الفصل السادس

الاحتراق وأنـــواع الوقـــود وأنـــواع غـــرف الاحتراق
Combustion, Fuel Types And Combustion Chambers

الفصل السادس
Chapter 6

الاحتراق وأنواع الوقود وأنواع غرف الاحتراق
Combustion, Fuel Types And Combustion Chambers

❖ 6.1 المقدمة Introduction

يعتمد تحرير الطاقة داخل المحرك ومن ثم القدرة التي ينتجها على قابليته على حرق الوقود بصورة تامة. أن الحرق التام للوقود يعتمد على عدة عوامل منها كمية الهواء المتوفرة لعملية الاحتراق وطريقة خلط الوقود مع الهواء داخل المحرك فضلاً عن نوع الوقود وقابليته على تفتيت ونسبة الانضغاط التي تحدد الحرارة في نهاية شوط الضغط. إن لنوع الوقود تأثيراً كبيراً على سرعة الاحتراق وعلى فترة احتراقه فضلاً عن كمية الطاقة التي يحررها. فكلما زادت جودة الوقود كلما تحسن إداء المحرك وقلت المشاكل التي يعانيها من رداءته. ومن المشاكل الأخرى التي يعاني منها المحرك هي الاحتراق المتسلسل للوقود وتجميع الكاربون داخل غرفة الاحتراق. ومن أهم الأسباب الرئيسية للاحتراق المتسلسل هو نوع الوقود. إن عدم احتراق الوقود بصورة تامة يسبب زيادة حجم السخام soot الذي ينتجه المحرك فضلاً عن أول أوكسيد الكاربون وكلاهما يؤديان الى تلوث البيئة. في هذا الفصل سوف نتطرق الى أنواع الاحتراق والعوامل المؤثرة على هذه الانواع وكيفية تحسينها فضلاً عن أنواع الوقود وموصفاتها الكيميائية وأنواع غرف الاحتراق.

❖ 6.2 أنواع الاحتراق Combustion types

تختلف محركات البترين spark ignition engine (SI) عن محركات الديزل compression ignition engine (CI) بطريقة حرق الوقود. ففي النوع الاول من المحركات يتم حرق الوقود بالشرارة بينما في النوع الثاني بطريقة الضغط. كما أنهما يختلفان بنوع الاحتراق ففي محركات الاحتراق بالشرارة يتم الاحتراق بثبوت الحجم إلا أنه في الحقيقة ليس كذلك لأن الحجم لا يثبت 100% والسبب في ذلك هو عدم توفر شروط الاحتراق التام ومنها عدم كفاية الهواء ومن ثم الاوكسجين وعدم احتراق

الوقود بسرعة عالية بسبب ربما رداءة نوعيته. أما في محركات الاحتراق بالضغط فأن الاحتراق يتم بثبوت الضغط وتغيير الحجم وهذا يحدث في الحالة المثالية فقط إلا أن ذلك لا يحدث أطلاقاً لأن الضغط لا يبقى ثابتاً 100% أذ يحدث ارتفاع بسيط فيه عند نهاية الاحتراق كما وضح سابقاً. كما يختلف النوعان من المحركات بأسلوب حرق الوقود ففي محركات الاحتراق بالشرارة يخلط وقود البترين مع الهواء مسبقاً قبل الاحتراق لهذا يطلق عليه باحتراق الخليط المسبق (Pre-mixed flame) اما في حالة الديزل فيتم حرق الوقود عن طريق أنتشاره بالهواء الساخن جداً. أذ يحقن الوقود بواسطة الحاقنات أو (البخاخات) بشكل رذاذ فيتغلل داخل الهواء الساخن لهذا يطلق عليه الاحتراق بالانتشار (diffusion flame).

وللحصول على احتراق تام في حالة محركات الاحتراق بالشرارة يجب أن تكون نسبة خلط الهواء إلى البترين نسبة صحيحة أو قريبة منها وهذه النسبة يطلق عليها(stoichiometric mixture) أو النسبة الصحيحة كيميائياً (chemically correct mixture). في هذا النوع من الاحتراق يتحرك اللهب بشكل جبهة باتجاه المواد المتفاعلة وفية تنفصل المواد المحروقة عن المواد غير المحروقة. أما في حالة الاحتراق بالانتشار (diffusion flame) يتم الاحتراق عند خط تلامس الوقود مع الهواء وتنتشر المواد المحروقة داخل الهواء وبالعكس. يعتمد معدل سرعة الاحتراق في هذا النوع من الاحتراق على مقدار أنتشار جيوب اللهب داخل الوقود.

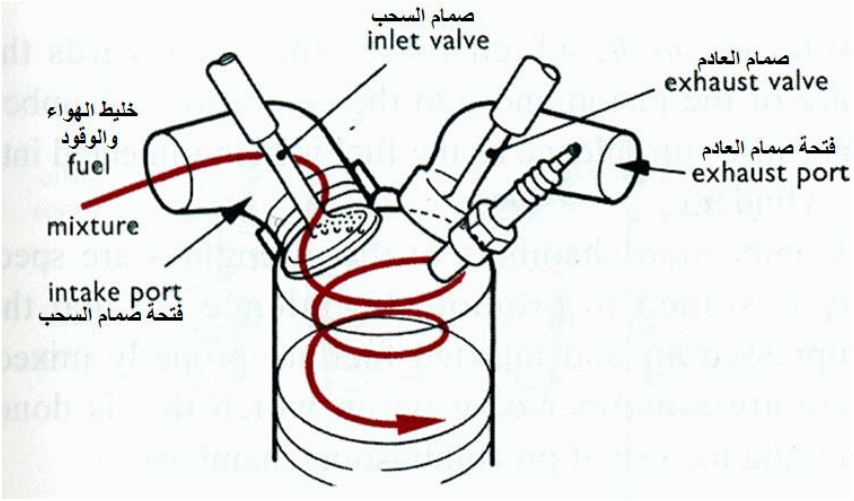
❖ 6.3 العوامل المؤثرة على الاحتراق Factors Affecting Combustion

يعتمد احتراق الوقود على الضغط ودرجة الحرارة والعصف داخل غرفة الاحتراق فضلاً عن نوع الوقود. يؤدي ارتفاع الضغط إلى رفع درجة الحرارة التي بدورها تؤدي إلى زيادة تبخر الوقود وارتفاع درجة حرارته مما يزيد من سرعة احتراقه. إما العصف (الدوامة) (turbulence) فأنه يعزز الاحتراق من خلال توفير الاوكسجين عند موقع الاحتراق بسبب دفعه للهواء إلى موقع الاحتراق فضلاً عن ذلك يقوم بنشر اللهب في غرفة الاحتراق.

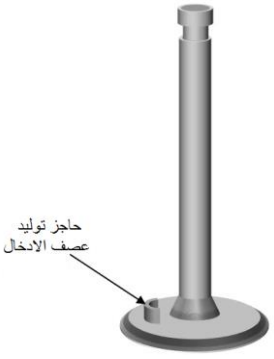
هناك نوعان من الدوامات هما دوامة الإدخال (Induction turbulence) ودوامة الانضغاط (compression turbulence). يحدث النوع الأول عند دخول الخليط أو الهواء الى داخل الأسطوانة إذ يصمم أنبوب إدخال الهواء أو الخليط بشكل منحني عند منطقة اتصاله مع الأسطوانة مما يجعل الهواء يدور حول نفسه أثناء الدخول فيها وتستمر

هذا الدوامة مع نزول المكبس الى النقطة الميتة السفلى (شكل 6.1). كما يمكن الحصول على هذه الدوامة من خلال تزويد صمامات السحب في بعض المحركات بحواجز صغيرة دائرية يصطدم الهواء بهذا الحاجز فيغير اتجاهه من مستقيم الى دائري (شكل 6.2).

إما الدوامة الثانية فتظهر بشدة عند نهاية شوط الضغط وتعتمد على تصميم غرفة الاحتراق التي تحتوي على محاجر أو تقعرات تساعد على نشوء مثل هذه الدوامات. كما أنه في بعض أنواع المحركات يصمم المكبس بحيث يكون أحد جوانبه أعلى من الآخر وعند صعوده الى النقطة الميتة العليا يقترب الجانب المرتفع منه الى رأس الأسطوانات بمقدار أكبر من الجانب الآخر مما يسبب اندفاع الهواء أو الخليط الى الجهة الأقل ارتفاعاً مسبباً دوامة أفقية داخل غرفة الاحتراق.

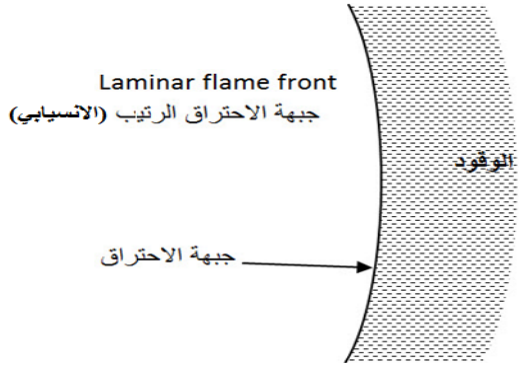


شكل (6.1) **: دوامة الإدخال في الأسطوانة.**

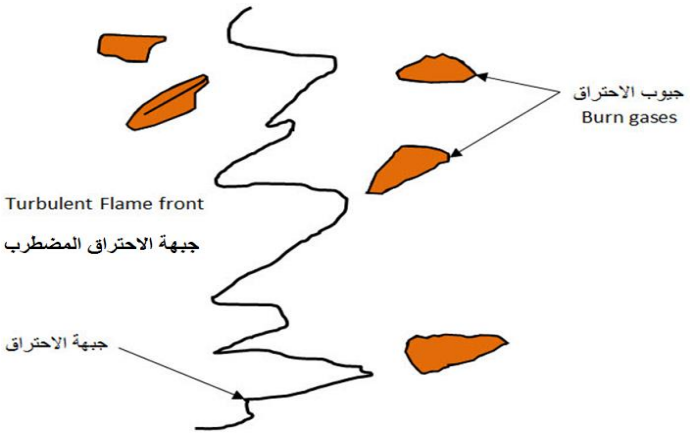


شكل (6.2) **: صمام مزود بحاجز منحني لتوليد دوامة الإدخال.**

أما في حالة عدم توفر الدوامة فأن الاحتراق يصبح من نوع الرتيب أو الانسيابي (laminar combustion) وفيه تنفصل جبهة الاحتراق عن الخليط وتصبح سرعة الاحتراق محدودة (شكل 6.3). وهذا النوع من الاحتراق غير محبذ في المحركات (محركات البترين) لأن المحرك يخسر الضغط الأقصى والذي يمكن الحصول عليه عند حرق الوقود بسرعة عالية وعند النقطة الميتة العليا. في هذا النوع من الاحتراق (الرتيب) يتم حرق الوقود بعد النقطة الميتة العليا وبمسافة قد تكون كبيرة. أما في محركات الديزل تقوم الدوامات بتفتيت الوقود ونشرة داخل الهواء فضلاً عن زيادة تبخره ونشر اللهب داخل غرفة الاحتراق وتوفير الأوكسجين في مواقع الاحتراق مما يزيد من سرعته (شكل 6.4).



شكل (6.3) **: احتراق الوقود الرّتيب أو الانسيابي** laminar fuel combustion



شكل (6.4) **: احتراق الوقود الإضطرابي (بالعصف)** Turbulence fuel combustion

❖ 6.4 الشروط الواجب توفرها في غرف الاحتراق

إن من أهم العومل التي تساعد على تفتيت الوقود وخلطه مع الهواء وتوفير الاوكسجين في موقع الاحتراق لزيادة سرعة احتراقه هي غرفة الاحتراق. كما ان لغرفة الاحتراق تأثير على الحرارة المفقودة من الأسطوانة أثناء عملية الاحتراق. وللحصول على احتراق سريع للوقود داخل غرفة الاحتراق يجب إن تتوفر الشروط الآتية فيها:

1. أن يقطع اللهب أقصر مسافة ممكنة.
2. وضع شمعة القدح قرب صمام العادم.
3. يجب أن يكون العصف داخلها (الدوامة) كافياً لتفتيت أو لتذرير الوقود.
4. أن ينتهي الاحتراق بأبرد منطقة في غرفة الاحتراق لتقليل الفرقعة.

فكلما قل حجم غرفة الاحتراق زادت سرعة احتراق الوقود لأن اللهب يقطع مسافة صغيرة فضلاً عن وجود الهواء والوقود في حيز صغير. تؤدي زيادة سرعة احتراق الوقود الى زيادة قدرة المحرك. إلا أن سرعة الاحتراق يجب أن تكون ضمن مدى معين لا تتجاوزه حتى لا تحدث الفرقعة في المحرك (Knocking) أو ما يطلق عليها بعض الاحيان (Detonation). كما يجب أن توفر غرفة الاحتراق دوامة كبيرة لغرض تفتيت الوقود وخلطه جيداً مع الهواء ونشر اللهب داخل غرفة الاحتراق. كما أن شمعة القدح يجب أن توضع بالقرب من صمام العادم لأنه ساخن جدا والهواء أو الخليط القريب منة يسخن أكثر من المناطق الأخرى وهذا يساعد على الاحتراق. ولمنع الفرقعة داخل المحرك يجب أن ينتهي الاحتراق في المنطقة الاقل حرارة وهي القريبة من صمام السحب وهذه المنطقة يطلق عليها النهاية الباردة cold end.

❖ 6.5 المبادئ الأساسية لتصميم غرف الاحتراق

General Principles Of Combustion Chamber Design

توجد المحركات سواء تلك التي تعمل بوقود البترين أو الديزل بأنواع مختلفة وذلك للحصول على قدرات مختلفة (different engine powers) لتلبية متطلبات الأحمال التي تفرض عليها. تعتمد القدرات المنتجة من هذه المحركات فضلاً عن مواصفاتها التصميمية على العوامل الآتية:

1. كمية الهواء التي تدخل الى المحرك بالدقيقة والتي يعبر عنها بالكفاءة الحجمية (the volumetric. efficiency) فكلما زادت الكفاءة الحجمية زادت كمية الهواء

الداخلة للمحرك ومن ثم زادت كمية الاوكسجين الضروري للاحتراق. وهذا يؤدي الى إتمام احتراق الوقود فتزداد الطاقة الناتجة من حرقه.

2. كفاءة خلط الهواء مع الوقود والتي يعبر عنها بالكفاءة الحرارية (thermal efficiency). فعندما يتحسن خلط الوقود مع الهواء تزداد سرعة الاحتراق نتيجة توفر الأوكسجين بكمية كافية عند جبهة الاحتراق وهذا يساعد على إتمام الاحتراق بعد تجاوز المكبس النقطة الميتة العليا في شوط الضغط وبمسافة قصيرة مما يجعل الضغط الناتج من حرق الوقود في أعلى قيمة له فيُدفع المكبس بسرعة عالية جداً مما يزيد من عزم المحرك ومن ثم القدرة الناتجة.
3. كفاءة تحرير الطاقة من الوقود وتحويلها إلى شغل ميكانيكي عند نهاية عمود المرفق والتي يعبر عنها بالكفاءة الميكانيكية (the mechanical efficiency).

عندما يحرق الوقود بصورة تامة والذي يعتمد على الضغط والحرارة داخل الأسطوانات فضلاً عن نوع الوقود وكمية الهواء الداخلة الى المحرك تتحرر طاقة الوقود. تقوم المكابس بتحويل هذه الطاقة الى طاقة ميكانيكية عند عمود المرفق. أن تأثير تصميم غرفة الاحتراق على الكفاءة الميكانيكية محدود إلا أنه يؤثر بصورة كبيرة على الكفاءتين الحرارية والحجمية.

6.5.1 متطلبات الكفاءة الحجمية

Requirements For High Volumetric Efficiency

تعرف الكفاءة الحجمية على أنها النسبة بين حجم الهواء أو الخليط الداخل فعلياً الى الأسطوانة الى الحجم الذي تستوعبه الاسطوانة من الهواء أو الخليط عند درجة الحرارة والضغط الاعتياديين. ولتحسين الكفاءة الحجمية للمحرك يجب أن توفير المتطلبات الآتية:

1. يجب أن تكون فتحات إدخال الهواء أو الخليط الى الأسطوانات وفتحات إخراج العادم منها واسعة بصورة كافية ولا تبدي مقاومة إلا بصورة محدودة على الهواء عند دخوله والعادم عند خروجه. ولزيادة الكفاءة الحجمية بصورة أكبر زودت المحركات الحديثة بصمامي سحب وصمامي عادم مما يزيد من المساحة الكلية لفتحتي إدخال الهواء وإخراج العادم. إلا أن حجم صمامي السحب أكبر منهما لصمامي العادم لغرض تقليل الاجهاد الحراري على صمامات العادم والذي يزداد مع زيادة المساحة المعرضة للحرارة فضلاً عن ذلك يُطرد العادم عن طريق الضغط

الذي يفرضه المكبس عليه والذي يسرع من طرده لهذا لا يحتاج المحرك الى صمامات عادم حجمها مماثل لحجم صمامات السحب. ولزيادة الكفاءة الحجمية أيضاً تصمم أسطوانات المحركات الحديثة بأقطار مساوية لأطوالها والتي يطلق عليها الأسطوانات المربعة (Square cylinders). يساعد هذا التصميم على زيادة أقطار صمامات السحب والعادم وهذا يزيد من كمية الهواء الداخلة الى المحرك ومن ثم الكفاءة الحجمية التي تنعكس أيجاباً على الكفاءتين الحرارية والميكانيكية. فضلاً عن ذلك تزداد كفاءة المحرك على طرد العادم ومن ثم تنظيف الأسطوانة منه.

2. يجب إن تُوقت الصمامات بصورة دقيقة لزيادة طول شوطي السحب والعادم. وهذه الزيادة تسبب زيادة كمية الهواء او الخليط الداخل الى المحرك فضلاً عن زيادة قابلية المحرك على كسح العادم خارج الأسطوانات. كما أن التوقيت الصحيح للصمامات يقلل من الأثر السلبي للسرعة العالية على الكفاءة الحجمية. إذ أن السرعة العالية تقلل من طول شوطي السحب والعادم مما يقلل من كمية الهواء أو الخليط وكمية العادم المكسوح للخارج. إلا أن التوقيت الصحيح للصمامات يقلل من هذا الأثر إذ يبقي طول الشوطين كافياً لإدخال كمية مناسبة من الهواء أو الخليط وطرد كمية كبيرة من العادم لأن بقاء جزء من العادم يؤثر على الكفاءة الحجمية من خلال شغله حيز في الأسطوانة وهذا الحيز على حساب حجم الهواء أو الخليط الداخل الى الأسطوانات.
3. يجب أن تكون درجة حرارة الهواء أو الخليط منخفضة لحظة غلق صمام السحب. فكلما قلت درجة حرارة الهواء أو الخليط زادت كثافتاهما فيزداد حجماهما الداخلان الى الأسطوانات. وعندما تكون درجة حرارتيهما عاليتين فأن حجميهما يقلان وهذا ينعكس سلباً على الكفاءة الحجمية ومن ثم الكفاءتين الحرارية والميكانيكية. زودت المحركات الحديثة وعلى الرغم من تزويدها بصمامي سحب بجهاز لتُخفيض درجة حرارة الهواء أو الخليط لغرض زيادة الكفاءة الحجمية. كما أن بعض المحركات تزود بشاحن هوائي (Turbocharger) لزيادة الكفاءة الحجمية أيضاً. الشاحن الهوائي يستخدم طاقة العادم لتشغيل الدوار (Rotor) المزود به والذي يقوم بدفع الهواء الى داخل الأسطوانات وهذا الهواء يبرد قبل دخوله فيها.

6.5.2 متطلبات الكفاءة الحرارية Requirements For High Efficiency

لزيادة الكفاءة الحرارية والتي تؤثر بشكل مباشر على الكفاءة الميكانيكية يجب توفير المتطلبات الآتية:

1. يجب أن تكون نسبة انضغاط المحرك أعلى ما يمكن بدون حدوث فرقعة (knocking). تؤدي زيادة نسبة الانضغاط الى زيادة الضغط داخل الأسطوانات ومن ثم درجة حرارة الهواء في محركات الديزل أو الخليط في محركات البترين مما يزيد من سرعة احتراق الوقود. كما يجب أن ينتهي احتراق الوقود بعد النقطة الميتة العليا حتى يكون الضغط أعلى ما يمكن لدفع المكبس بسرعة عالية لزيادة القدرة الميكانيكية.
2. لزيادة الكفاءة الحرارية يجب تقليل الحرارة المفقودة من خلال جدران غرفة الاحتراق الى الجو الخارجي. إذ كلما زادت درجة حرارة غرفة الاحتراق وزاد الاختلاف بين حرارتها والجو الخارجي زاد الفقد بالحرارة. تعتمد درجة حرارة غرفة الاحتراق على الاختلاف بين درجة حرارتها والغازات الناتجة من الاحتراق فضلاً عن مساحتها. فكلما زادت المساحة زاد امتصاص غرفة الاحتراق للحرارة ومن ثم فقدانها الى الجو الخارجي. فالحرارة العالية تنتج طاقة ميكانيكية عالية وللحصول على ذلك يجب تقليل مساحة غرفة الاحتراق. كما ان تقليل مساحة غرفة الاحتراق يؤدي الى تقليل المسافة التي يقطعها اللهب داخلها فضلاً عن أمكانية وضع شمعة القدح أو الحاقنة (البخاخ) في وسط غرفة الاحتراق. إما إذا كانت كبيرة يجب إن تُوضع شمعة القدح بالقرب من صمام العادم. إن الغرض من زيادة سرعة اللهب هو لتقليل الفترة الزمنية لاحتراق الوقود ومن ثم تحديد موقع تاثير الضغط العالي بعد اجتياز المكبس للنقطة الميتة العليا حتى يدفع المكبس بسرعة عالية.

❖ 6.6 أنواع الوقود Fuel Types

يؤثر نوع الوقود تأثيراً كبيراً على سرعة الاحتراق والقدرة الناتجة والفرقعة داخل الأسطوانة. لهذا يجب استعمال أفضل أنواع الوقود لزيادة القدرة ومنع حدوث الفرقعة التي تسبب بعض الأحيان في حرق المكابس والصمامات أو كسر الأخيرة بسبب الارتطام بمقاعدها نتيجة الضغط المؤثر عليها من احتراق الوقود المتسلسل. فضلاً عن ذلك تحدث بعض الأحيان انفجارات داخل أنبوب العادم التي قد تسبب كسر الأنبوب

في كثير من الاحيان. يوجد وقود البترين بعدة أنواع ويصنف حسب مكوناته الكيميائية وكالآتي.

6.6.1 وقود البنزين Petrol Fuel

يتكون وقود البترين كيميائياً من مركبين عضويين وبعض المواد الأخرى التي تحدد نقاوته. هاذان المركبان هما الاوكتان (C_8H_{18}) وهو مركب سريع الاحتراق وعديم الفرقعة ونسبته في الوقود تحدد مقدار جودته. يطلق على نسبته في الوقود بالرقم الاوكتاني (Octane Number). أما المركب الآخر الذي يدخل في تركيب الوقود هو الهبتان الاعتيادي (normal heptane) (C_7H_{16}) وهو مركب بطيء الاحتراق مقارنة بالنوع الأول. أن زيادة نسبة مركب الأوكتان في الوقود يزيد من مقاومة الوقود للاشتعال الذاتي ويقلل من الفرقعة داخل المحرك فضلاً عن ذلك تزداد الطاقة التي ينتجها كلما زادت نسبته في الوقود. يقسم وقود البترين إلى عدة أنواع منها:

1. البنزين الأبيض (الدرجة الرابعة) White Or Fourth Grade

هذا النوع من الوقود رديء جداً ونسبة الاوكتان (رقم الأوكتان) منخفضة وخالي من أثيل الرصاص الرباعي (tetra ethyl lead) الذي يقلل من الفرقعة. يبلغ رقمه الاوكتاني بين 75 الى 80%. عندما يستخدم في المحركات يحترق ذاتياً بعض الأحيان مما يسبب الاحتراق المتسلسل داخل المحرك وهذا الاحتراق له نتائج سلبية على المحرك منها احتراق الصمامات والمكابس وقد يسبب ذوبان التاج بعض الأحيان. ومن المشاكل الشائعة عند استخدامه هو ارتطام الصمامات مع مقاعدها فتظهر في المحرك طرقات متتالية. وهذا الارتطام قد يسبب انحناء أو أنكسار الصمامات في كثير من الأحيان خصوصاً عندما تكون الحالة شديدة. يحدث الارتطام في شوط السحب فعندما يدخل الهواء والوقود الى داخل الأسطوانة وعند ملامسة الوقود السطح الساخن للأسطوانة يشتعل ذاتياً بسبب انخفاض رقمه الاوكتاني فيرتفع الضغط بصورة مفاجئة مما يولد ضغطاً على صمام السحب مسبباً دفعها الى الأعلى فتصطدم بالمقاعد وقد يسبب انحناء الأذرع المتأرجحة إذا كان نظام تشغيل الصمامات من نوع الأذرع المتأرجحة (rocker arm). وفي بعض الأحيان يحترق الوقود مبكراً في شوط الضغط وقبل وصول المكبس الى النقطة الميتة العليا وهذا يولد ضغطاً هائلاً على المكبس قد يسبب كسره أو احتراقه

موضعياً أو انحناء ذراع التوصيل وهذا الاحتراق أخطر على المحرك من الاحتراق الذي يحدث في شوط السحب.

2. البنزين النظامي (الاعتيادي) **Regular Grade**

هو أفضل من النوع الأول لأن رقمه الأوكتاني أعلى منه إذ يبلغ بحدود 85 الى87%. يحتوي على نسبة محدودة من أثيل الرصاص الرباعي الذي يقلل من الفرقعة داخل المحرك.

3. البنزين فوق الاعتيادي (المحسن) **Premium Grade**

وهو وقود رقمة الأوكتاني عالي إذ يبلغ 91 الى 95%. يحتوي على نسبة جيدة من أثيل الرصاص الرباعي مما يجعله قليل الفرقعة وسريع الاحتراق وذو طاقة عالية.

4. البنزين عالي الجودة **Super –Premium Grade**

هو وقود رقمة الأوكتاني عالي بصورة كبيرة يبلغ 98%. يحتوي على نسبة مثالية من أثيل الرصاص الرباعي الذي يمنع الفرقعة. هذا النوع من الوقود سريع الاحتراق وإنتاجه للطاقة كبيراً إلا أنه غالي الثمن بسبب نقاوته العالية والعمليات الكيميائية التي تجرى لتنقيته.

6.6.2 وقود الديزل Diesel Fuel

يستخرج وقود الديزل من النفط المستخرج من باطن الأرض بعد فصل المواد الأكثر تطايراً منه. يعدّ وقود الديزل أثقل وزناً من وقود البترين. تختلف كفاءة المحرك في أنتاج الطاقة باختلاف نوع الوقود فعندما يتوفر الوقود المناسب للمحرك يتحسن أداءه بصورة كبيرة. وعند استخدام وقود غير مناسب أو ذو درجة واطئة يتأخر المحرك في التشغيل ولا يحترق الوقود بصوره تامه مما يسبب تلوثاً للبيئة فضلاً عن حدوث فرقعة في المحرك.

لغرض حرق وقود الديزل بسرعة عالية يجب إن يُفتت الوقود بصورة كبيرة ويتم ذلك باستخدام ضغط عال وهذا الضغط يمكن الحصول عليه باستخدام مضخة وقود تدفع الوقود تحت ضغط عالٍ وباثقة لتفتيته بصورة كبيرة. هذه الباثقة يجب إن يكون الخلوص بين أجزائهما المتحركة صغير جداً لمنع تسرب الوقود بين هذه الأجزاء ولتقليل الاحتكاك بين هذه الاجزاء يجب إن يزود الوقود ببعض المواد الزيتية لتزييتها لغرض منع

تآكلها. كما يجب أن يكون الوقود نظيفاً وسهل الاختلاط مع الهواء ويحترق بسهولة وبسرعة عالية حتى ينتج ضغطاً عالياً ومنتظماً على المكبس أثناء الاحتراق.

6.6.2.1 أنوع وقود الديزل Diesel Fuel Grades

يوجد نوعان من وقود الديزل وهما D_1 و D_2 وهذان النوعان يعتبران مناسبين للمحركات السريعة والمركبات التي تستخدم للأعمال الثقيلة. النوع الأول هو عبارة عن مزيج من أصناف من الزيوت المتطايرة من بينها النفط الابيض kerosene ومواد التقطير المتوسطة. يستخدم هذا النوع من الوقود للمحركات السريعة والتي تتعرض الى الأحمال المختلفة وهذه الأحمال تحتاج الى سرع مختلفة. كما يستخدم للمحركات في الأجواء الباردة لتشغيلها بسهولة كما يستخدم للمحركات التي تعمل بصورة مستمرة في الأجواء الباردة.

أما النوع الثاني (D_2) فيضم الزيوت المقطرة ذات التطاير المنخفض. يستخدم للمحركات السريعة التي تتعرض للأحمال العالية التي تحتاج للسرع العالية. ويستخدم أيضاً لعجلات النقل بسبب الحرارة العالية التي ينتجها اللتر الواحد منه خصوصاً في الأجواء الدافئة والمعتدلة. وعلى الرغم من ذلك يعتبر D_1 أفضل من D_2 في الأجواء الباردة على الرغم من أمكانية استخدام النوع الثاني عند تسخينه باستخدام الماء الساخن.

ولاختيار نوع الوقود يجب أن تتوفر فيه الشروط الآتية:

1. سرعة تشغيل المحرك عندما يكون بارداً.
2. سهولة تداوله وتخزينه.
3. قابليته على تقليل التآكل في المكابس والحاقنات والأسطوانات.
4. يجب أن يكون متوفراً وتكاليفه منخفضة.
5. يُختار حسب تصميم المحرك وحجمة.
6. حسب مديات سرع المحرك ومديات الأحمال التي يتعرض لها المحرك.
7. اعتمادا على الظروف الجوية التي يعمل بها المحرك.

6.6.2.2 الرقم السيتاني Cetane Number

يتكون وقود الديزل من مركبين عضويين هما السيتان (Cetane) ذو الرمز الكيميائي ($C_{16}H_{34}$) والفا–مثيل النفثالين (alpha methyl naphthalene) الذي رمزه الكيميائي ($C_{11}H_{10}$). يتميز المركب السيتاني بسرعة احتراقه وعدم تسببه فرقعة في المحرك لهذا تعتمد عليه جوده الوقود. يطلق على نسبته داخل الوقود بالرقم السيتاني (cetane number). أما المركب ألفامثيل النفثالين (alpha methyl naphthalene) هو مركب من المركبات الخاملة إذ أن سرعة احتراقه بطيئة جداً.

يستخدم الرقم السيتاني بعض الاحيان للتعبير عن قابلية وقود الديزل على التطاير. فاذا زادت نسبته في الوقود زادت قابليته على التطاير والتبخر وهذا يسهل ويسرع من تشغيل المحرك ويجعله أكثر هدوءاً.

يبلغ الرقم السيتاني لنوعي وقود الديزل D_1 و D_2 بين 40 الى 50. يختلف الرقم السيتاني عن الرقم الاوكتاني إذ كلما زاد الرقم الأوكتاني في الوقود كلما أصبح مقاوماً للاحتراق الذاتي وهي صفة محبذة في محركات البترين ذات نسبة الانضغاط العالية. إلا أن انخفاض الرقم السيتاني يسبب تأخر أشتغال المحرك مع حدوث فرقعة فيه وظهور دخان أسود بينما ارتفاعه يسبب سرعة تبخره ومن ثم سرعة احتراقه وقلة فرقعته.

وللحصول على أفضل أداء من المحرك يجب أن تكون لزوجة الوقود منخفضة لتسهيل حركته داخل جهاز الوقود فضلاً عن زيادة قابليته على التبخر داخل غرف الاحتراق إلا أن لزوجته يجب إن تبقى ضمن حدود معينة لغرض تزيت أجزاء المضخة والحاقنات.

كما أن محتوى الوقود من الكبريت يجب أن يكون منخفضاً. فاذا أحتوى على نسبة أعلى من 0.4% يعتبر محتواه متوسطاً أو عالياً أما أذا كان أقل من 0.4% يعتبر منخفضاً. أما محتوى الوقود D_1 من الكبريت يجب أن يكون اقل من 0.1% وللوقود D_2 بين 0.2% الى 0.5%. إن وجود كميات كبيرة من الكبريت يؤدي الى تآكل المكابس والحلقات والصمامات فضلاً عن ذلك يسبب انسداد الفلاتر. يّكون الكبريت المركبات الآتية هي: كبريتيد الهيدروجين وثاني وثالث أوكسيد الكبريت بوجود الحرارة والماء. يعدّ المركبان الأخيران من المركبات الخطرة على المحرك إذ أنهما يذوبان في الماء فيكونان حوامض تسبب تآكل معدن المحرك.

❖ 6.7 غرف الاحتراق Combustion Chambers

6.7.1 الاحتراق Combustion

لقد تم التطرق إلى الاحتراق وللشروط الواجب توفرها داخل غرفة الاحتراق للحصول على أفضل أداء ممكن داخل الأسطوانة ومن أهمها يجب أن تكون سرعة الاحتراق عالية ولكن ضمن حدود معينة. ولزيادة سرعة الاحتراق يجب زيادة الضغط ودرجة الحرارة داخل الأسطوانة فضلاً عن توفير العصف لتفتيت (لتذرير) الوقود وخلطه مع الهواء. إن كفاءة المحرك الحرارية يجب إن تكون عالية والتي تزداد مع زيادة نسبة الانضغاط لهذا يجب ان تكون هذا النسبة عالية والفرقعة داخل المحرك يجب إن تكون محدودة ويفضل أن تكون غير موجودة. تعالج الفرقعة باستخدام وقود عالي الجودة ومن خلال التصميم المناسب لغرف الاحتراق. لهذا سوف نتعرّض الى تصاميم غرف الاحتراق المختلفة والتي تساعد على تقليل الفرقعة وغيرها من مشاكل الاحتراق.

6.7.2 الفرقعة Knocking

تطلق الفرقعة على الاحتراق السريع للوقود المصحوب بصوت عالي جداً كما تطلق على الاحتراق المتسلسل للوقود. والاحتراق المتسلسل هو احتراق الوقود على فترات زمنية متتابعة في شوط القدرة وفي شوط الضغط بعض الأحيان. أن من أهم العوامل التي تقلل الفرقعة هو استخدام نسبة انضغاط عالية ولكن بحدود معينة فضلا عن ذلك وقود عالي الاوكتان Octane number. إلا أن الوقود ذو الرقم الاوكتاني العالي غالي الثمن لذلك يجب اختيار نسبة انضغاط مناسبة للموازنة بين الكفاءة الحرارية التي تحتاج الى نسبة انضغاط عالية ووقود عالي الأوكتان والتكاليف المنخفضة للوقود. أن نسبة الانضغاط العالية والتي لها علاقة بتصميم غرف الاحتراق تقلل من الفرقعة وتقلل من استهلاك الوقود أيضاً لهذا عند توفر الوقود عالي الأوكتان يفضل استخدام محرك ذو نسبة انضغاط عالية.

6.7.3 بعض أنواع تصاميم غرف الاحتراق
Some Combustion Chamber Design types

تنقسم غرف الاحتراق في محركات الاحتراق الداخلي إلى نوعين الأول يحقن الوقود فيه مباشرةً داخل غرفة الاحتراق إما الثاني يحقن فيه الوقود داخل غرفة صغيرة تابعة

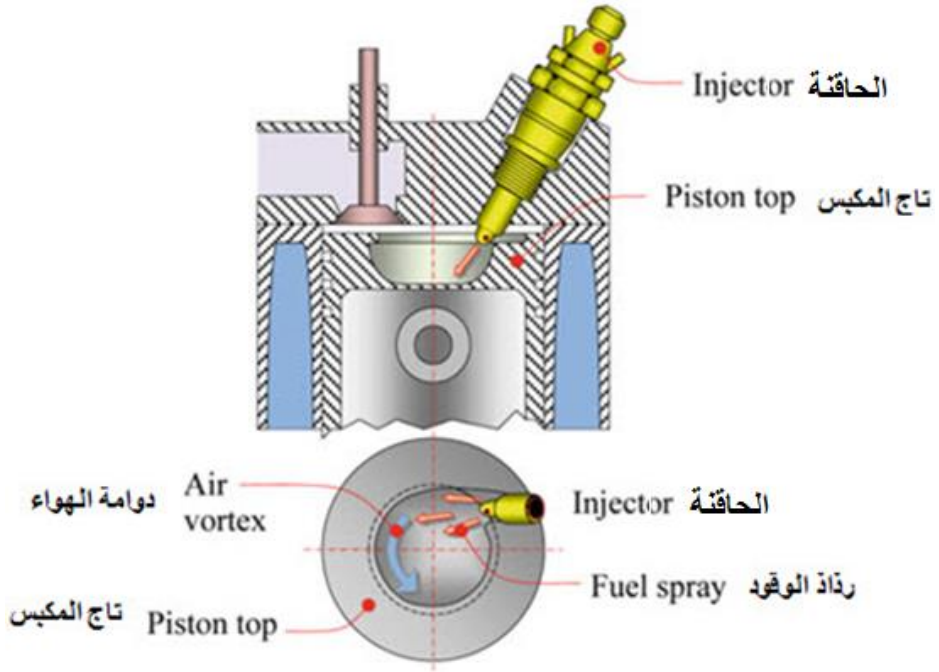
للغرفة الرئيسية أي أن الوقود يحقن بصورة غير مباشرة داخل غرفة الاحتراق.

6.7.3.1 غرف الاحتراق لحقن الوقود المباشر
Direct Fuel Injection Combustion Chambers

ينقسم هذا النوع من غرف الاحتراق الى الأنواع الآتية:

1. غرف الاحتراق النصف كروية **Hemi-spherical Combustion Chambers**

في هذا النوع من الغرف يحقن الوقود بصورة مباشرة داخل الغرفة والتي هي عبارة عن منخفض في سطح المكبس شكلها نصف كروي وتقع في منتصف تاج المكبس (piston crown) (شكل 6.5). تتولد في هذا النوع من غرف الاحتراق دوامة واحدة. يتميز هذا النوع من غرف الاحتراق بسهولة التنظيف إلا إنه يكوّن دوامة واحدة وهي غير كافية لتذرير الوقود بصورة كبيرة ولا تنشر اللهب بصورة سريعة بسبب ضحالة غرفة الاحتراق.



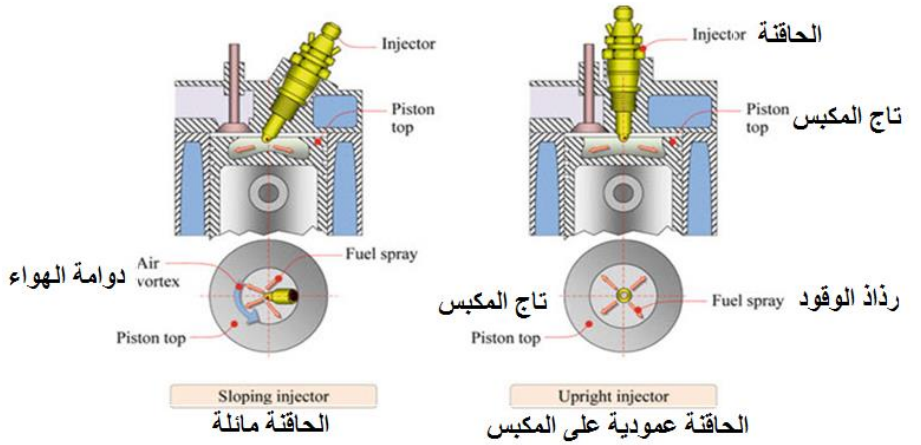
شكل (6.5) **: غرفة الاحتراق من نوع النصف كروية** (hemi-spherical combustion chamber)

2. غرفة الاحتراق الضحلة ذات المركز المحدب
Shallow Bowl Combustion Chamber

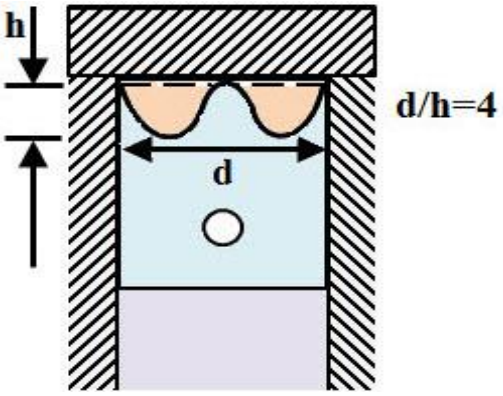
هذا النوع من غرف الاحتراق عمقها ضحل الا إن وسطها مرتفع الى الأعلى مما يؤدي إلى تشكيل مخدعين ضحلين. هذان المخدعان يساعدان على تكوين دوامتين ضعيفتين إلا أنهما يساعدان على خلط الوقود في الهواء وينشران اللهب بسرعة ويوفران الأوكسجين بمنطقة الاحتراق لهذا يعتبر هذا النوع من غرف الاحتراق أفضل من النوع الأول (شكل 6.6). يفضل في هذا النوع من غرف الاحتراق تثبيت حاقنة الوقود عمودياً للحصول على تذرير عالي للوقود لانه يصطدم بالجزء المحدب ويُفتت ويُنشر داخل غرفة الاحتراق ولكن هناك نوع آخر تثبت فيه الحاقنة بصورة مائلة لهذا يجب إن تكون الحدبة عالية نسبياً.

3. غرفة الاحتراق ذات المخدعين الضحلين
Shallow Chorodial Bowl Combustion Chambers

تتكون غرفة الاحتراق من مخدعين عمقهما أكبر من عمق مخدعي النوع الثاني إلا أنهما يعتبران ضحلين مقارنةً مع النوع الرابع. يفصل المخدعين جزء مرتفع من التاج إلا أنة لا يفصلهما بصورة تامة (شكل 6.7). عرض غرفة الاحتراق أكبر من عمقهما بمقدار أربعة مرات (d/h=4). يتولد في المحجرين دوامتان يتميزان بسرعتيهما إلا أنهما مفصولتان عن بعضهما البعض. فضلاً عن ذلك عندما يحقن الوقود يصطدم بالجزء المرتفع مما يسبب ترذيذه بصورة كبيرة وانتشاره في المخدعين.



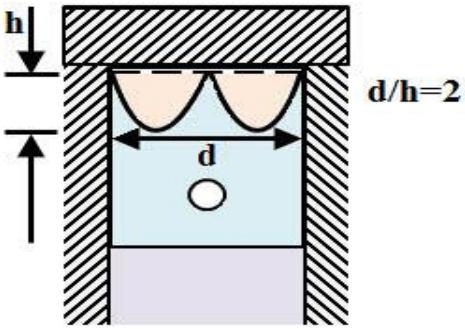
شكل (6.6) **: غرفة الاحتراق الضحلة ذات الوسط المحدب**



شكل (6.7) **: غرفة الاحتراق ذات المخدعين الضحلين**

4. غرف الاحتراق ذات المحجرين العميقين
Deep Chorodial Bowl Combustion Chambers

تتكون هذه الغرف من مخدعين عميقين يفصلهما شكل مخروطي. هذان المخدعان يعملان بصورة منفصلة. تتكون فيهما دوامتان سرعتاهما عنيفتان بسبب عمقهما الكبير مما يساعدان على تذرير الوقود بصورة كبيرة وأنتشار اللهب بسرعة عالية. إلا أن المحجرين يجمعان كاربون في داخلهما. عرض غرفة الاحتراق ضعف عمقها (d/h=2) (شكل 6.8).



شكل (6.8) **: غرفة الاحتراق ذات المخدعين العميقين**

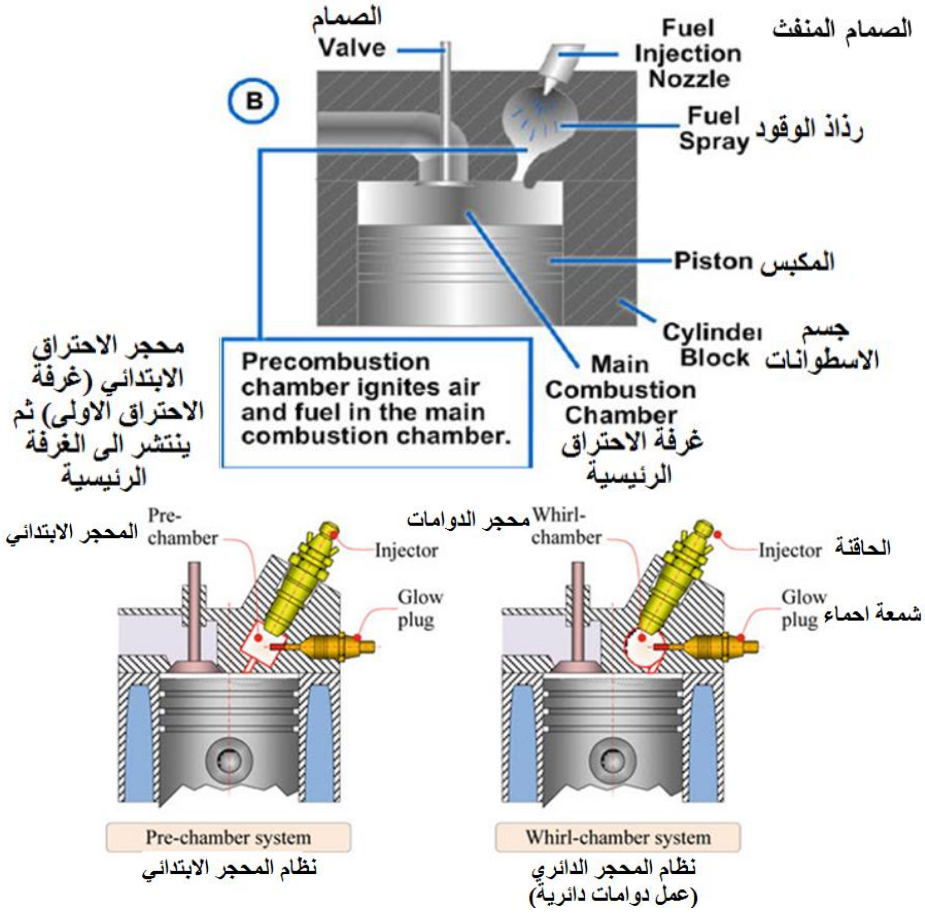
6.7.3.2 غرف الاحتراق غير المباشر Indirect Combustion Chambers

تتكون غرف الاحتراق غير المباشر من جزئيين أحداهما ثانوي والآخر رئيسي. تتميز هذه الغرف بقلة تلوثها للبيئة بسبب انخفاض أنبعاثات الغازات فضلاً عن هدوء احتراق الوقود فيها. يبدأ الاحتراق من المحجر الثانوي ثم ينتشر الى المحجر الرئيسي. إلا أن هذا

النوع بدأ بالأنحسار بسبب التقدم التكنلوجي بتصميم المحركات فضلاً عن استخدام توقيت حقن الوقود الإلكتروني بدلاً من الميكانيكي. يوجد هذا النوع من غرف الاحتراق غير المباشرة بعدة أنواع منها:

1. غرفة الاحتراق ذات المحجر الأولي Pre - Combustion Chamber

تتكون غرفة الاحتراق من محجرين احداهما صغيرة الحجم يطلق عليه المحجر الأولي أو الابتدائي والآخر كبير الحجم يطلق عليه المحجر الرئيسي (شكل 6.9). يوجد المحجر



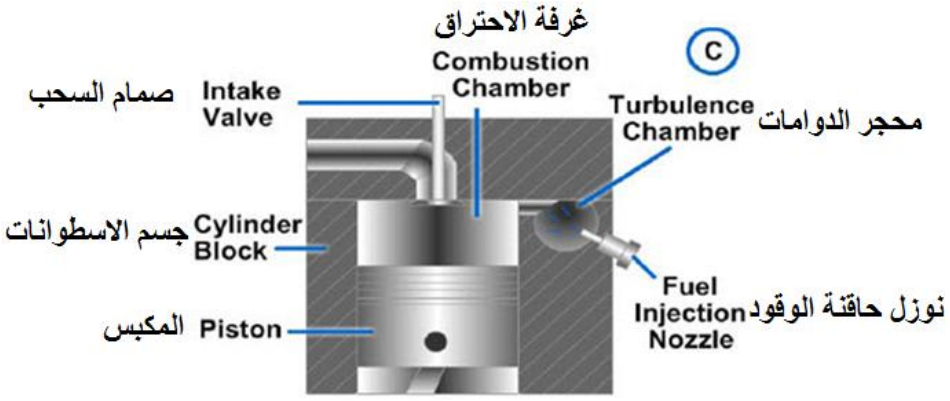
شكل (6.9) : غرفة الاحتراق غير المباشر ذات المحجر الابتدائي والرئيسي.

الرئيسي داخل الأسطوانة ومحصور بين النقطة الميتة العليا ورأس الأسطوانات. أما المحجر الابتدائي فيوجد في رأس الاسطوانات. يشكل المحجر الابتدائي من 20-40% من المحجر الرئيسي. يربط المحجر الابتدائي مع المحجر الرئيسي بممر أو بممرين. يستخدم المحجر

الابتدائي الذي شكلة إما بيضوي أو مربع أو كروي (شكل 6.9 A, B, C) لحقن الوقود فيه. عند صعود المكبس الى الأعلى في شوط الضغط يندفع الهواء داخل المحجر الابتدائي وعند حقن الوقود فيه يشتعل بصورة جزئية ويرتفع الضغط في المحجر ثم يندفع اللهب الى المحجر الرئيسي. يحتاج هذا النوع من غرف الاحتراق الى قوة ضغط منخفضة مقارنة بالنوع المفتوح فضلاً عن أمكانية استخدام أنواع مختلفة من الوقود معها إلا أن من عيوبها هو الاستهلاك العالي للوقود.

2. غرفة الاحتراق ذات محجر العصف
Swirl Combustion Chamber (Turbulent Chamber)

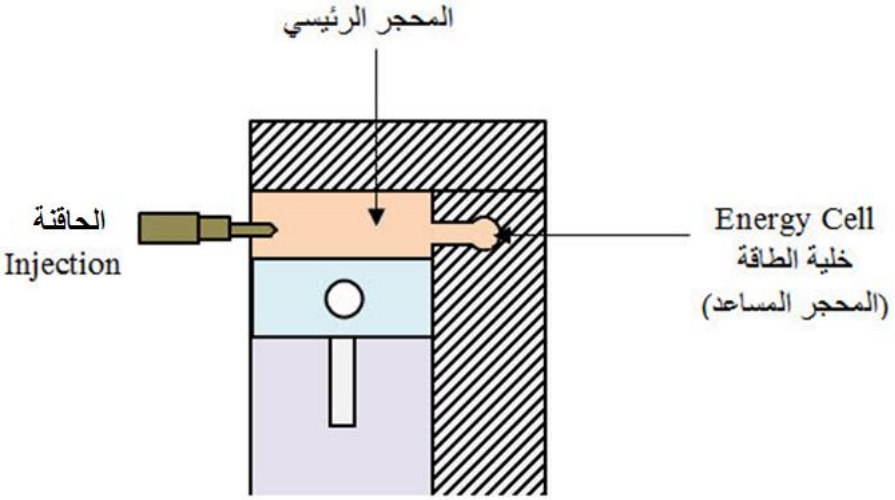
تتكون الغرفة من محجرين وهما المحجر الابتدائي والمحجر الرئيسي. المحجر الابتدائي كروي الشكل ويوجد على جانب الأسطوانة ويشكل 50-70% من الحجم الكلي لغرفة الاحتراق (شكل 6.10). أما المحجر الرئيسي فيوجد في الأسطوانة بين النقطة الميتة العليا ورأس الأسطوانات. عند صعود المكبس في شوط الضغط يندفع الهواء داخل المحجر الابتدائي وبسبب شكله الكروي يدور الهواء داخلة بشكل دوامة وبسرعة عالية. يحقن الوقود داخل المحجر الابتدائي فيخترق دوامة الهواء ويصطدم بالجدار فيزداد ترذيذه. وعندما يبدأ الوقود بالاحتراق يندفع اللهب الى المحجر الرئيسي وينتشر الاحتراق فيه.



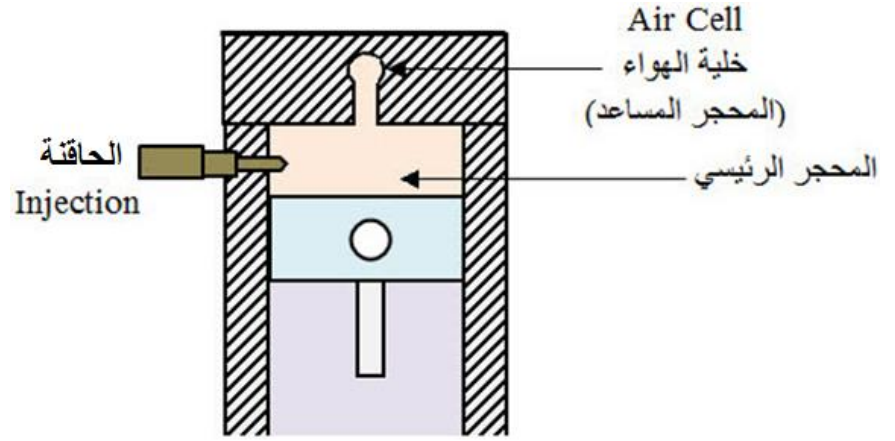
شكل (6.10) **: غرفة الاحتراق ذات محجر العصف (جانبي)**

3. غرفة الاحتراق ذات المحجر المساعد Auxiliary Combustion Chamber

تتكون غرفة الاحتراق من محجرين وهما المحجر المساعد والذي يطلق عليه إما خلية الهواء (air cell) أو خلية الطاقة (energy cells) وذلك حسب موقعها من المحجر الرئيسي الذي يوجد بين النقطة الميتة العليا ورأس الأسطوانات (شكل 6.11). عندما



(a) : **غرفة الاحتراق ذات خلية الطاقة**



(b) : **غرفة الاحتراق ذات خلية الهواء**

شكل (6.11) : **غرفة الاحتراق ذات المحجر المساعد**

توجد الخلية مقابل الحاقنة تسمى خلية الطاقة واذا وضعت عمودية على الحاقنة أو المحجر الرئيسي تسمى خلية الهواء. فاذا كان المحجر المساعد من نوع خلية الطاقة فان الوقود الذي يحقن من الحاقنة يدخل جزء منه في خلية الطاقة فترتفع درجة حرارتها ويبدأ بالاحتراق ثم ينتشر اللهب داخل المحجر الرئيسي (غرفة الاحتراق). أما إذا كانت الخلية موجودة في رأس الأسطوانات تقوم الخلية بدفع الهواء إلى المحجر الرئيسي الذي يحدث فيه الاحتراق لغرض توفير الأوكسجين لأتمام عملية الاحتراق.

❖ 6.8 مراحل احتراق وقود الديزل Diesel Fuel Combustion Peroids

يختلف احتراق وقود الديزل عن وقود البترين إذ يحترق النوع الاول بالضغط بينما النوع الثاني يحترق بالشرارة والتي تتولد بواسطة شمعة القدح. عندما يحترق وقود البترين ينتشر اللهب فيه بصورة كبيرة جداً بسبب سهولة تبخره ويزداد انتشار اللهب كلما زادت نسبة الانضغاط في المحرك وارتفع رقمه الأوكتاني. أما في حالة وقود الديزل فإن الاحتراق يأخذ فترة تعادل 6^0 إلى 30^0 من دوران عمود المرفق والسبب هو ارتفاع كثافته مقارنةً مع وقود البترين فضلاً عن وجود مادة البرافين التي تقلل من تبخرة. إلا أن مادة البرافين ضرورية لأنها تساعد في تزييت الأجزاء المتحركة في مضخة الوقود والحاقنات. لهذا يحتاج وقود الديزل الى فترة زمنية لرفع درجة حرارته في غرفة الاحتراق وفترة لتبخره وخلطه مع الهواء الساخن وفترة لحرقه. من هذا يتضح ان وقود الديزل يمر بثلاثة مراحل قبل احتراقه وهذه المراحل هي (شكل 6.12):

1. فترة التأخير Delay Period

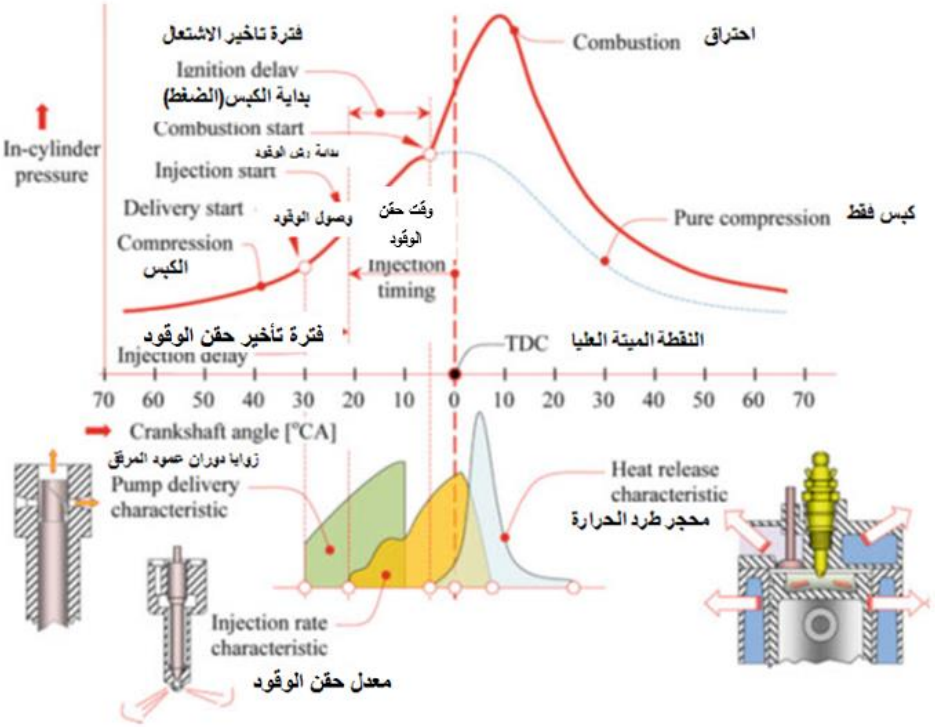
وهي الفترة المحصورة بين فترة حقن الوقود (Injection start) وفترة ظهور اللهب (Combustion start) خلال هذه الفترة ترتفع درجة حرارة الوقود ويبدأ بالتبخر. تعتمد هذه الفترة على درجة حرارة الهواء والتي بدورها تعتمد على نسبة أنضغاط المحرك وعلى نوع الوقود.

2. فترة ظهور اللهب Flame Initiation

وهي الفترة التي تلي فترة التبخر وفيها يبدأ اللهب بالظهور وتقع بين فترة التاخير وفترة أنتشار اللهب. إلا أن هذه الفترة تندمج مع فترة التأخير إذا كانت نسبة الأنضغاط عالية والرقم السيتاني للوقود عالي أيضاً.

3. فترة انتشار اللهب Flame Spread

ينتشر اللهب في هذه الفترة داخل غرفة الاحتراق ويرتفع الضغط ودرجة الحرارة داخل الأسطوانة. تمتد هذه الفترة بين لحظة بدأ الاحتراق (Combustion start) وانتهاء الاحتراق.(Combustion end) يحدد معدل ارتفاع الضغط داخل الأسطوانة وجود أو عدم وجود الفرقعة داخلها. يطلق على هذه الفرقعة بفرقعة الديزل (diesel knock) وهي حالة غير مرغوب فيها. تندمج الفترات الثلاثة في بعض الحالات بفترة واحدة فتصبح فترة احتراق الوقود قصيرة. إن طول هذه الفترة يعتمد الى زيادة نسبة الانضغاط وتحسين نوعية الوقود فتقل كلما زادت نسبة الانضغاط وتحسنت نوعية الوقود. وعند الرجوع إلى الشكل (6.12) والذي يمثل مراحل الاحتراق فأن فترة التأخير تقل كلما قلت كمية الوقود المحقون داخل غرفة الاحتراق. وهذا يؤدي بدوره الى تقليل ضوضاء المحرك. كما أن العصف والترذذ الجيد للوقود يقصر فترة التأخير.



شكل (6.12) **: مراحل احتراق وقود الديزل.**

كما يظهر الشكل (6.12) ان ضغط الوقود يستمر بالارتفاع بعد نقطة الضخ (Delivery start) ويتوقف قبل النقطة الميتة العليا بـــ10^0 ثم ينخفض ضغط الوقود وهذا يمثل انتهاء شوط الكباس (plunger) الموجود في مضخة الوقود. بينما يبدأ الضغط الناتج من حقن الوقود بالارتفاع من نقطة حقن الوقود injection start ليصل الى أعلى قيمة بعد النقطة الميتة العليا إلا أن الزيادة الكبرى فيه تبدأ قبل بداية الاحتراق (combustion start) ثم ينخفض بعد النقطة الميتة العليا.