يجب أنّ تبرّد الأسطوانة و خاصة الأقسام العلوية منها : منعاً لحدوث تمدّد غير متجانس ممّا قد يؤدي إلى ظهور الشقوق .
- ارتفاع درجة حرارة جدران الأسطوانة يؤدي إلى انخفاض استطاعة المحرك : بسبب انخفاض الكتلة الوزنية للشحنة الداخلة إلى الأسطوانة .

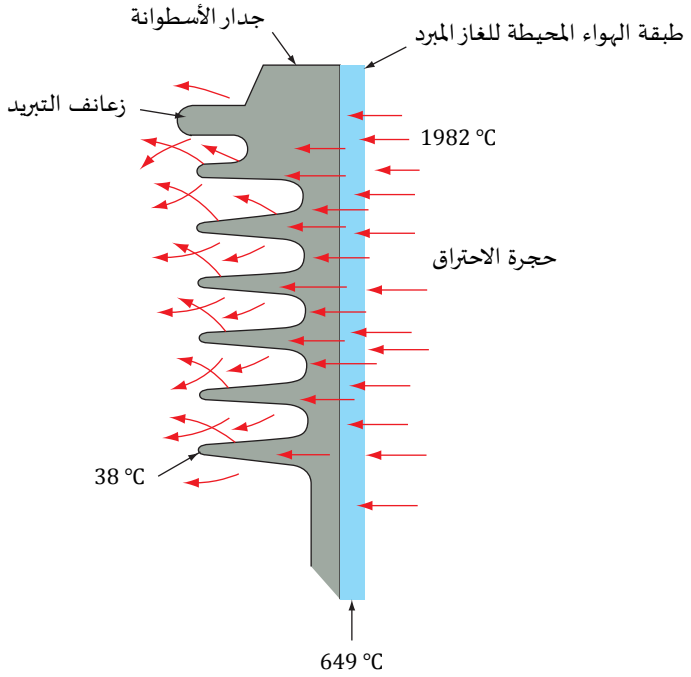
أنواع الأسطوانات من حيث طريقة التبريد :

1. الأسطوانات المبردة بالهواء .
2. الأسطوانات المبردة بالماء .

الأسطوانات المبردة بالهواء :



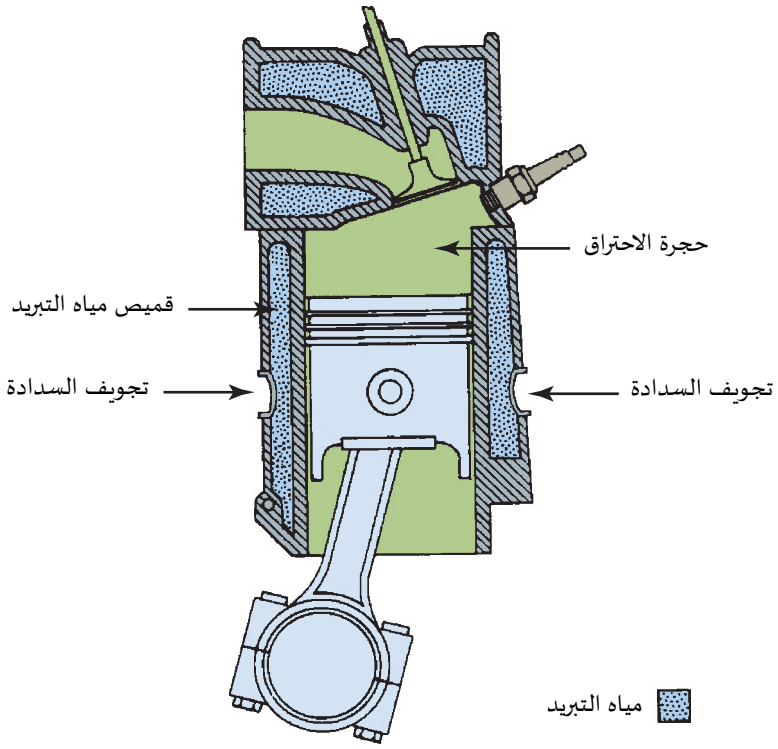
الشكل 2. 2 : أسطوانة مبردة بالهواء .



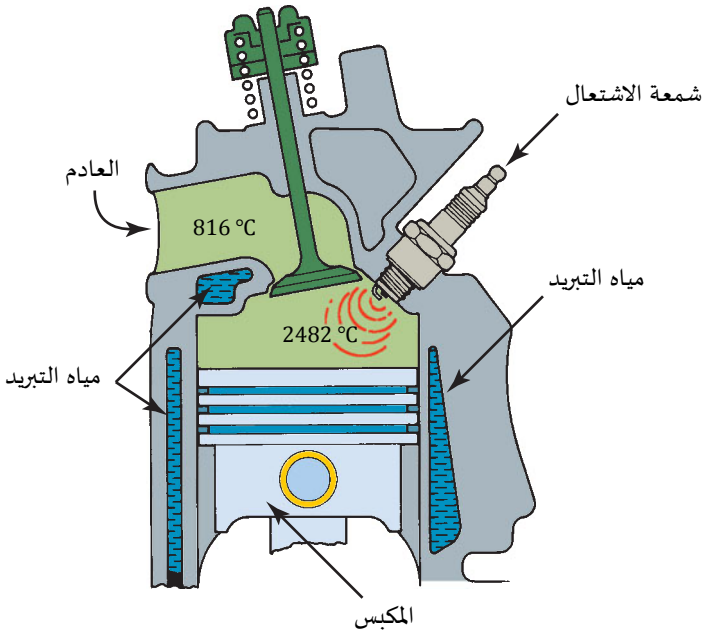
الشكل 2. 3 : درجات الحرارة لأسطوانة مبردة بالهواء .

- في هذه الطريقة يسلّط تيار قوي من الهواء على الزعانف التي تحيط بالأسطوانة من الخارج ، و فائدة الزعانف هو زيادة سطح التبريد .
- تتوضع الزعانف على جسم الأسطوانة بحيث تكون العلوية أطول من تلك الموجودة في القسم السفلي : لأن انفجار الشحنة يكون في الجزء العلوي من الأسطوانة و لذلك فإن القسم العلوي للأسطوانة يتعرض لكمية حرارة أعلى ممّا يتعرض له القسم السفلي .
- تستخدم هذه الطريقة للتبريد في محركات الطائرات و المحركات الخفيفة (الدرجات النارية و بعض السيارات) .

الأسطوانات المبردة بالماء :



الشكل 2 .4 : أسطوانة مبردة بالماء .

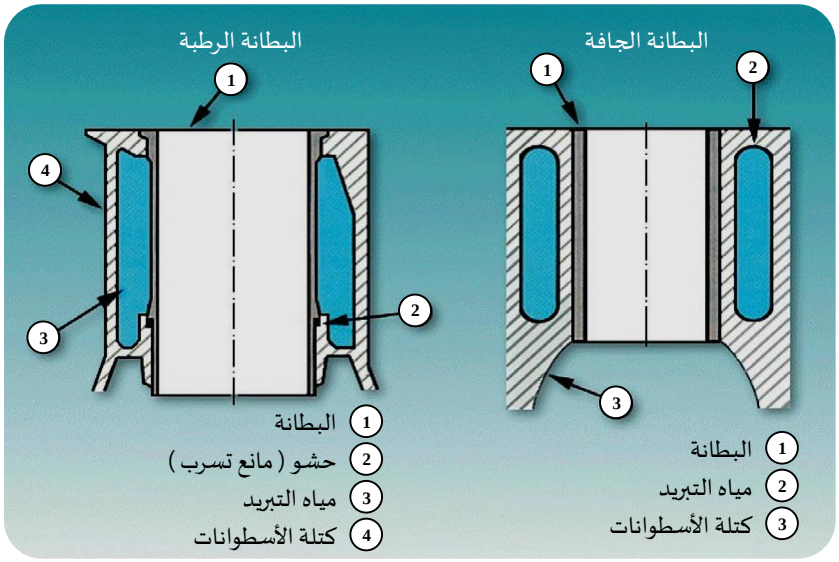


الشكل 2 .5 : الاحتراق المثالي و درجات الحرارة لأسطوانة مبردة بالماء .

في هذه الطريقة يحيط بالأسطوانة القميص المائي و هو عبارة عن تجويف لمرور الماء ، حيث يُسمى القسم الذي يتحرك فيه المكبس بـــ " بطانة الأسطوانة " .

أنواع الأسطوانات المبردة بالماء من حيث من حيث نوع البطانة :

1. الأسطوانات ذات البطانة الجافة : لا يلامس سطحها الخارجي لسائل التبريد ، و هي تحتاج إلى ضغط كاف لتأمين تركيبها .
2. الأسطوانات ذات البطانة الرطبة : يتعرض سطحها الخارجي مباشرة لسائل التبريد .

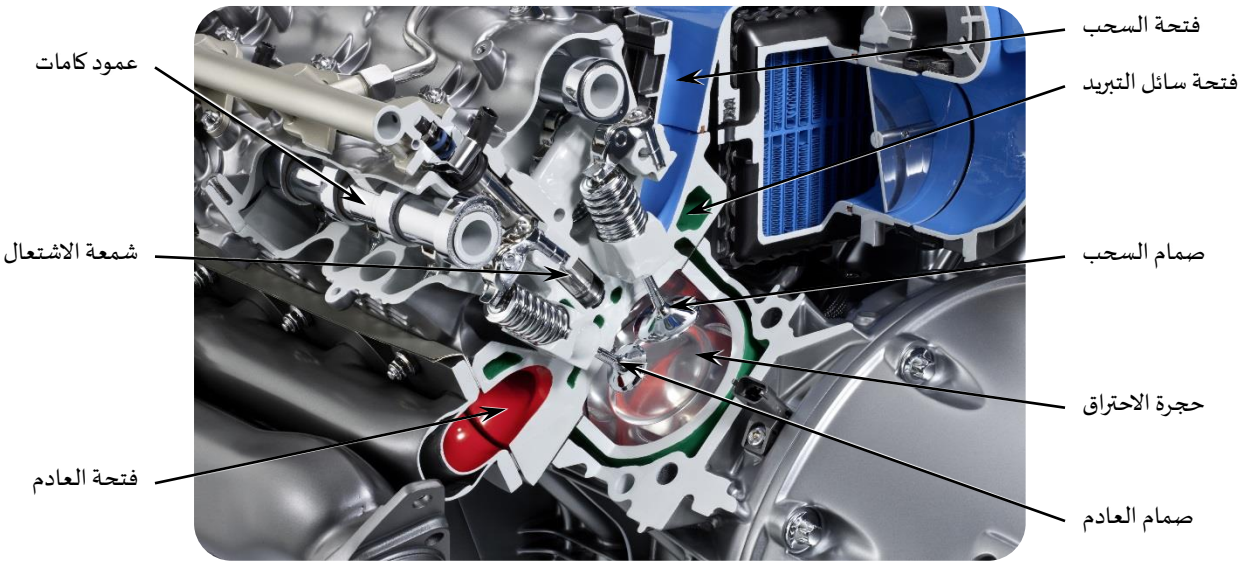


الشكل 2 .6 : أنواع بطانة الأسطوانات .

أمّا الأسطوانات ذات البطانة الرطبة ،

- **فمزاياها :**
  1. تؤمن ناقلية أفضل للحرارة .
  2. تكون أبسط عند الصيانة للمحرك إذ يمكن بسهولة نزع الأسطوانة دون الحاجة إلى أدوات خاصة .
- **و مساوئها :**
  1. تكون أقل ثباتاً .
  2. صعوبة تحقيق الإحكام الجيد لمنع تسرب ماء التبريد إلى داخل حجرة الاحتراق .

رأس الأسطوانة



الشكل 2. 7 : مقطع من غطاء الأسطوانات يظهر فيه رأس أسطوانة .

وظائف و مهام رأس الأسطوانة :

1. يشكل الجدار العلوي لحجرة الاحتراق .
2. يستخدم لتثبيت آلية الصمّامات و شمعات الاحتراق أو حواقن الوقود .

القوى المؤثرة على رأس الأسطوانة :

1. قوى ضغط غازات الاحتراق .
2. الإجهادات الحرارية .
3. القوى الميكانيكية الناتجة عن براغي التثبيت مع هيكل المحرك .

المتطلبات الواجب توافرها في رأس الأسطوانة :

1. أن يتمتع بالقساوة العالية لكي لا يتشوه بسبب قوى الشد الناتجة عن تثبيته .
2. أن يكون مقاوم للحرارة و الصدأ .
3. أن يؤمن توزيع و تثبيت جيد لآلية الصمّامات و شمعات الاحتراق أو حواقن الوقود .
4. أن يكون خفيف الوزن و سهل التصميم .

مواد تصنيع رأس الأسطوانة :

الشكل 2. 8 : رأس أسطوانات مصنوعة من حديد الصب .

الشكل 2 .9 : رأس أسطوانات مصنوعة من خلائط الألمنيوم .

- في محركات ذات الاشتعال بالشرارة : يُصنع رأس الأسطوانة من خلائط الألمنيوم ذات الناقلية العالية للحرارة حتى لا يؤدي ارتفاع درجة الحرارة السطوح إلى حدوث احتراق غير طبيعي كحادثتي الطرق (و هي ارتفاع مفاجئ في الضغط) و الاشتعال المبكر .
- أمّا في محركات ذات الاشتعال بالانضغاط : فيُصنع رأس الأسطوانة من حديد الصب بسبب الضغوط العالية الناتجة عن الاحتراق لهذه المحركات .

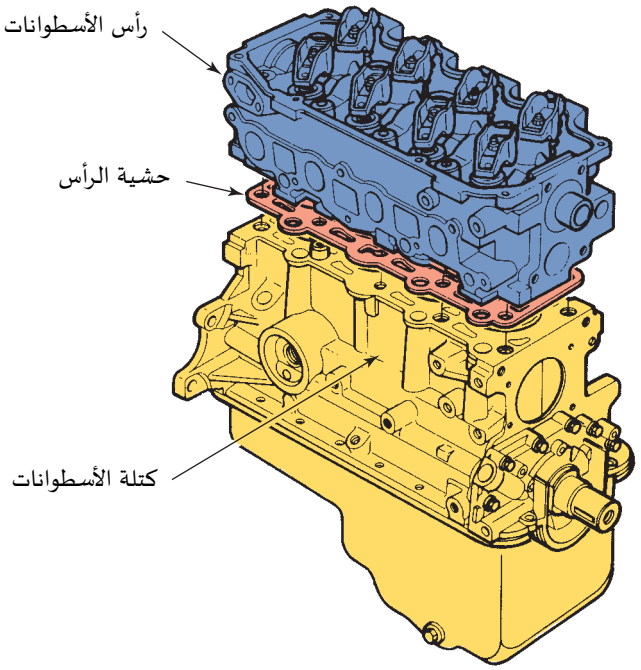
تصميم رأس الأسطوانة :

- يصمم رأس الأسطوانة بحيث يحتوي في داخله على تجاويف : لتأمين سهولة جريان سائل التبريد الذي يمتص الحرارة التي يتلقاها رأس الأسطوانة من الغازات الموجودة في حجرة الاحتراق .
- يُوضع حلقة إحكام من النحاس أو من خلائط الألمنيوم بين رأس الأسطوانة و الأسطوانة :
  1. لتأمين الإحكام الجيد بين رأس الأسطوانة و الأسطوانة .
  2. لمنع تسرب غازات الاحتراق .
  3. لمنع تسرب سائل التبريد .
  4. لمنع تسرب زيت التزييت و اختلاطه بالماء .

ملاحظة مهمة :

جسر الصمّامات (المنطقة الواقعة بين صمامي الامتصاص و الإفلات) هو أكثر منطقة معرضّة للإجهادات الحرارية بالمقارنة مع باقي أجزاء رأس الأسطوانة : لأن الشحنة تدخل بدرجة حرارة منخفضة و تخرج نواتج الاحتراق بدرجة حرارة عالية بحدود (2000 – 2500 °C) في حين أنّ درجة حرارة سائل التبريد لا تتعدى (95 °C) ، و بالتالي فإن هذه المنطقة معرضّة لدرجات حرارة متفاوتة مسبّبةً بذلك الإجهادات الحرارية العالية .

علبة المحرك (علبة المرفق)



الشكل 10.2 : علبة المرفق (كتلة الأسطونات) مع رأس الأسطونات .

وظائف و مهام علبة المحرك :

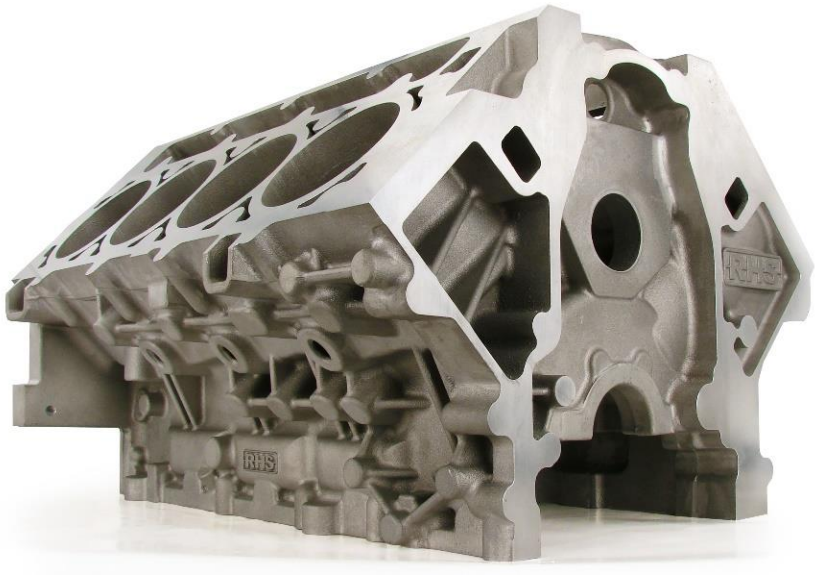
1. تحتوي بداخلها على جميع الأجزاء المتحركة للمحرك .
2. يُثّبت عليها جميع القطع و الأجهزة المساعدة و الضرورية لعمل المحرك .

القوى المؤثرة على علبة المحرك :

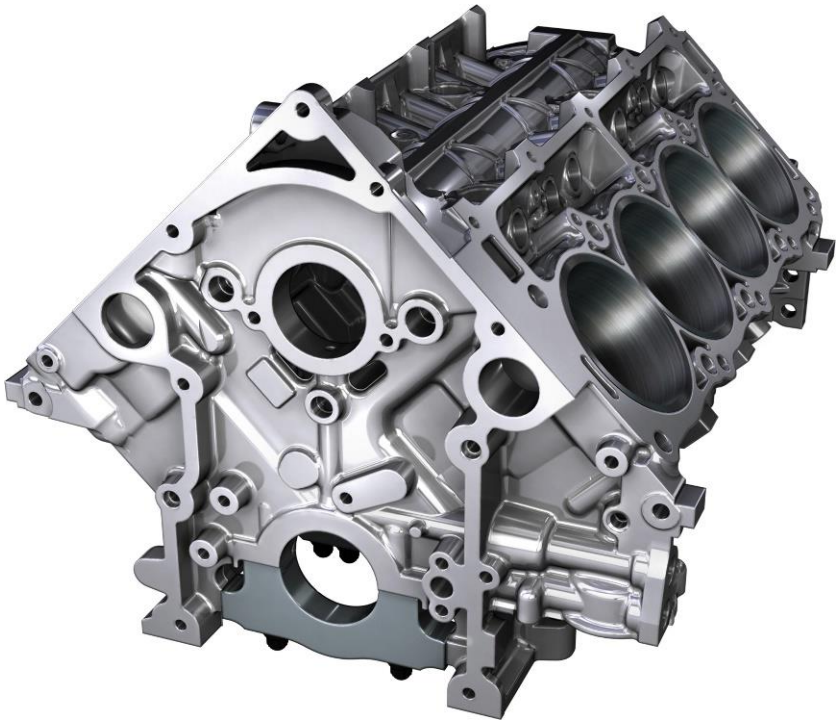
1. قوى ضغط غازات الاحتراق .
2. الإجهادات الحرارة المتناوبة و الغير ثابتة .
3. قوى العطالة الغير منتظمة .
4. التآكل الناتج عن الاحتكاك مع القطع المتحركة .

مواد تصنيع علبة المحرك :

- تصنع علبة المحرك من حديد الصب ذو القساوة الكافية .
- أو تصنع علبة المحرك من خلائط الألمنيوم ،
  - فمن مزايا خلائط الألمنيوم : تؤدي إلى إنقاص وزن المحرك .
  - و من مساوئ خلائط الألمنيوم : قلة قساوتها بالنسبة للحديد الصب ممّا يؤدي إلى اهتراء و تآكل سطوح الإحكام .



الشكل 2.11 : علبة مرفق مصنوعة من خلائط الألمنيوم .

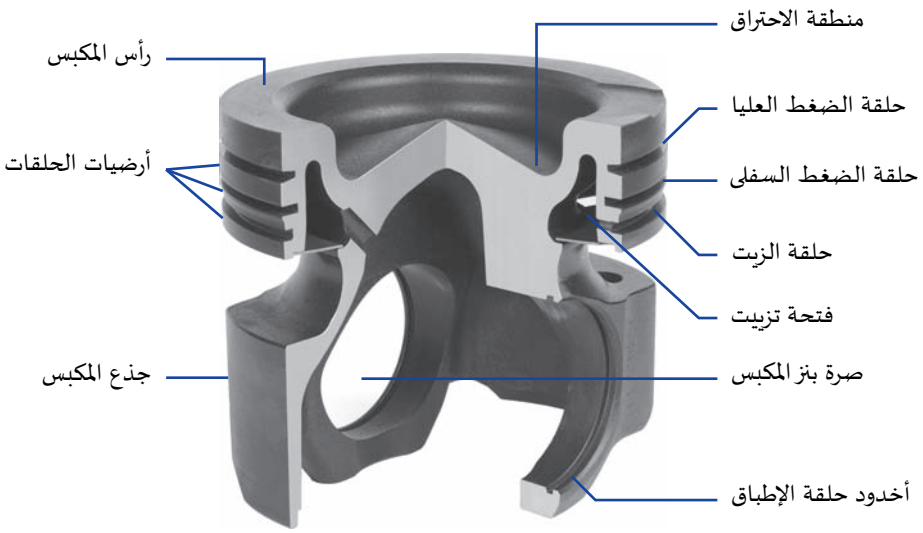


الشكل 2.12 : علبة مرفق مصنوعة من حديد الصب .

تصميم علبة المحرك :

تصـمّم علبة المرفق حسـب توضّـع أجزاء المحرك كتوضـع الأسـطوانات و موقع الجذع المعقوف و موقع عمود الكامات و طريقة التبريد المتبعة .

المكبس



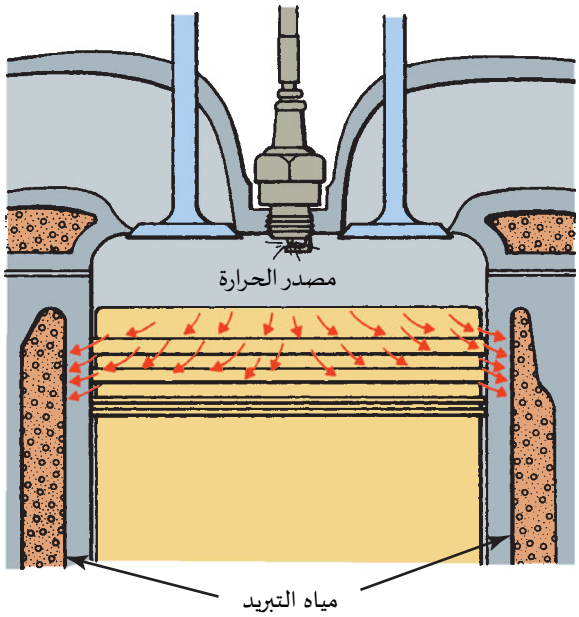
الشكل 2.13 : مكونات المكبس .

وظائف و مهام المكبس :

1. يقوم بنقل القوى الناتجة عن ضغط غازات الاحتراق إلى ذراع التوصيل عن طريق محور الكبس .
2. يقوم بتحويل الحركة الترددية إلى حركة دورانية عن طريق ذراع التوصيل .

القوى المؤثرة على المكبس :

1. قوى ضغط غازات الاحتراق ، حيث قد تصل إلى ($50 - 60\ bar$) في محركات البنزين و إلى ($80 - 100\ bar$) أو أكثر في محركات الديزل .
2. الإجهادات الحرارية ، حيث تتغير درجات الحرارة خلال الدورة الواحدة بحدود ($30 - 2500\ °C$) .
3. قوى الاحتكاك الناتجة عن حركة المكبس داخل الأسطوانة .
4. قوى العطالة الناتجة عن الحركة الترددية للمكبس المتغيرة بالقيمة و الاتجاه .



الشكل 2.14 : انتقال الحرارة من المكبس إلى جدران الأسطوانة .

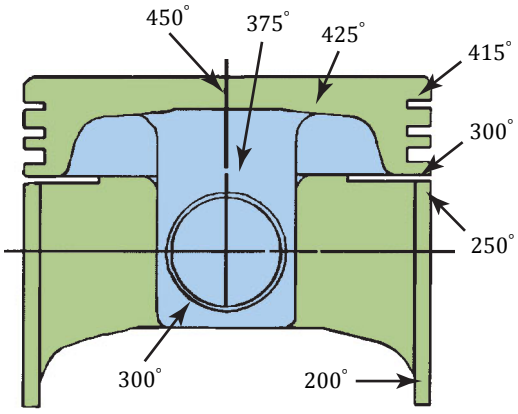
النتائج التي تسببها الارتفاع الزائد لدرجة حرارة المكبس :

1. زيادة الإجهادات الحرارية لمادة المكبس .
2. التأثير على عملية شحن الأسطوانة و بالتالي انخفاض استطاعة المحرك .
3. استعصاء المكبس ضمن الأسطوانة .
4. حدوث الاحتراق الغير طبيعي .

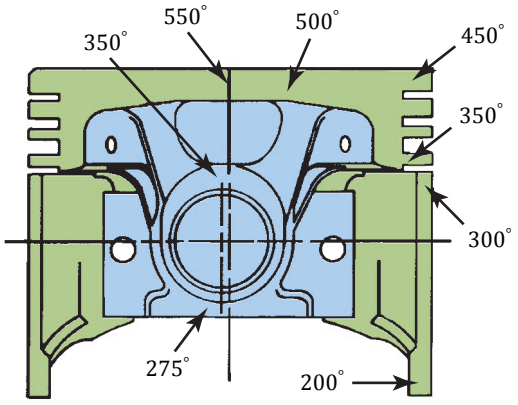
المتطلبات الواجب توافرها في المكبس :

1. أن يكون مقاوم للإجهادات الميكانيكية و الحرارية .
2. أن يكون مقاوم للاحتكاك .
3. أن يتمتع بناقلية عالية للحرارة .

مواد تصنيع المكبس :



مكبس مصنع من الفولاذ المطروق



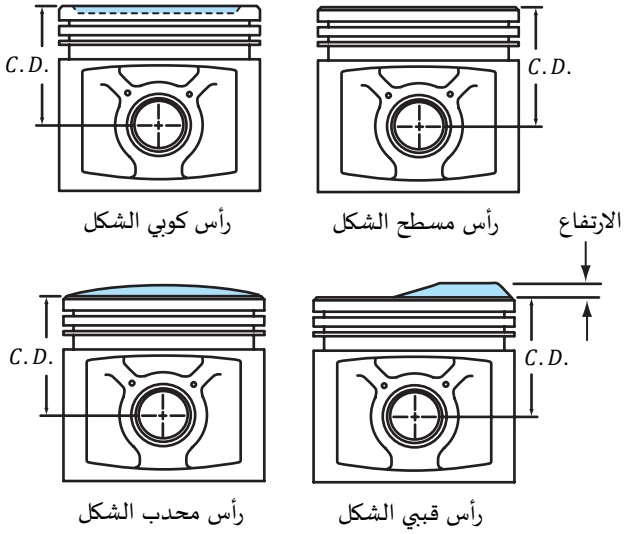
مكبس مصنع من حديد الصب

الشكل 15.2 : توزع درجات الحرارة على مكبسين أحدهما مصنوع من حديد الصب و الآخر من الفولاذ المطروق .

- في محركات الديزل ذات السرع المنخفضة : يصنع المكبس من حديد الصب لأنه معرض لإجهادات حرارية عالية لا تتحملها خلائط الألمنيوم .
- أما في محركات الحديثة ذات السرع العالية : فيُصنع المكبس من خلائط الألمنيوم ،

- **و من مزايا المكبس المصنوع من خلائط الألمنيوم :**
  1. خفيف الوزن .
  2. يتمتع بناقلية حرارية عالية ، و هو أكبر بحدود (3 – 4) مرات من ناقلية حديد الصب .
- **أما مساوئ المكبس المصنوع من خلائط الألمنيوم :**
  1. انخفاض مقاومته للقوى الميكانيكية و للاحتكاك .
  2. ارتفاع عامل التمدد الخطي إلى (2 – 2,5) مرة بالمقارنة مع عامل التمدد الخطي لحديد الصب .

تصميم المكبس :



مسافة الضغط $= C.D.$

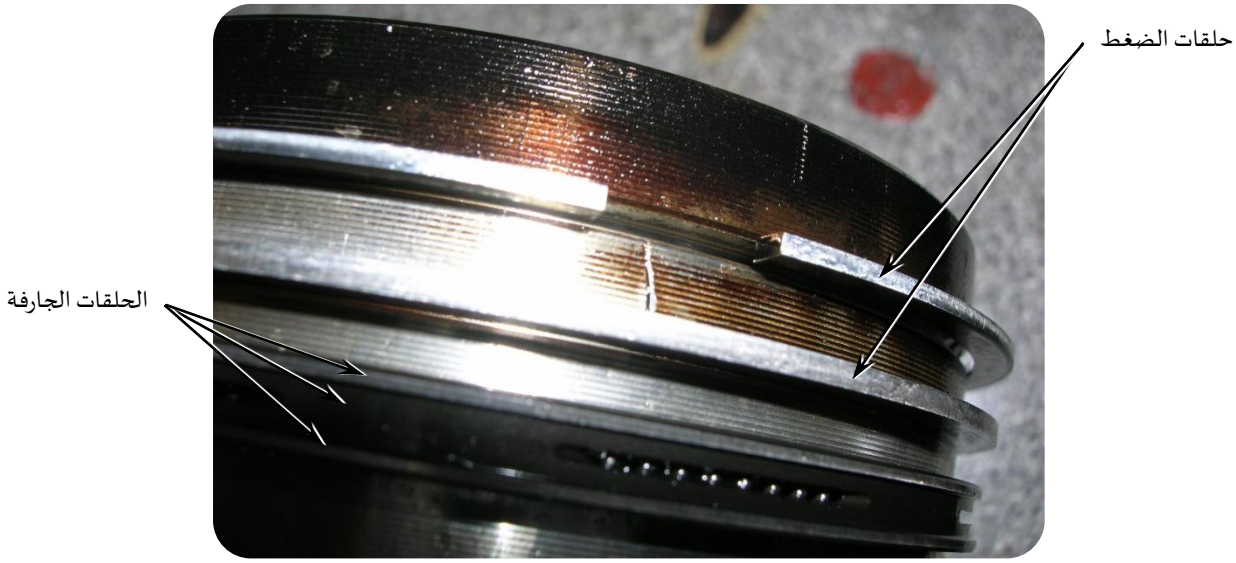
الشكل 2 .16 : التصاميم المختلفة لرؤوس المكبس .

- يختلف تصميم المكبس حسب نوع المحرك : فقد يكون سطح رأس المكبس مسطحاً أو محدباً أو مقعراً و ذلك حسب الطريقة المتبعة في تشكيل الخليط .
- لا بدّ من وجود خلوص بين المكبس و قميص الأسطوانة : لتأمين عمل طبيعي للمكبس داخل الأسطوانة .
- يصنع رأس المكبس على شكل جذع مخروط بحيث يكون القطر الصغير في الأعلى : لأن رأس المكبس هو أكثر الأجزاء التي تتعرض للحرارة العالية .
- يلبس سطح المكبس بطبقة من القصدير سماكتها (0,005 mm) : لمنع الخدوش و استعصاء المكبس .

ملاحظات :

- يتلقى السطح العلوي للمكبس كمية من الحرارة الناتجة عن غازات الاحتراق بحدود (20 – 40 %) من كمية الحرارة الإجمالية التي تتلقاها كافة سطوح حجرة الاحتراق ، حيث يقوم المكبس بنقل تلك الحرارة إلى سائل التبريد عن طريق سطح قميص الأسطوانة .
- دّلت التجارب العملية أنّ (50 %) من الحرارة التي يتلقاها المكبس تنتقل عن طريق أساور الإحكام إلى سائل التبريد .

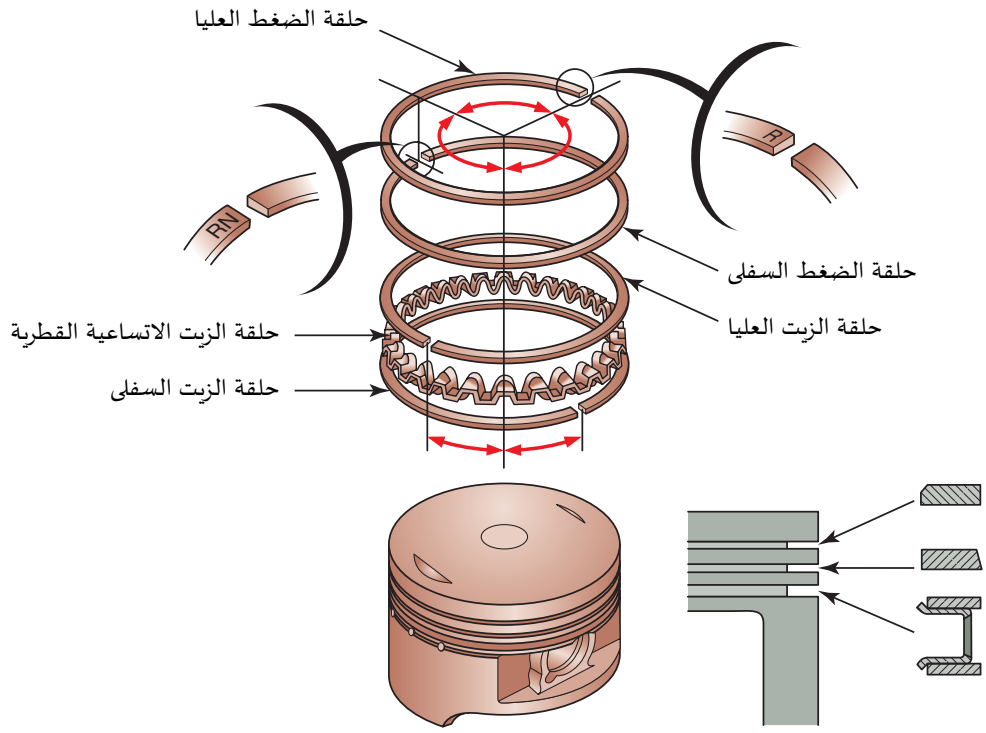
حلقات الإحكام (أساور المكبس)



الشكل 2.17 : حلقات المكبس .

وظائف و مهام حلقات المكبس :

1. تمنع تسرب الغازات من حجرة الاحتراق إلى القسم السفلي من لمحرك .
2. تنقل الحرارة من رأس المكبس إلى جدران الأسطوانة .
3. تعمل كدليل لمسار حركة المكبس .
4. تجرف الزيت الفائض و تزيّت الأسطوانة بكميات كافية من الزيت .
5. تمنع انتقال الزيت الفائض بكميات كبيرة إلى حجرة الاحتراق .

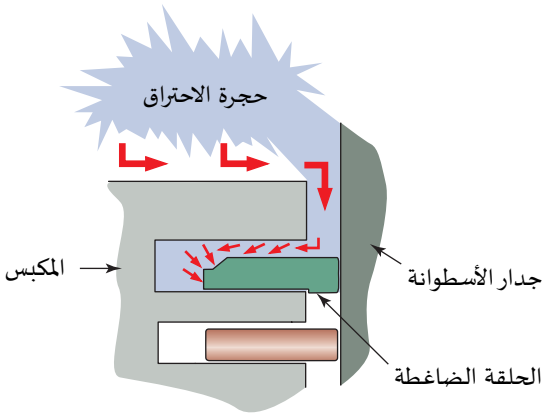


الشكل 2.18 : ترتيب حلقات المكبس عند تركيبها .

أنواع حلقات المكبس :

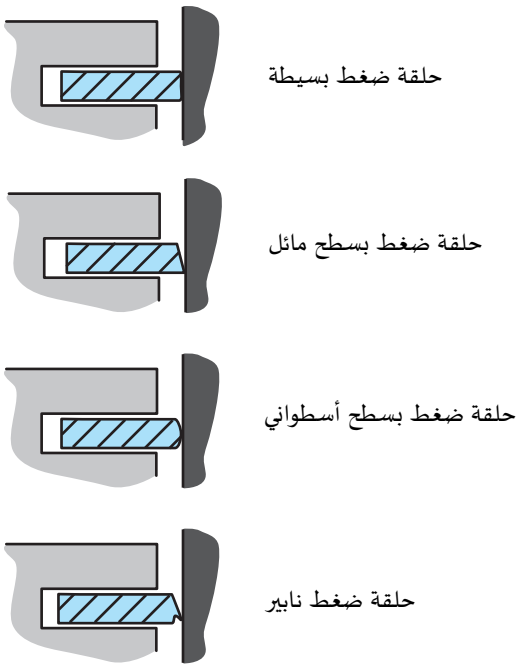
1. حلقات ضاغطة .
2. حلقات جارفة .

الحلقات الضاغطة :



الشكل 19.2 : مبدأ عمل الحلقات الضاغطة .

- وظيفة الحلقات الضاغطة : عملية إحكام و منع تسرب الغازات الموجودة في حجرة الاحتراق .
- توضّع الحلقات الضاغطة : تركّب في القسم العلوي للمكبس .
- عدد الحلقات الضاغطة : يكون عددها عادة من ثلاث إلى أربع حلقات أو اثنتان ربما (حديثاً) .
- توزع الضغط الموجود في الأسطوانة على الحلقات الضاغطة : يبلغ ضغط الأسطوانة على الحلقة الأولى (75 %) ، ثم ينخفض إلى (20 %) على الحلقة الثانية ، و لا يتجاوز (8 %) على الحلقة الثالثة .



الشكل 20.2 : الأنواع المختلفة لأسطح حلقات الضغط الخارجية .

المؤشرات التي تُأخذ بعين الاعتبار عند اختيار عدد الحلقات الضاغطة :

1. ضرورة سحب الحرارة التي يتلقاها المكبس و نبذها إلى جدران الأسطوانة و من ثم إلى سائل التبريد .
2. ضمان الإحكام الجيد بين حجرة الاحتراق و علبة المحرك .

حلقة بوصلة تناكبية (مستقيمة)

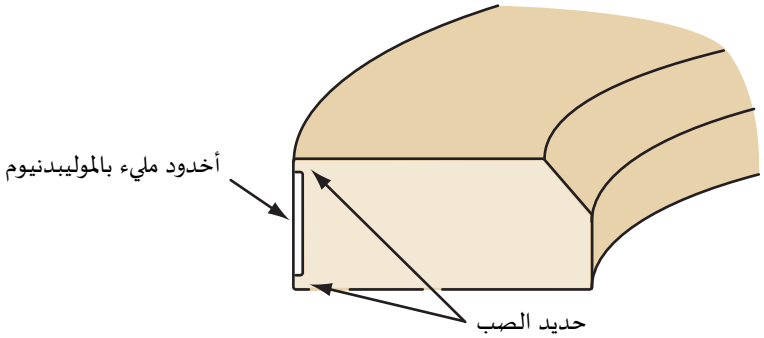
حلقة بوصلة مشطوفة (مائلة)

حلقة بوصلة تراكبية

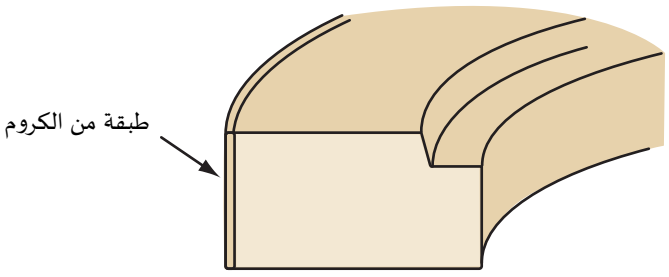
الشكل 2 .21 : الأنواع المختلفة لوصل حلقات المكبس .

المتطلبات الواجب توافرها في الحلقات الضاغطة :

1. أن تتمتع سطوحها بدقة و نعومة عالية .
2. أن تتمتع بقساوة عالية .
3. أن تتمتع بمقاومة عالية للاحتكاك .
4. أن تتمتع بناقلية جيدة للحرارة .
5. أن تتمتع بمرونة جيدة .
6. أن تتمتع بخفة الوزن .



حلقة ضغط يحتوي سطحها الخارجي على طبقة من الموليبدنيوم



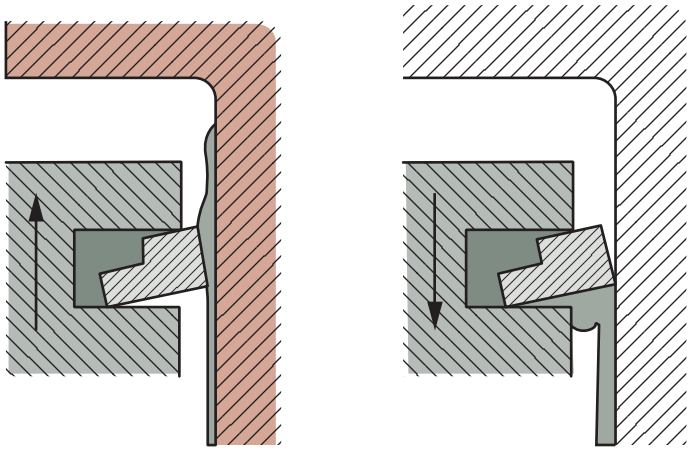
حلقة ضغط مطلي سطحها الخارجي بطبقة من الكروم

الشكل 2 .22 : الأنواع المختلفة لأسطح حلقات الضغط .

✍ مواد تصنيع الحلقات الضاغطة :

تصنع من حديد البرليت المضاف إليه كروم (Cr) أو نيكل (Ni) أو مولبيديوم (Mo) أو منغنيز (Mn) .

الحلقات الجارفة :



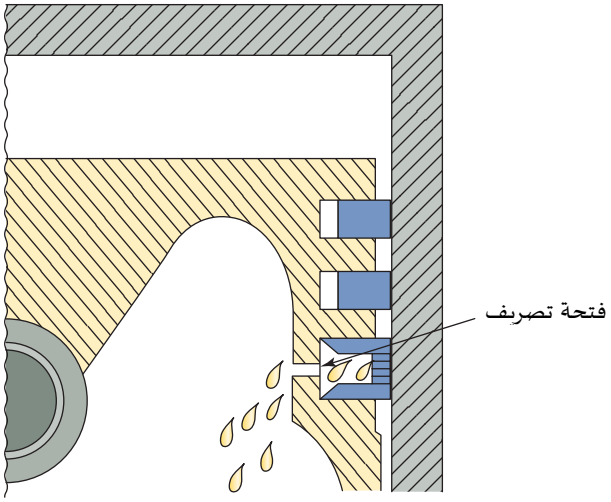
الشكل 2.23 : مبدأ عمل جرف الزيت بشكل عام .

✍ وظيفة الحلقات الجارفة : جرف الزيت الزائد من سطح الأسطوانة و منع وصوله إلى حجرة الاحتراق .

✍ توضّع الحلقات الجارفة : تركّب في القسم السفلي للمكبس أو تحت الحلقات الضاغطة .

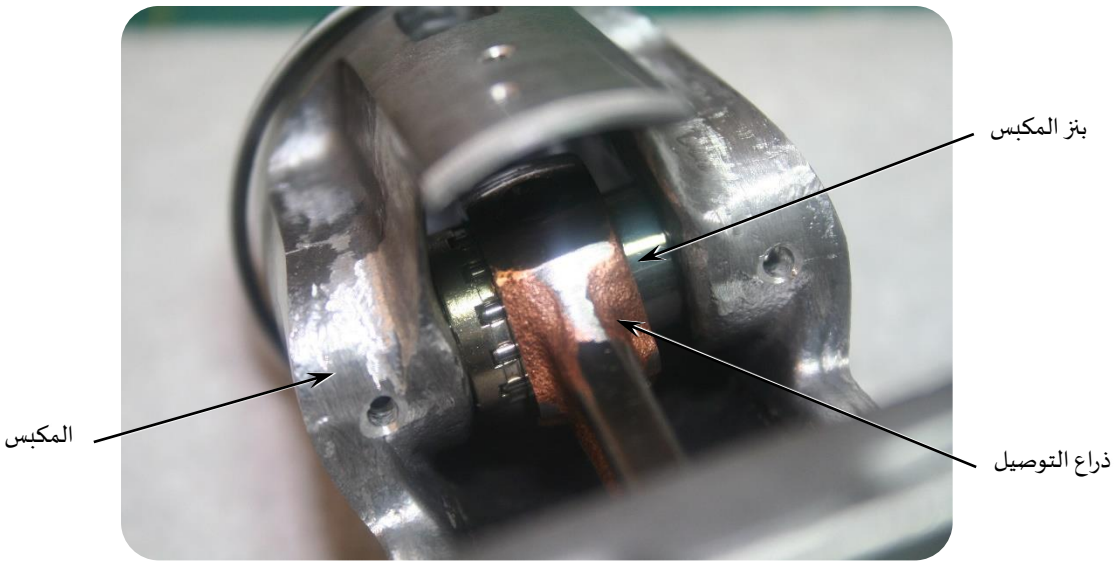
✍ عدد الحلقات الجارفة : يكون عددها من واحد إلى ثلاث حلقات .

✍ لا يمكن للحلقات الجارفة منع وصول الزيت إلى حجرة الاحتراق بشكل تام حيث يصل قسم صغير منه : بسبب التأثير المضخي .



الشكل 2.24 : مبدأ عمل الحلقات الاتساعية المركبة الجارفة .

محور المكبس (بنز المكبس)



الشكل 2.25 : بنز المكبس .

وظيفة محور المكبس :

ينقل القوى من المكبس إلى ذراع التوصيل .

القوى المؤثرة على محور المكبس :

قوى ديناميكية كبيرة متغيرة بالقيمة و الاتجاه .

مواد تصنيع محور المكبس :

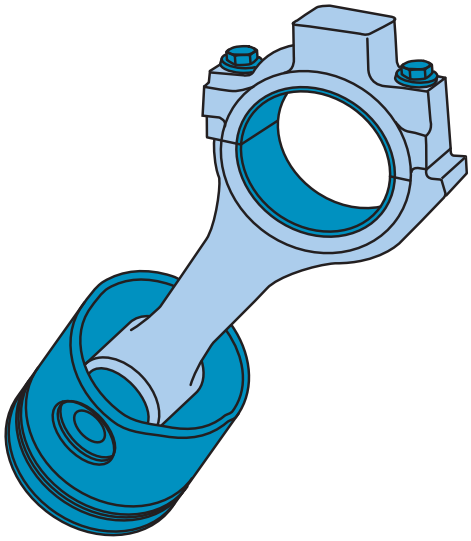
- يصنع المكبس من الفولاذ الجيد ، حيث يعالج سطحه حرارياً على عمق ($1 - 2\ mm$) و ذلك لزيادة صلابته و قساوته .
- أو يصنع المكبس من خلائط الفولاذ .

تصميم محور المكبس :

- يصمم محور المكبس على شكل قضيب ذو سطح أملس : لتقليل الاحتكاك .
- يصمم محور المكبس أجوف : لتقليل الوزن .
- يسمح لمحور المكبس بالدوران في معظم المحركات : لأنه يساعد على تعرض جميع سطوح المحور إلى قوى أكثر انتظاماً .

الشكل 2.26 : البنز وهو مجوف .

ذراع التوصيل



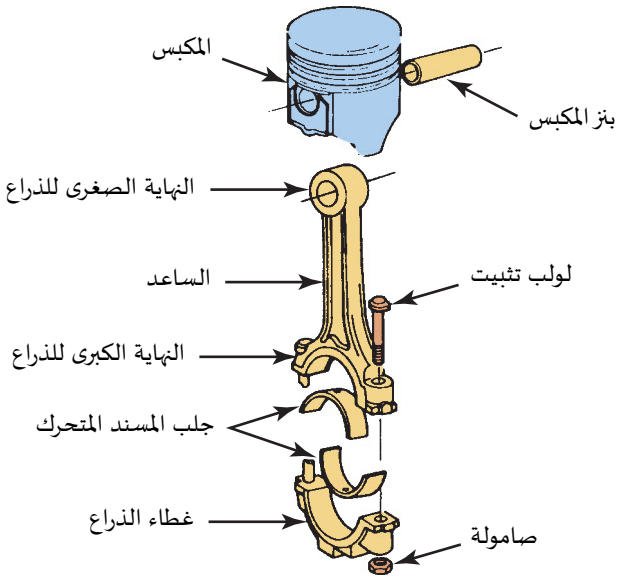
الشكل 2 .27 : جملة ذراع التوصيل مع المكبس .

وظائف و مهام ذراع التوصيل :

1. ينقل القوى من المكبس إلى الجذع المعقوف .
2. يحّول الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دورانية .

القوى المؤثرة على ذراع التوصيل :

1. قوى ضغط غازات الاحتراق .
2. قوى عطالة الأجزاء المتحركة المتغيرة بالقيمة و الاتجاه .



الشكل 2 .28 : مكونات ذراع التوصيل .

مكونات (أجزاء) ذراع التوصيل :

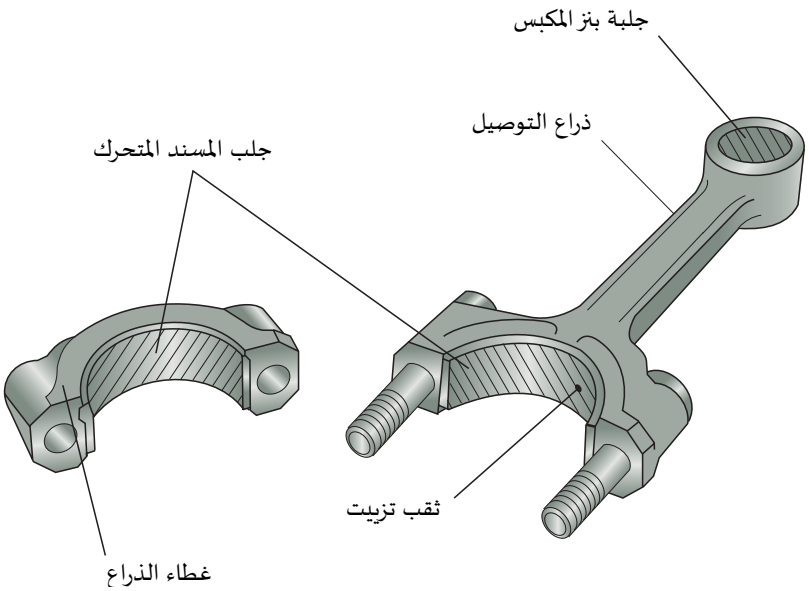
1. جسم ذراع التوصيل (الساعد) : يصنع بحيث يكون طوله أصغرياً لمنع التوائه بسبب قوى الضغط الكبيرة التي يتعرض لها .
2. النهاية الصغرى (النهاية المكبسية) : تصنع من قطعة واحدة و تحوي بداخلها على قشرة تكون مسنداً لمحور المكبس .
3. النهاية الكبرى (النهاية المرفقية) : تصنع من قطعتين بأبعاد أقل من قطر الأسطوانة لتسهيل عملية إخراجها مع الذراع من الأعلى و عبر الأسطوانة .

مواد تصنيع ذراع التوصيل :

- يصنع ذراع التوصيل من الفولاذ الجيد العادي .
- و يصنع ذراع التوصيل من الفولاذ المضاف إليه كروم (Cr) و نيكل (Ni) .
- أو يصنع ذراع التوصيل من خلائط الفولاذ .

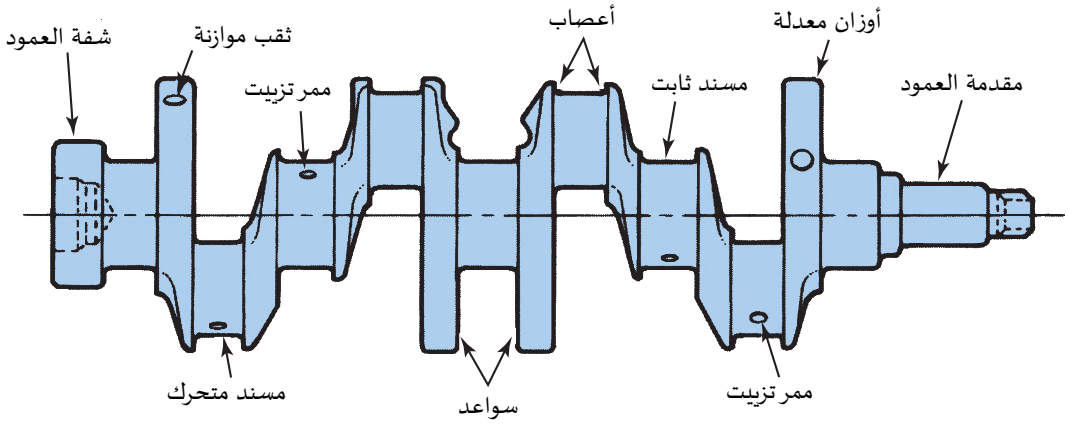
تصميم ذراع التوصيل :

- جسم ذراع التوصيل عبارة عن جائز مقطعه على شكل (I) أو ذو مقطع دائري أو غيره .
- تحوي النهاية الصغرى على ثقب صغير : لتأمين وصول الزيت إلى محور المكبس .
- تحوي النهاية الكبرى على قشرتين برونزيتين متشابهتين تماماً لنصفي النهاية الكبرى التي تحوي على أخدود : لتأمين وصول الزيت بينهما و بين الجذع المعقوف .
- غالباً ما يكون السطح الفاصل بين قطعتي النهاية الكبرى مائلاً : لتخفيف تأثير القوى المطبقة على براغي التثبيت .



الشكل 29.2 : جلب ذراع التوصيل .

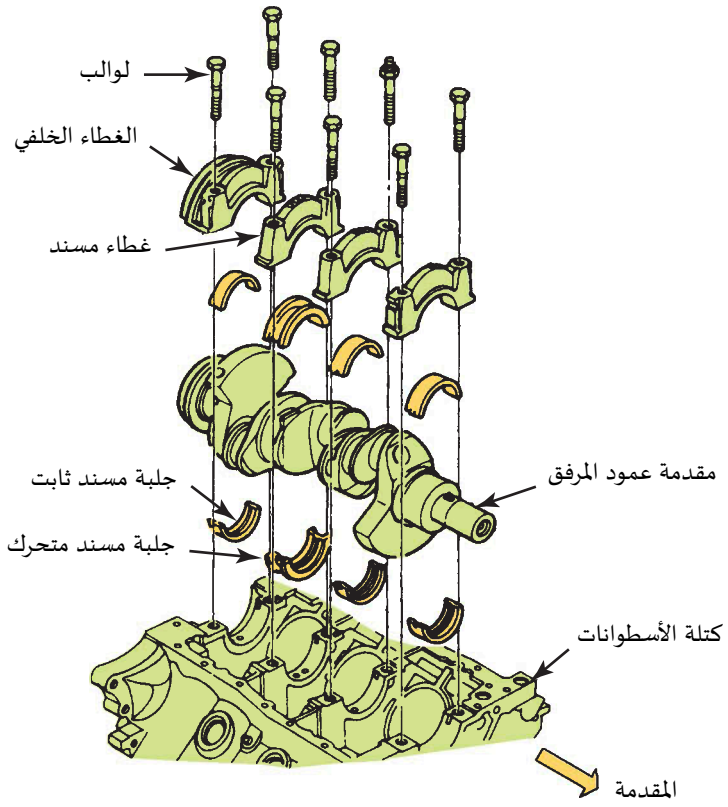
الجذع المعقوف (عمود المرفق)



الشكل 2.30 : عمود المرفق .

وظائف و مهام الجذع المعقوف :

1. يتلقى القوى من ذراع التوصيل خلال الشوط العامل و يحوّلها إلى عزم دوراني .
2. يؤمن حركة المكابس في الأشواط الأخرى المساعدة و كذلك عند إقلاع المحرك .
3. يؤمن تشغيل الأجهزة و الآليات الملحقة بالمحرك .



الشكل 2.31 : توضع عمود المرفق .

القوى المؤثرة على الجذع المعقوف :

1. قوى ضغط غازات الاحتراق .
2. قوى العطالة المتغيرة بالقيمة و الاتجاه الناتجة عن جملة المكبس و أذرع التوصيل .
3. قوى العطالة الناتجة عن الكتل الغير متوازنة للجذع المعقوف ذاته .
4. عزم مقاومة الدوان الناتج عن الحذافة و الأجهزة التي تستمد حركتها من الجذع المعقوف .

مكونات الجذع المعقوف :

1. مساند ثابتة : يرتكز عليها الجذع المعقوف .
2. مساند متحركة : يُركّب عليها النهايات الكبرى لأذرع التوصيل .
3. ساعد المرفق : يربط بين المساند الثابتة و المتحركة .

الأجهزة و الآليات التي تركّب على الجذع المعقوف :

- يركّب على الطرف الأمامي للجذع المعقوف : مسننات لتشغيل آلية التوقيت و المضخات .
- يركّب على الطرف الخلفي للجذع المعقوف : الحذافة و آلية نقل الحركة و الاستطاعة .

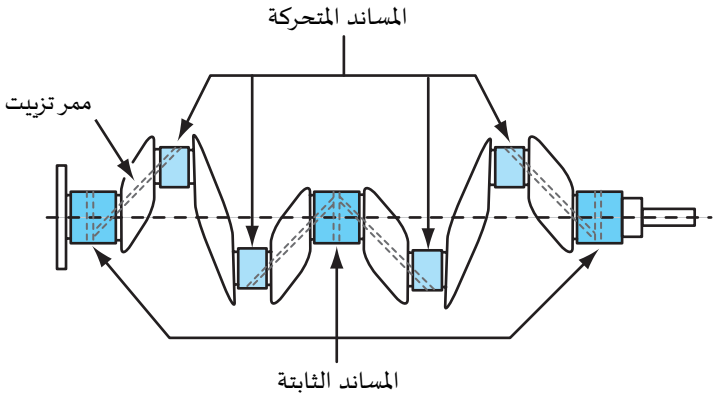
مواد تصنيع الجذع المعقوف :

- يصنع من الفولاذ المطروق المضاف إليه كروم (Cr) و نيكل (Ni) .
- أو يصنع من حديد الصب المسبوك .

الشكل 32.2 : عمود مرفق مصنوع من حديد الصب .

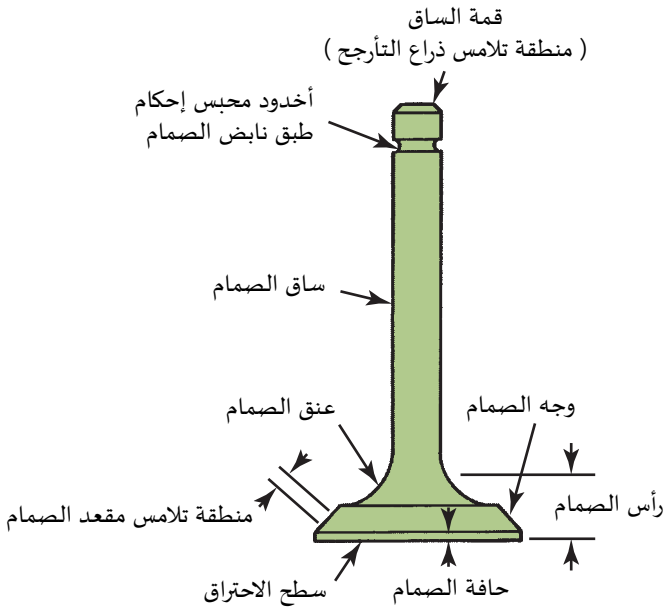
تصميم الجذع المعقوف :

- غالباً ما تكون المساند المتحركة جوفاء : لتخفيف قوى العطالة الناتجة عن الكتل الدوارة .
- يجهز القسم الأكبر من المرافق بأوزان معدلة : لموازنة قوى العطالة الناتجة عن الكتل الدوارة .



الشكل 33.2 : طريقة تزييت مساند عمود المرفق .

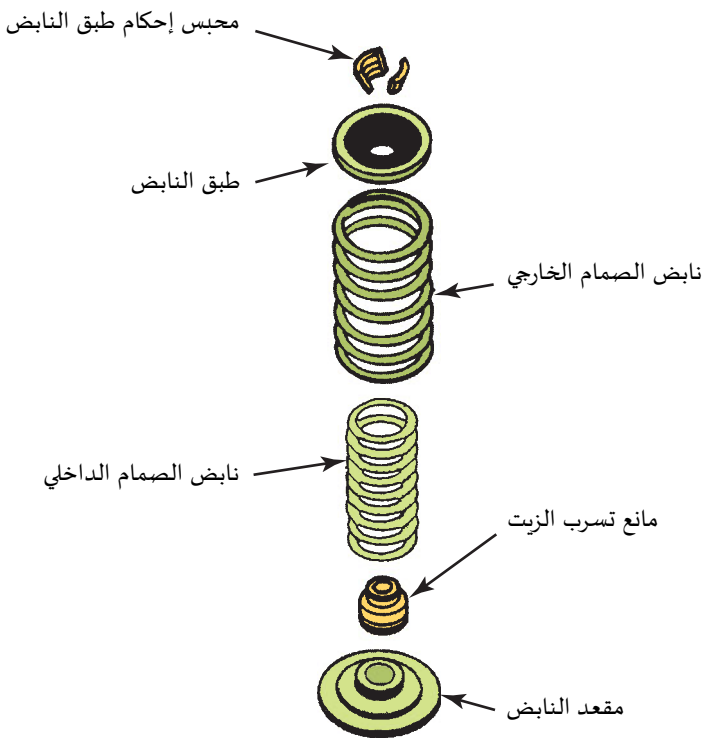
الصمّامات و آلية التوقيت



الشكل 2.34 : مكونات الصمام .

وظيفة الصمّامات (آلية توقيت الصمّامات) :

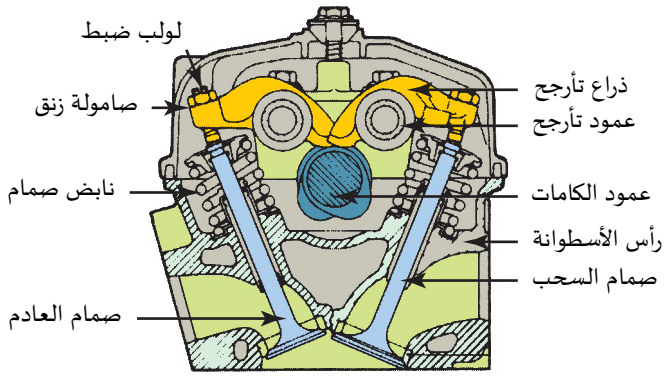
تتحكم بإدخال الشحنة الجديدة إلى حجرة الاحتراق و إخراج غازات الإفلات منها بواسطة عمود الكامات .



الشكل 2.35 : مكونات النابض .

القوى المؤثرة على الصمّامات :

1. قوى ضغط غازات الاحتراق .
2. الإجهادات الحرارية .
3. الحمولات الديناميكية الكبيرة أثناء رجوعها إلى مقراتها .

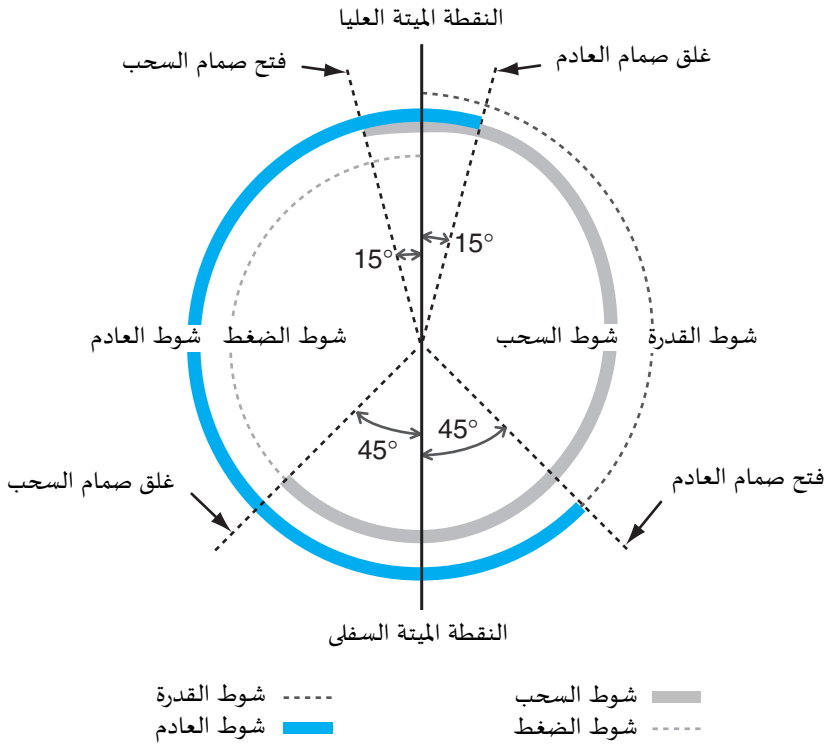


الشكل 2.36 : مكونات آلية التوقيت برأس الأسطوانة .

مواد تصنيع الصمّامات :

تصنع الصمّامات من الفولاذ الجيد المقاوم للحرارة و خاصة صمام الإفلات .

آلية توقيت الصمّامات :

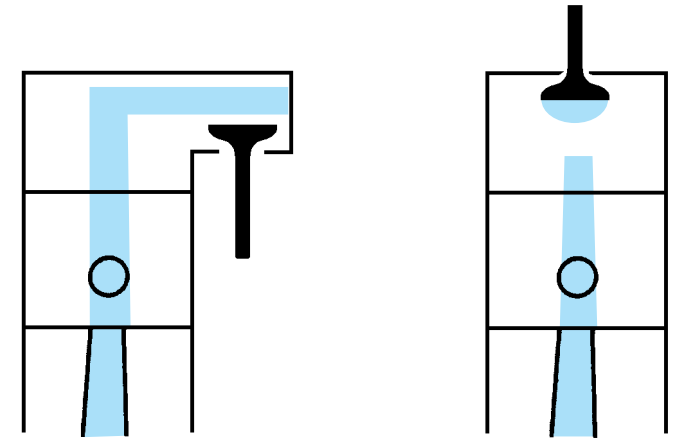


الشكل 2.37 : مخطط توقيت الصمامات .

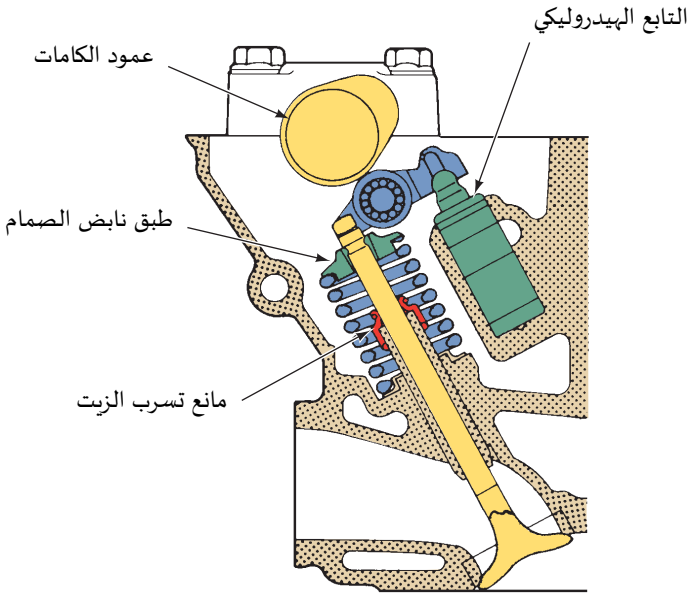
- بعد نهاية شـوط الامتصـاص يبقى صـمام الامتصـاص مفتوحاً بعد (ن م س) : للاسـتفادة من ضـغط التخلخل الحاصـل في بداية شـوط الانضغاط من أجل إدخال كمية إضافية من الشحنة الجديدة إلى الأسطوانة .
- قبل بداية شوط الإفلات يفتح صمام الإفلات قبل (ن م س) : للاستفادة من ضغط غازات الاحتراق في نهاية شوط الاحتراق و التمدّد من أجل تسهيل خروج الغازات أثناء شوط الإفلات و تقليل مقاومة الغازات لحركة المكبس أثناء صعوده .
- قبل بداية شوط الامتصاص يفتح صمام الامتصاص قبل (ن م ع) : للسماح للشحنة الجديدة بطرد غازت الاحتراق .
- يبقى كلا صمامي الامتصاص و الإفلات مفتوحين خلال فترة نهاية شوط الإفلات و بداية شوط الامتصاص (فترة تطابق الصمّامات) : لتسهيل خروج غازات الاحتراق المتبقية من الأسطوانة .

الأنواع الرئيسية لآلية الصمّامات :

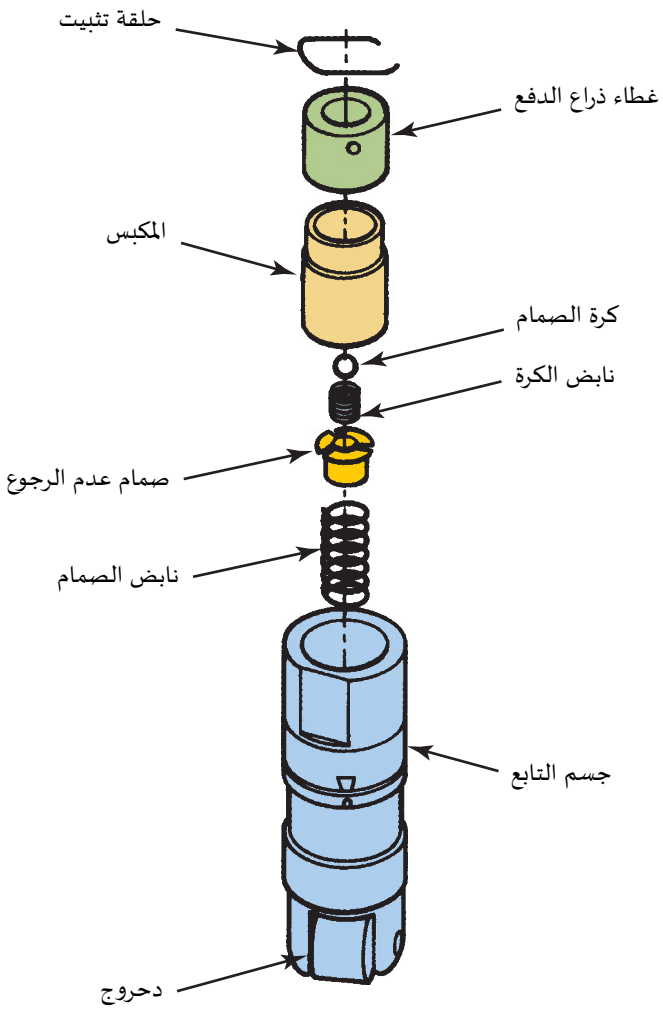
1. آلية توقيت بصمّامات علوية .
2. آلية توقيت بصمّامات جانبية .



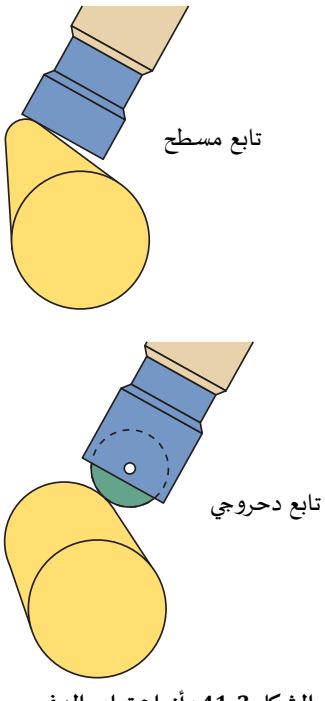
الشكل 2.38 : أنواع آليات التوقيت .



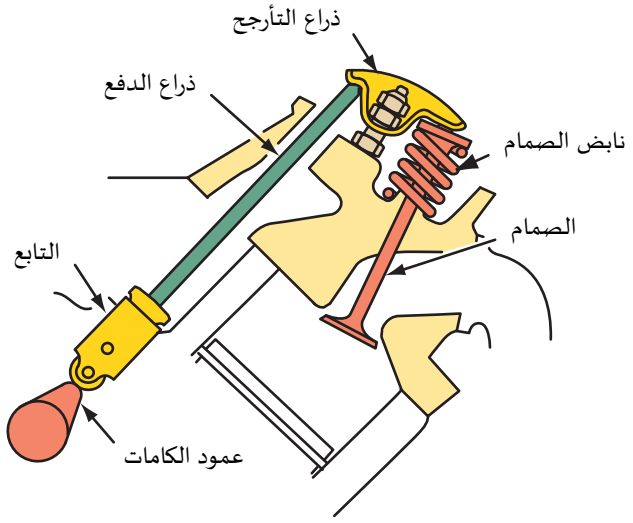
الشكل 2.39 : آلية توقيت بتابع هيدروليكي .



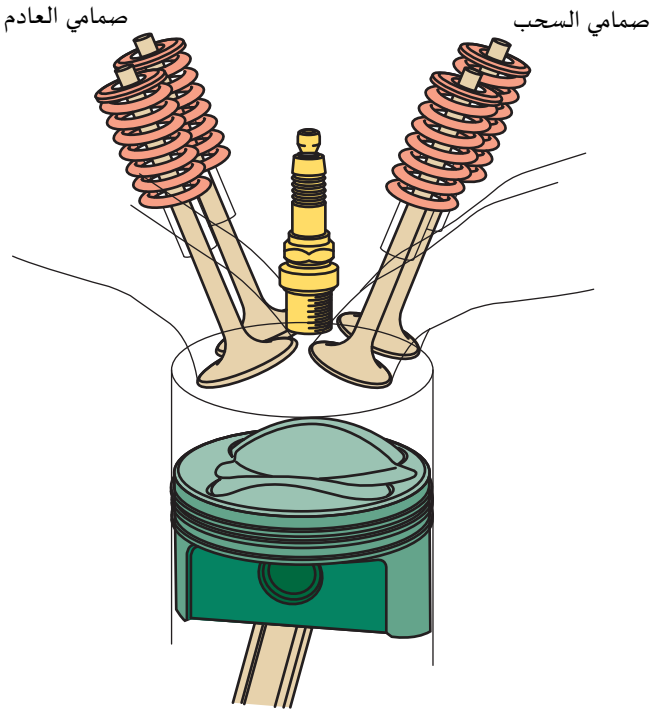
الشكل 2.40 : التابع الهيدروليكي .



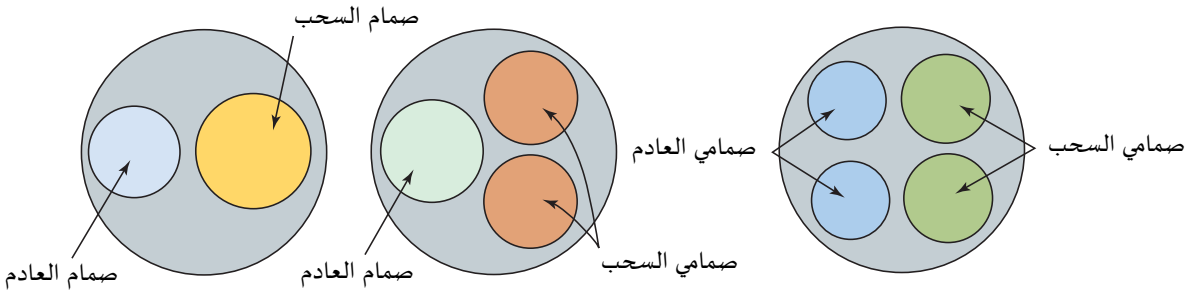
الشكل 2.41 : أنواع توابع الدفع .



الشكل 2.42 : آلية توقيت بتابع دحروجي .



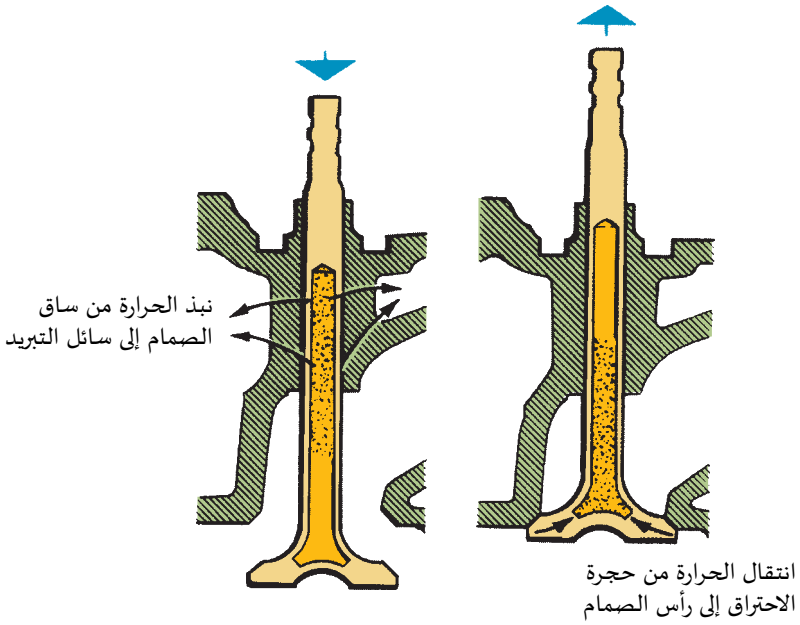
الشكل 2.43 : توزيع الصمامات .



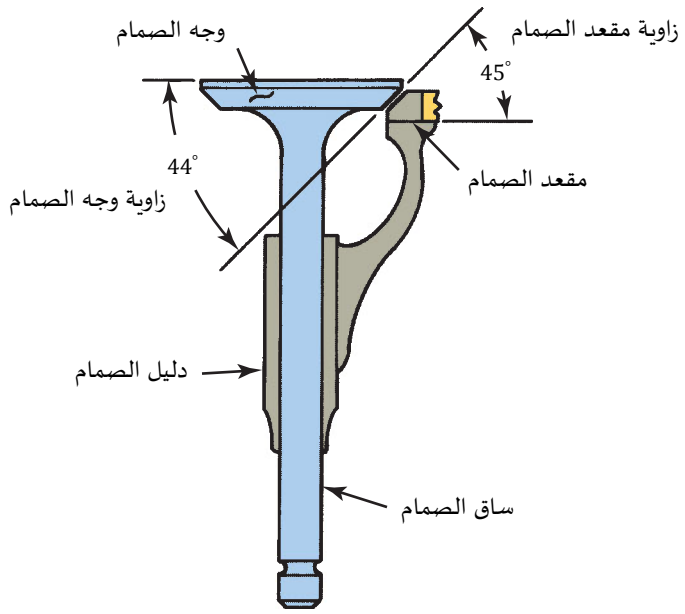
الشكل 2.44 : الأنواع المختلفة لعدد الصمامات المستخدمة برأس الأسطوانة الواحدة .

تصميم الصمّامات :

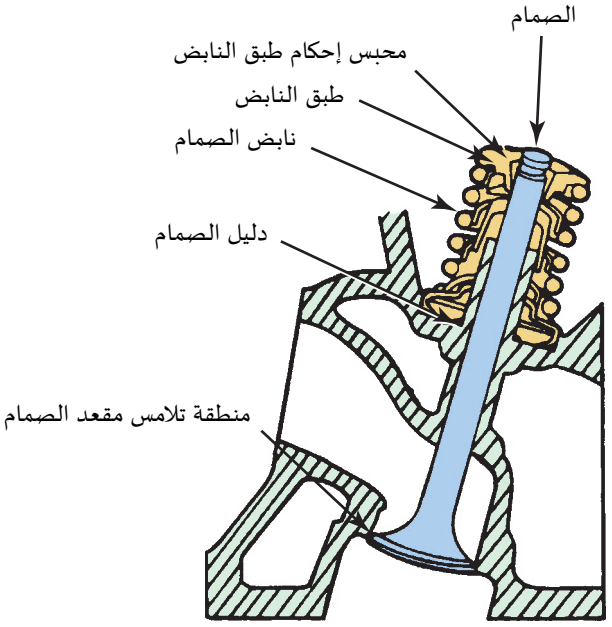
- أشهر أنواع الصمّامات : الصمام الذي يشبه شكل الفطر .
- تستعمل عملية الموالفة و التنعيم للصمام : ليحصل الالتصاق الكامل بين سطح التجليخ و مقعد الصمام .
- يمر ذراع الصمام عبر حلقة برونزية : كي تستخدم هذه الحلقة كدليل للصمام أثناء حركته الترددية .
- يعمل النابض المستند على رأس الأسطوانة من الأسفل و على الطوق من الأعلى : لبقاء الصمام مغلقاً .
- يثبت الطوق العلوي للصمام بواسطة المحبس الذي يدخل في تجويف موجود في قمة ذراع الصمام من الأعلى : ليمنع الصمام من الهبوط .
- تصنع الصمّامات جوفاء في محركات الديزل بحيث يملأ (75 %) من الفراغ بأملاح الصوديوم القابلة للانصهار بدرجة حرارة (90 °C) : ليقوم السائل المصهور بنقل الحرارة من رأس الصمام إلى الذراع أثناء حركة الصمام الترددية و بالتالي حصول تجانس حراري في الصمام بكامله .



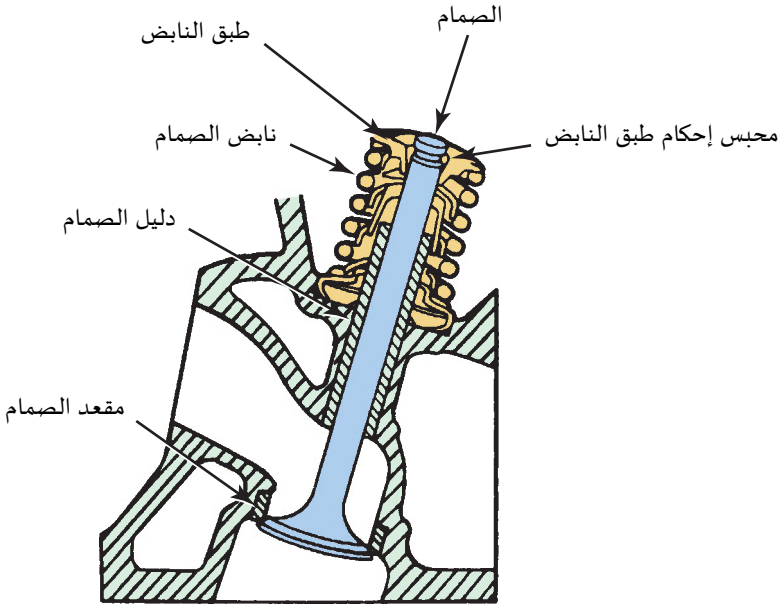
الشكل 45.2 : صمامات جوفاء فيها الصوديوم المعدني .



الشكل 46.2 : زاوية تداخل الصمام بمقعده .



قاعدة و دليل الصمام متكاملة السبك مع رأس الأسطوانة



قاعدة و دليل الصمام جلب منفصلة عن رأس الأسطوانة

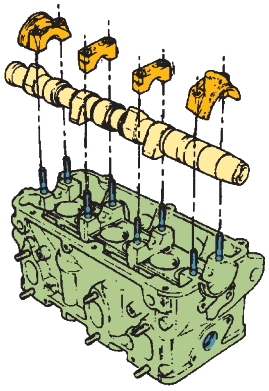
الشكل 47.2 : أنواع دلائل و قواعد الصمامات .

عمود الكامات (محور الحدبات)

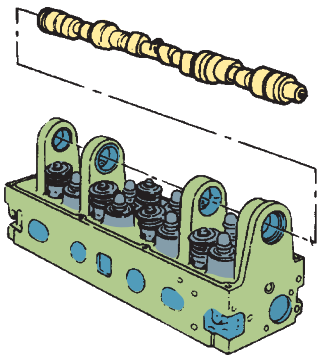
الشكل 2.48 : عمودين كامات لمحرك رباعي الأشواط .

وظيفة عمود الكامات :

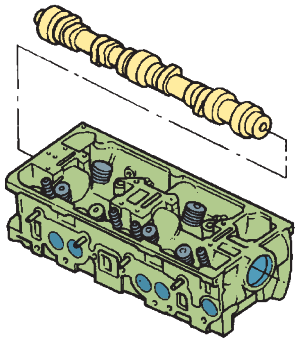
يقوم بفتح و إغلاق صمّامات الامتصاص و الإفلات بشكل متزامن مع موضع المكبس و دورة الجذع المعقوف .



(أ) بواسطة أغطية مساند ارتكاز عمود الكامات



(ب) من خلال مساند برجية بأعلى رأس الأسطوانات

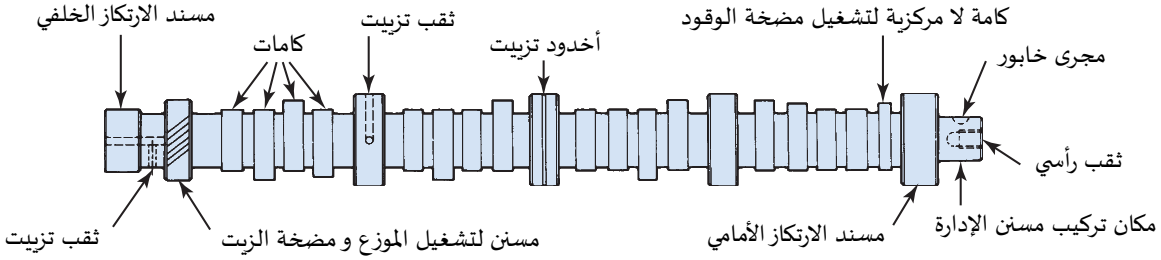


(ج) عن طريق مساند داخلية ضمن رأس الأسطوانات

الشكل 2.49 : طرق تثبيت عمود الكامات .

مكونات عمود الكامات :

1. مساند ارتكاز : ليرتكز من خلالها عمود الكامات على رؤوس الأسطوانات .
2. حدبات : تتحكم بفتح و إغلاق صمّامات الامتصاص والإفلات ، بالإضافة إلى تشغيل مضخة الوقود عن طريق حدبة خاصة .
3. مسننات : منها لنقل الحركة من الجذع المعقوف إلى عمود الكامات ، بالإضافة إلى مسنن لتشغيل مضخة الزيت .



الشكل 2.50 : المكونات الرئيسية لعمود الكامات .

نسبة تخفيض سرعة عمود الكامات :

يدور عمود الكامات دورة عندما يدور الجذع المعقوف دورتين و ذلك في المحركات رباعية الأشواط .

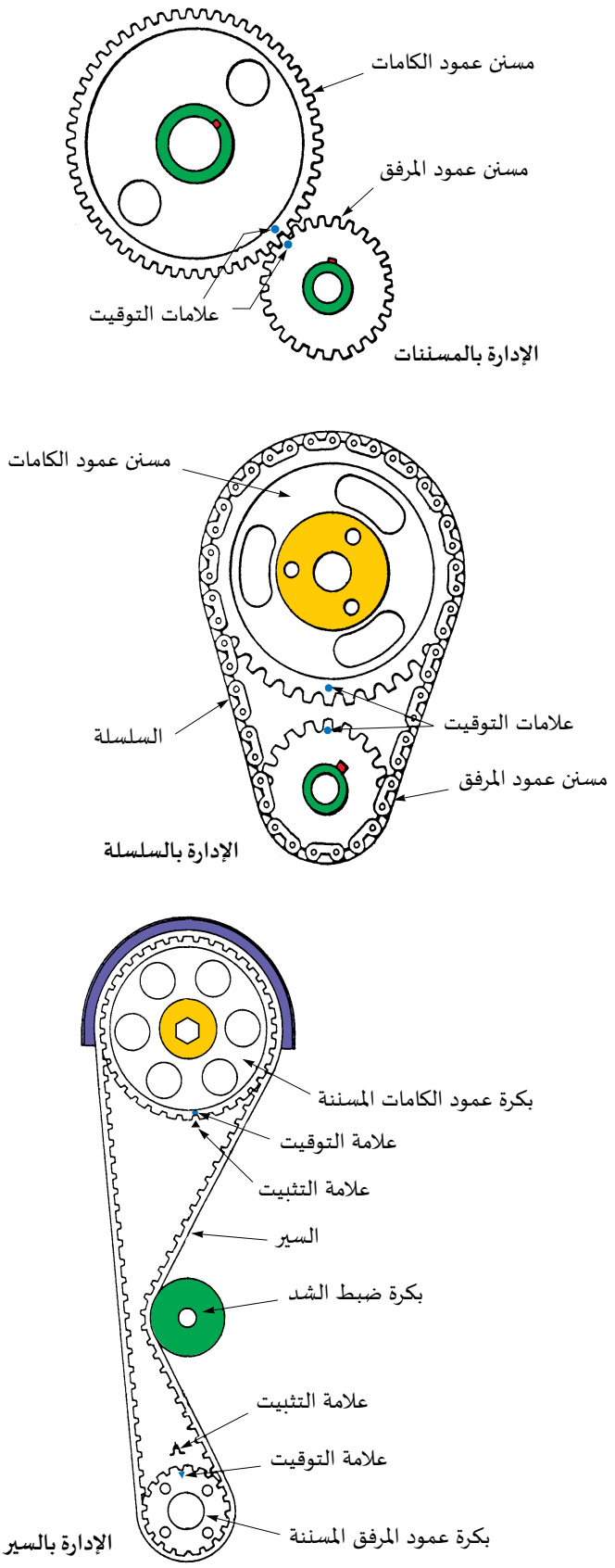
مواد تصنيع عمود الكامات :

- يصنع من الفولاذ الجيد بالطرق و المقسى في بعض الأحيان .
- أو يصنع من حديد الصب الخاص .

الشكل 2.51 : عمود كامات مصنوع من الفولاذ المطروق .

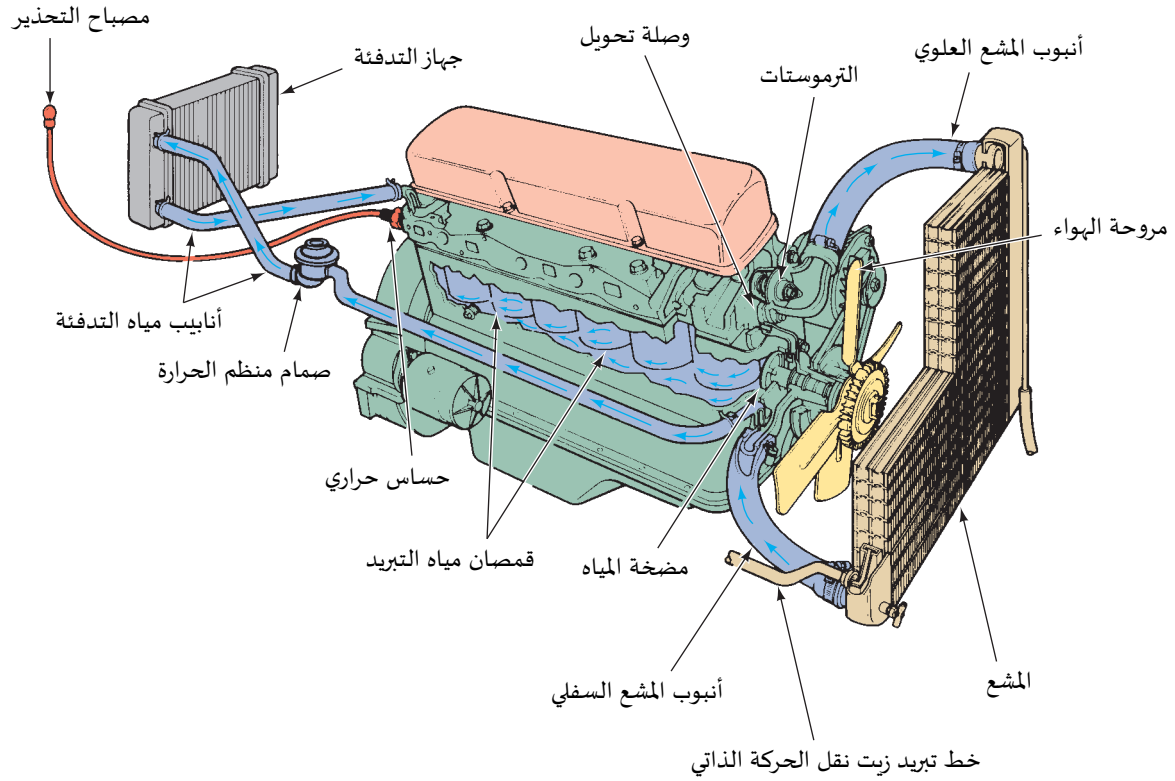
طرق إدارة عمود الكامات :

1. الإدارة بالمسننات .
2. الإدارة بالسلسلة .
3. الإدارة بالسير .



الشكل 2. 52 : طرق إدارة عمود الكامات .

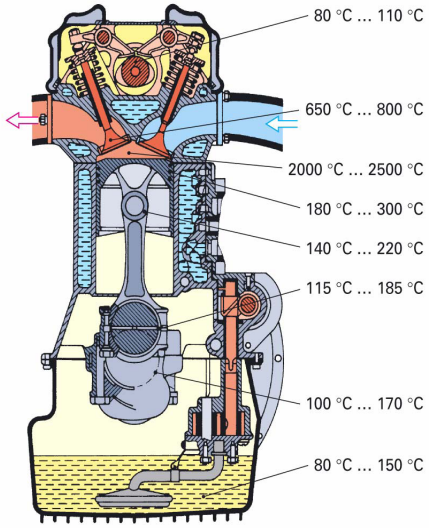
نظام التبريد (جهاز التبريد)



الشكل 2 .53 : مكونات نظام التبريد المثالية بالمياه .

النتائج التي تسببها الارتفاع الزائد في درجات حرارة المحرك :

1. تآكل القطع و تشوهها الناتج عن التمدد الغير متساوي للمعادن المختلفة .
2. عطل شمعات الاحتراق أو حواقن الوقود .
3. الاحتراق الغير طبيعي الناتج عن البقع الساخنة على سطوح حجرات الاحتراق .



الشكل 2 .54 : توزع درجات الحرارة أثناء عمل المحرك .

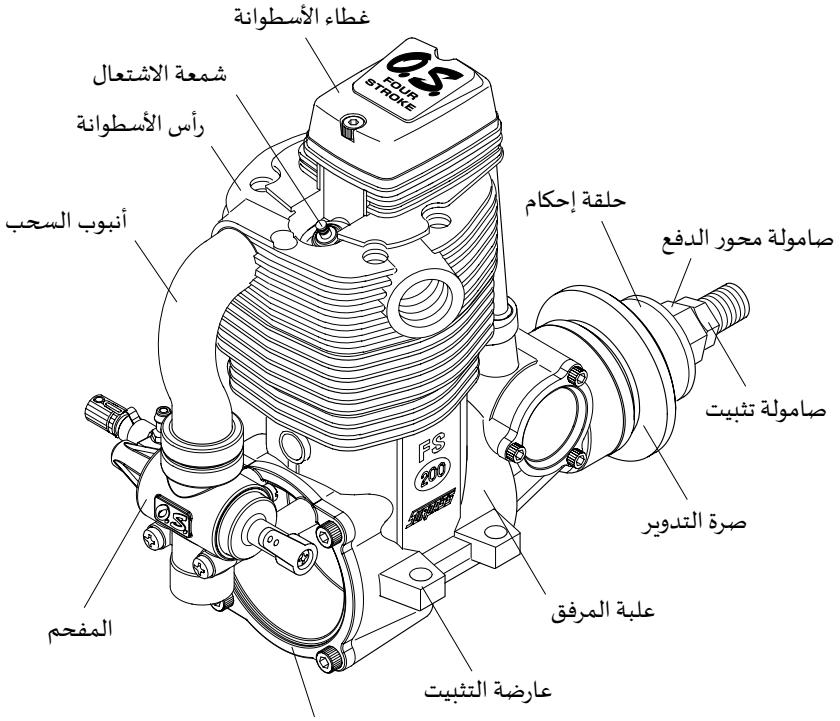
وظيفة نظام التبريد :

تنظيم درجات حرارة المحرك و منع حدوث الإجهادات الحرارية لتحسين شروط عمل المحرك .

أنظمة التبريد :

1. التبريد بالماء .
2. التبريد بالهواء .

نظام التبريد بالهواء :



الشكل 2 .55 : محرك مبرد بالهواء .

آلية عمل نظام التبريد بالهواء :

يتم التبريد بالماء بواسطة تيار هوائي يتم تأمينه عن طريقة مروحة توجّه الهواء بواسطة مجاري خاصة إلى سطوح رؤوس الأسطوانات و التي تزود عادة بزعانف طويلة لزيادة سطح التبادل الحراري .

مزايا نظام التبريد بالهواء :

1. بساطته الناتجة عن إلغاء المشع و قمصان و مجاري الماء مما يقلل من وزن المحرك .
2. عدم حدوث التجمد و الغليان الذي يحدث عادة في نظام التبريد بالماء .

مساوئ نظام التبريد بالهواء :

انخفاض الحرارة النوعية للهواء مما يؤدي إلى ضرورة زيادة كمية الهواء اللازمة لتأمين التبريد بشكل فعال و بالتالي زيادة الاستطاعة اللازمة للمروحة التي تزيد بكثير من الاستطاعة اللازمة لنظام التبريد بالماء .

استخدامات نظام التبريد بالهواء :

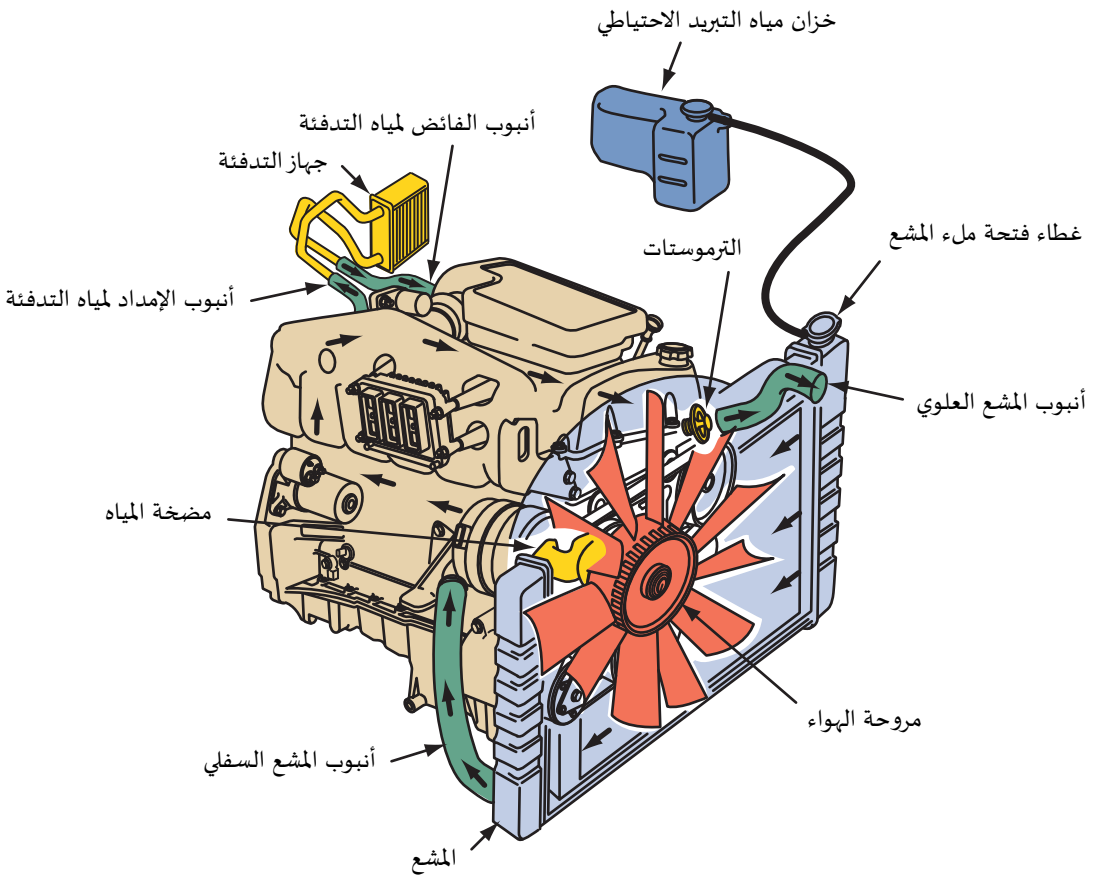
يستخدم في المحركات الصغيرة و في الدرجات النارية .

نظام التبريد بالهواء غير متجانس :

لأن تبريد المحرك بالهواء يتعلق بـ :

1. درجة حرارة الهواء الخارجي .
2. الارتفاع عن سطح البحر .
3. سرعة المركبة .

نظام التبريد بالماء :



الشكل 2. 56 : محرك ذي تبريد مختلط .

آلية عمل نظام التبريد بالماء :

يتم سحب الحرارة الزائدة من المحرك بواسطة تمرير الماء عبر تجاويف القميص المائي الذي يحيط بالأسطوانة .

دارات نظام التبريد بالماء :

1. دارة التبريد المفتوحة .
2. دارة التبريد المغلقة .

دارة التبريد المفتوحة :

تعتمد على إلقاء المياه الساخنة خارج المحرك و استبدالها بمياه باردة جديدة من أحد مصادر المياه .

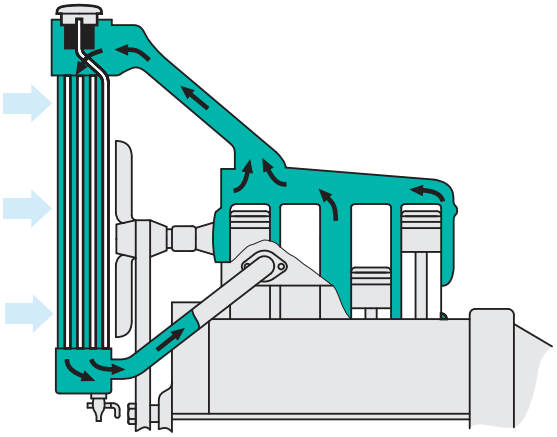
دارة التبريد المغلقة :

يوجد ثلاثة طرق للتبريد في الدارة المغلقة ، هي :

1. التبريد بالثقالة .
2. التبريد القسري .
3. التبريد المختلط .

- **نظام التبريد بالثقالة :**

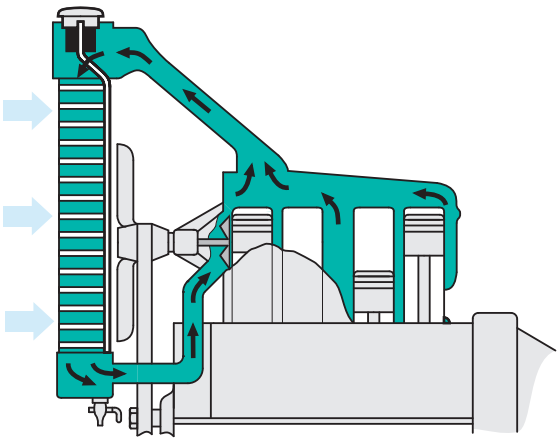
يعتمد هذا النظام على فرق الكثافة بين الماء الساخن و البارد أثناء جريان الماء ، و يتميز بباسطة التصميم و التحكم الذاتي بدوران الماء ، و يستخدم في المحركات الصغيرة . ففي بداية تشغيل المحرك لا يحدث أي تغير على الماء ، و عندما تبدأ درجة حرارة المحرك بالارتفاع يبدأ الماء بالجريان بسبب ازدياد الفرق في كثافة الماء ، فيرتفع الماء الساخن ذو الكثافة الأقل من القميص المائي صاعداً إلى المجمع العلوي للمشع عبر أنبوب ، وفي المشع يتم تبريد الماء الساخن فتزداد كثافته ويهبط نحو الأسفل عبر الأنبوب السفلي ليعود ثانية إلى القميص المائي .



الشكل 2. 57 : جريان المياه في محرك ذي تبريد بالثقالة .

- **نظام التبريد القسري :**

يعتمد هذا النظام على تدوير الماء بمساعدة مضخة . ففي بداية تشغيل المحرك تبدأ المضخة بدفع الماء البارد الآتي من المشع إلى القميص المائي ، ثم يسخن الماء في القميص ليعود ثانية إلى المشع عن طريق الأنبوب العلوي حيث يتم تبريده بواسطة تيار الهواء التي تؤمنه المروحة . و مكونات هذا النظام : قميص الماء و مشع و مضخة التدوير و مروحة و منظم درجة الحرارة .



الشكل 2. 58 : جريان المياه في محرك ذي تبريد قسري عن طريق مضخة .

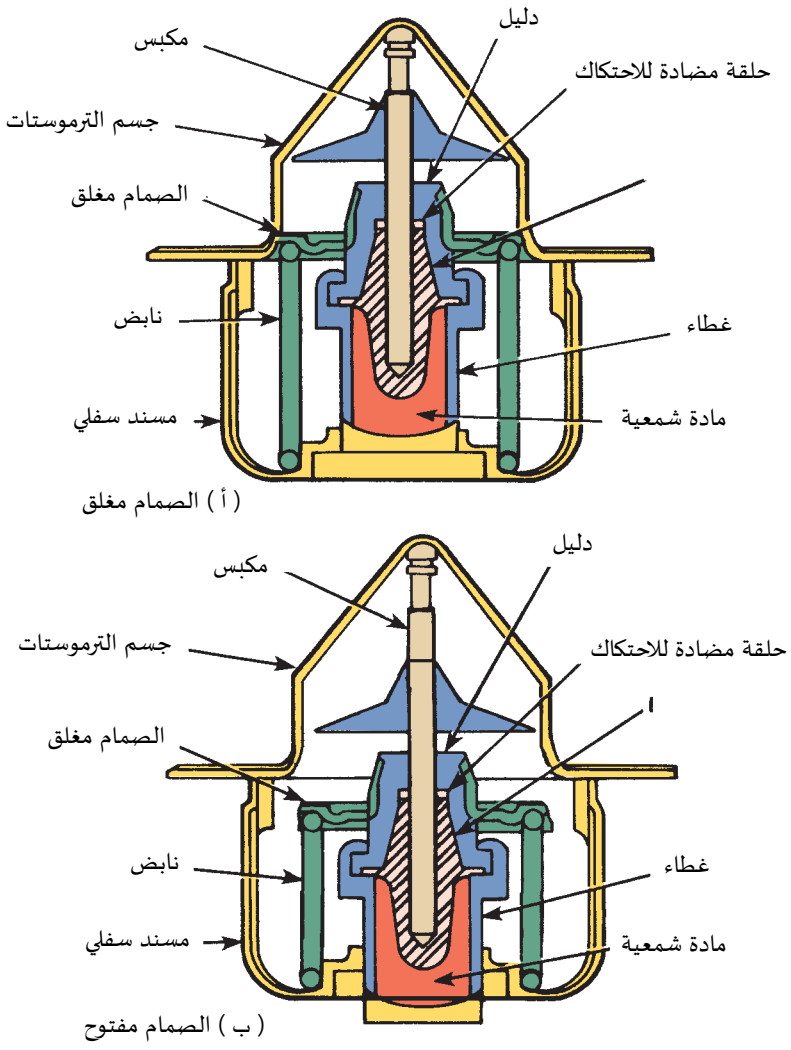
- **نظام التبريد المختلط :**

يربط هذا النظام بين نظامي التبريد القسري و الثقلي ، فهو يعتمد على استخدام مضخة بالإضافة على اعتماده فرق الكثافة بين الماء الساخن و البارد و ذلك لتأمين أفضل جريان مطلوب للماء .

ملاحظات :

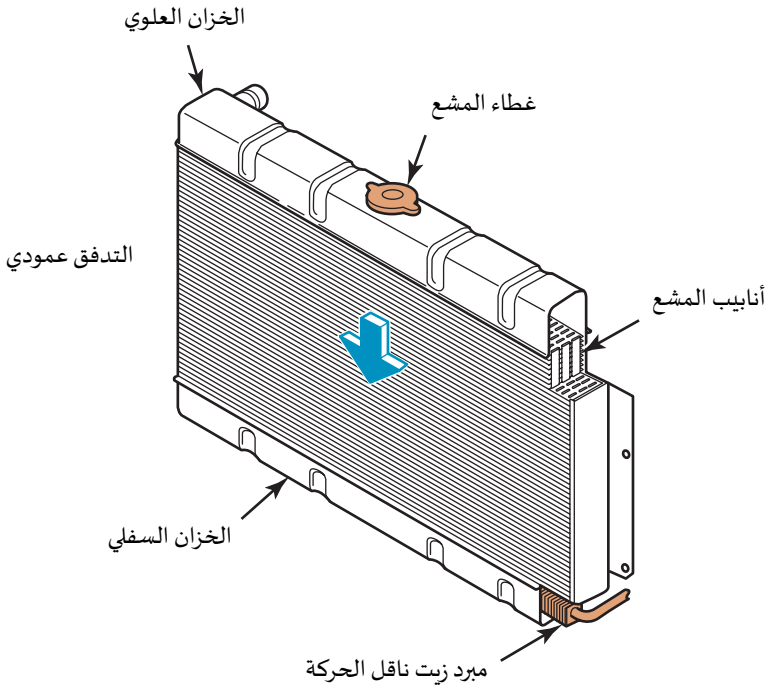
- يجب أن لا تتجاوز درجة حرارة السطوح الخارجية للأسطوانة (120 °C) تقريباً بعد سحبها عبر وسيط التبريد : حتى يكون مردود المحرك مرضياً و يبقى على الخواص التزيتية لزيت التزييت .
- يجب المحافظة في أنظمة التبريد بالماء على درجات حرارة ثابتة بحدود (80 – 90 °C) .
- **يوجد بمنظمات درجات الحرارة في نظام التبريد صمامين هما :**

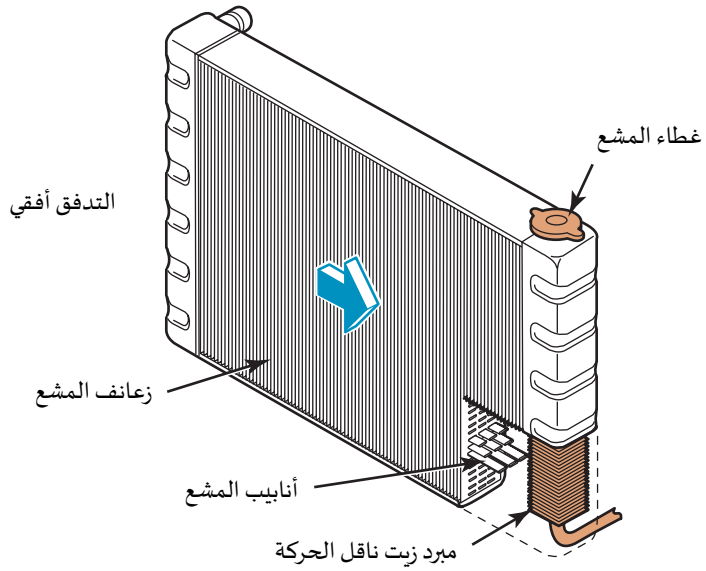
1. صمام علوي (الصمام الرئيسي) :
   - عندما تكون درجة حرارة الماء منخفضة : ينغلق الصمام ليمنع مرور الماء في الدارة الكبيرة .
   - أمّا عندما ترتفع درجة حرارة الماء : ينفتح الصمام ليسمح بمرور الماء في الدارة الكبيرة .
2. صمام سفلي (الصمام المساعد) :
   - عندما تكون درجة حرارة الماء منخفضة : ينفتح الصمام ليسمح بمرور الماء في الدارة الصغيرة .
   - أمّا عندما ترتفع درجة حرارة الماء : ينغلق الصمام ليمنع مرور الماء في الدارة الصغيرة .



الشكل 59. 2 : طريقة عمل الترموستات .

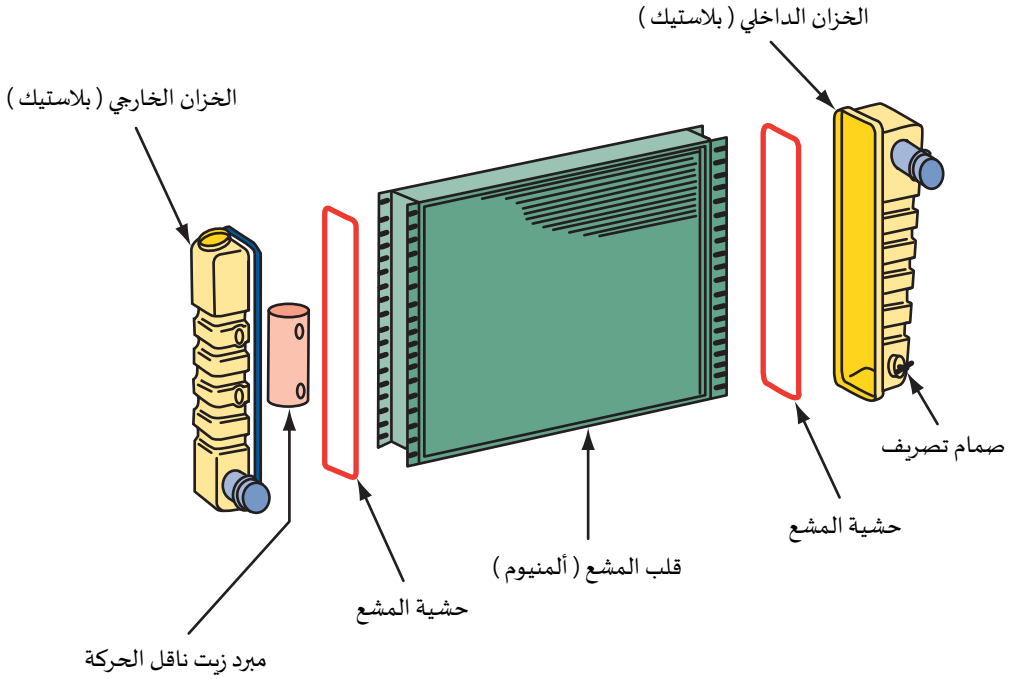
المشع :



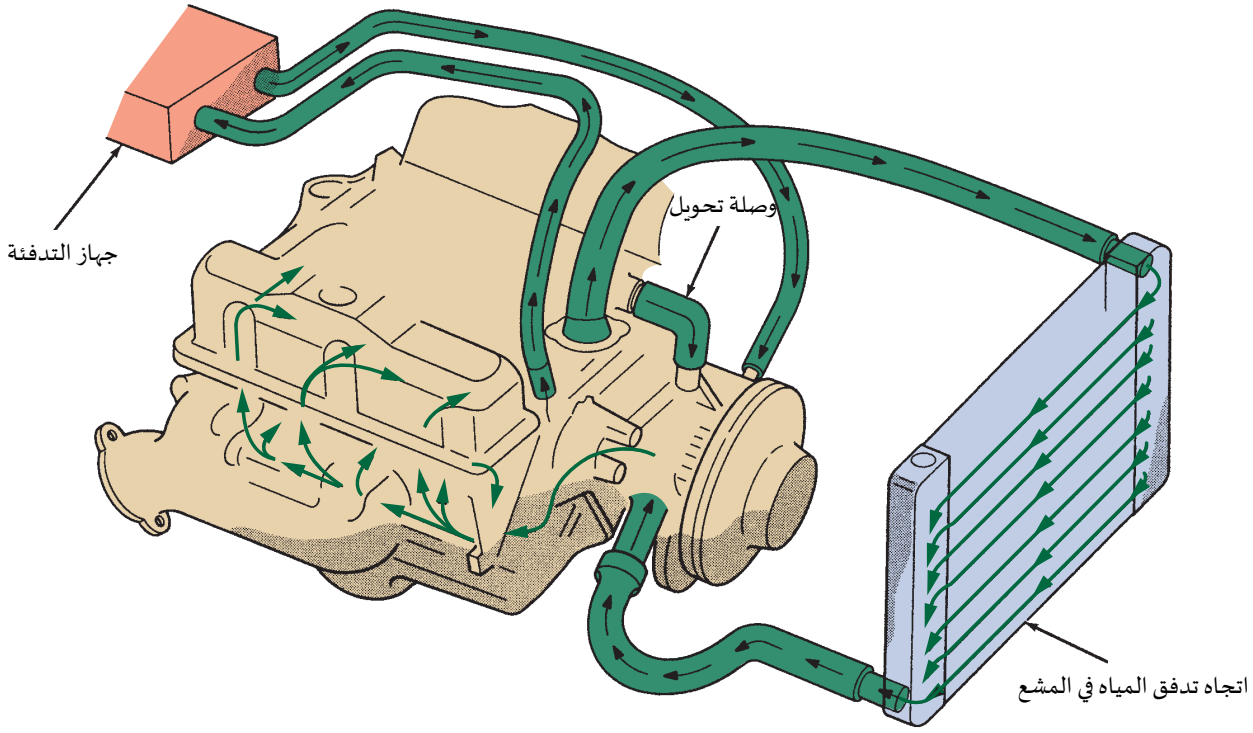


الشكل 60.2 : أنواع المشعات .

- وظيفة المشع : ينقل الحرارة من سائل التبريد إلى الوسط الخارجي .
- مكونات المشع : مجمع علوي و مجمع سفلي و قلب .
- يتألف القلب من مجموعة أنابيب أو أقنيه : لتصل بين المجمعين العلوي و السفلي ، و تساعد على نقل الحرارة من الماء إلى تيار الهواء الذي تؤمنه المروحة .
- تزوّد أنابيب المشع على طولها بمجوعة صفائح عرضية رقيقة أو يستعاض عن ذلك باستخدام أنابيب تحتوي على زعانف متعدّدة الأشكال : لزيادة سطح التبادل الحراري .

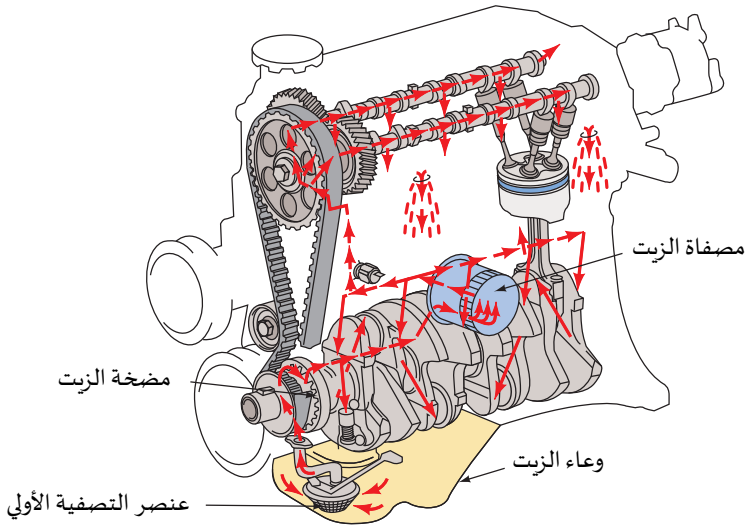


الشكل 61.2 : مكونات مشع (التدفق عرضي) .



الشكل 62.2 : جريان المياه في مشع (التدفق عرضي) .

نظام التزييت (جهاز التزييت)



الشكل 2. 63 : تدفق الزيت في منظومة تزييت مثالية .

أنواع الاحتكاك :

1. احتكاك جاف : تكون السطوح المتحاكة جافة تماماً .
2. احتكاك رطب : توجد طبقة من الزيت بين السطوح المتحاكة .

مساوئ الاحتكاك الجاف :

1. يؤدي إلى تخريب جزئي لسطوح التماس للقطع و تآكلها و اهترائها السريع .
2. زيادة الاستطاعة الضائعة على مقاومة الاحتكاك و الارتفاع الكبير في درجات الحرارة .

مزايا الاحتكاك الرطب :

1. يقلل من الاستطاعة الضائعة على مقاومات الاحتكاك .
2. يقلل من التآكل و الاهتراء .
3. يحمي المحرك من الصدأ .
4. يمتص الحرارة المتولدة عن الاحتكاك .

طرق التزييت :

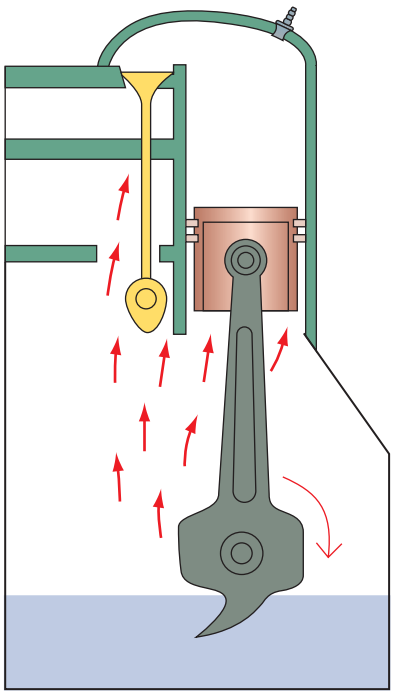
1. التزييت بالرشم .
2. التزييت بدارة مغلقة .
3. التزييت المختلط .

طريقة التزييت بالرشم :

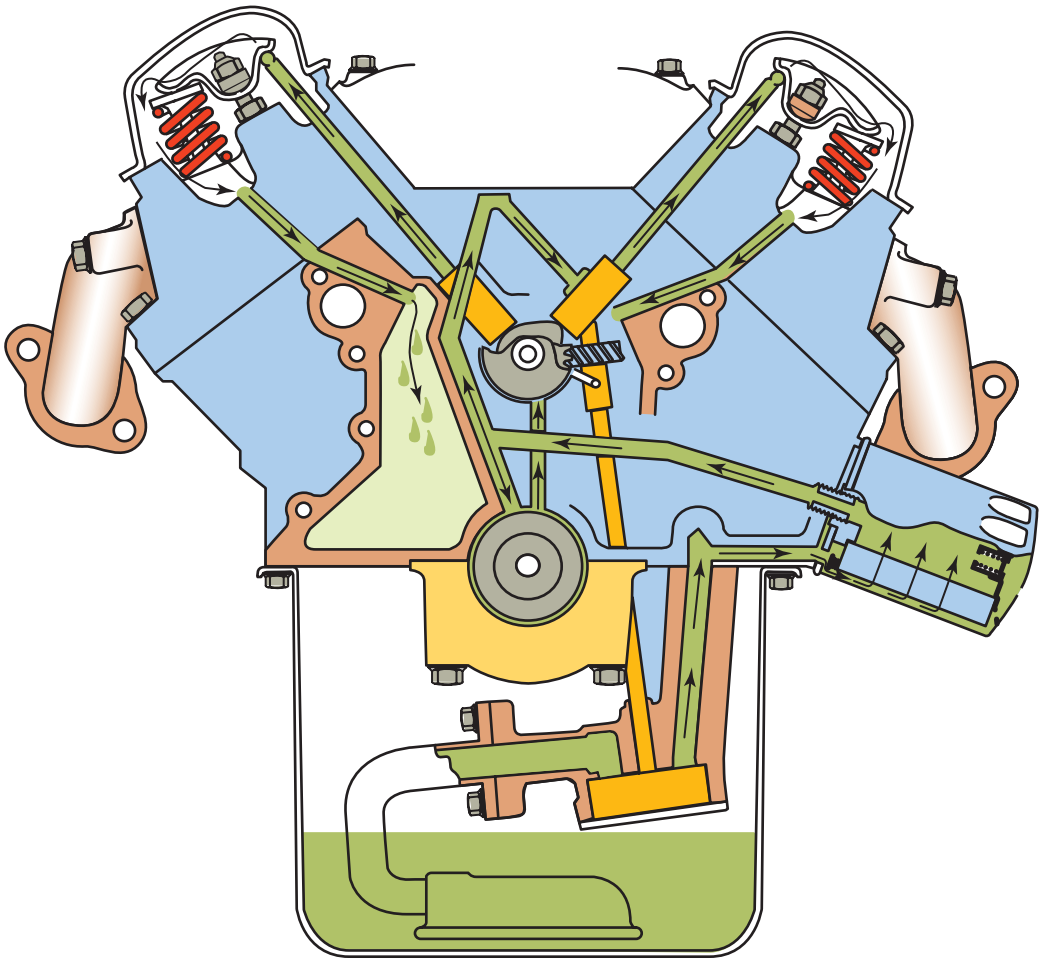
تستخدم هذه الطريقة في محركات البنزين الصغيرة . حيث يملأ حوض الزيت بمستوى معين من الزيت ، و عند تحرك الجذع المعقوف تتطاير قطرات الزيت نتيجة لاصطدام المرافق و النهايات الكبرى لأذرع التوصيل بالزيت في الحوض فيصل بذلك إلى المضاجع و الأجزاء المراد تزييتها .

طريقة التزييت بدارة مغلقة :

لا تستخدم هذه الطريقة لوحدها في المحركات و إنما برفقة طريقة الرشم . حيث يتم توصيل الزيت عن طريق أقنية و مجاري خاصة ضمن دارة مغلقة ، و يتوزع الزيت من قناة رئيسية إلى مختلف أجزاء المحرك المراد تزييتها .



الشكل 2. 64 : طريقة التزييت بالرشم .



الشكل 2. 65 : طريقة التزييت بدارة مغلقة .

طريقة التزييت المختلط :

يتم في هذه الطريقة تزييت بعض القطع بتوصيل الزيت ضمن قنوات خاصة تحت ضغط بمساعدة مضخة للزيت ، أمّا الأجزاء الباقية فيتم تزييتها بالرشم .

ملاحظات :

- وجود الأقنية في الجذع المعقوف : لينتقل الزيت عبرها من المضاجع الثابتة إلى المضاجع المتحركة .
- تحتوي النهاية الكبرى لذراع التوصيل على ثقب خاص : لأنه عندما ينطبق هذا الثقب مع القناة المحفورة في الذراع ينتج عن ذلك نافورة من الزيت تعمل على تزييت الجدران الداخلية للأسطوانة .
- تبريد الزيت : يتم بواسطة مشع (مبرّد) الزيت الذي يوضع عادة أمام مشع نظام التبريد و يربط على التوازي (التفرّع) مع المجرى العام للزيت .
- يحوي مشع الزيت على صنبور : لإغلاقه عند عمل المحرك في ظروف الجو البارد ، و على صمام أمان : لتصريف الزيت الفائض و إعادته إلى حوض الزيت .

انتهى الفصل