الفصل الخامس

محركات ثنائية الأشواط والمحركات الدورانية (أو الرحوية)

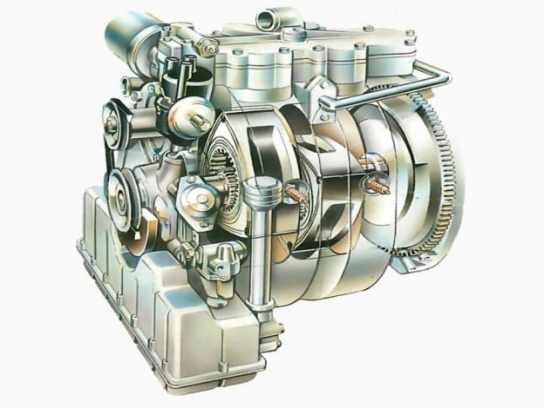
Two Strokes Internal Combustion And The Rotary Engines

الفصل الخامس
Chapter 5

محركات ثنائية الأشواط والمحركات الدورانية (أو الرحوية)
Two Strokes Internal Combustion And The Rotary Engines

❖ 5.1 المقدمة Introduction

اكتشفت المحركات الدورانية المنتجة للطاقة الحرارية من قبل العالم الاسكتلندي James Watt سنة 1769. يتضمن مبدأ هذه المحركات حرق الوقود خارج المحرك لتوليد بخار في مرجل خاص ثم ينقل البخار الى مروحة زعنفية موجودة في حاوية دائرية (circular housing). تقوم المروحة بتحويل طاقة البخار الحرارية الى طاقة ميكانيكية. ومن ذلك التاريخ بدأت المحاولات لصنع محرك احتراق داخلي يقوم بحرق الوقود لتوليد ضغط على عضو دائري الشكل لتحويل طاقة الوقود الى طاقة ميكانيكية إلا إن هذه المحاولات جميعها باءت بالفشل حتى سنة 1959 والتي قام فيها العالم الألماني Felix Winkle بتصنيع محرك دائري أطلق علية محرك Winkle. يعمل هذا المحرك بمبدأ الأشواط الأربع التي تعمل علية محركات الاحتراق الداخلي الترددية (reciprocating internal combustion engines). أستمرت المحاولات لإدخال هذا النوع من المحركات في العجلات وقد نجحت إحدى الشركات الألمانية بتصنيع عجلة تعمل بمحرك ونكل (شكل 5.1).

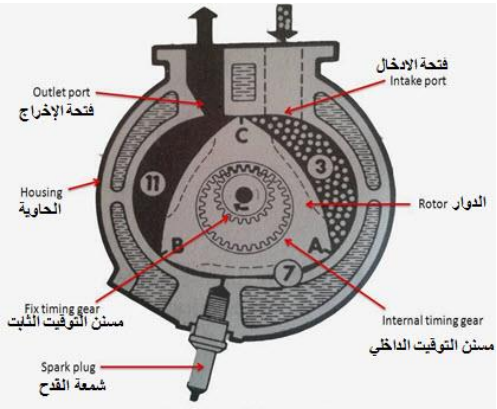


شكل (5.1) : محرك Winkle وأجزاءه المختلفة

إن هذا النوع من المحركات قد يتسع استخدامه مستقبلاً في صناعة العجلات وغيرها من الأعمال الصناعية ولأهمية هذا النوع من المحركات سوف نتطرق له بشيء من التفصيل من حيث التركيب والمبدأ الذي تعمل عليه.

❖ 5.2 أجزاء محرك ونكل Winkle Engine Parts

يتكون محرك ونكل من دوار (rotor) مثلث الشكل تقريباً. رؤوسه الثلاثة هي A و B و C (شكل 5.2). يوجد عند الرؤوس الثلاثة زوائد مانعة للتسريب (seal apex) لغرض أحكام الفسحة بين الدوار والحاوية (Housing) التي تضمه. جوانب الدوار منحنية الى الخارج بصورة بسيطة وتحتوي على حزوز ضحل (الجزء المنقط) لزيادة حجم الغازات التي يستوعبها المحرك. يوجد داخل الدوار مسنن حلقي (مجوف) أسنانه داخلية ومركزه يتطابق مع مركز الدوار يطلق علية مسنن التوقيت الداخلي (Internal timing gear) يقوم هذا المسنن بتدوير الدوار بصورة غير مركزية. المسنن الحلقي معشق مع مسنن مثبت على عمود المحرك. هذا المسنن الذي يطلق علية مسنن التوقيت الثابت (Fixed timing gear) يدور حول نفسه ومعشق مع مسنن التوقيت الداخلي ولكن بصورة غير مركزية أي إن مركزي المسننين غير متوافقين (eccentric). عدد أسنان المسنن الداخلي الثابت ثلثي عدد أسنان المسنن الحلقي. يقوم عمود المحرك (engine shaft) والذي يقع في المركز بنقل الحركة من الدوار الى أجزاء المحرك الأخرى.



شكل (5.2) **: الأجزاء الرئيسية لمحرك ونكل** (Winkle)

يحيط بالدوار حاوية عمقها ضحل ويساوي تقريباً عرض الدوار. شكل الحاوية بيضوي تقريباً لهذا يطلق عليها (epitrochoid). يمكن الحصول على هذا الشكل من تتبع نقطة تقع على محيط أسطوانة تدور حول محيط أسطوانة أخرى قطرها ضعف قطر الأسطوانة الاولى.

يوجد في الحاوية جيوب ماء لتبريد المحرك من الحرارة نتيجة حرق الوقود. كما توجد في الحاوية فتحتان إحداهما لإدخال الهواء أو الخليط الى داخل الحاوية والآخر لإخراج العادم. يلامس الدوار الحاوية في ثلاثة نقاط (apices) ونتيجة هذا التلامس تتكون ثلاثة محاجر (chambers) بين الجوانب الثلاثة للدوار والمحيط الداخلي للحاوية. تفصل النقاط الثلاثة المحاجر عن بعضها البعض بواسطة الزوائد (seal apices) (جمع apex). كما تزود الحاوية بشمعة قدح واحدة أو اثنتين في محركات الاحتراق بالشرارة أو بحاقنة وقود في محركات الاحتراق بالضغط.

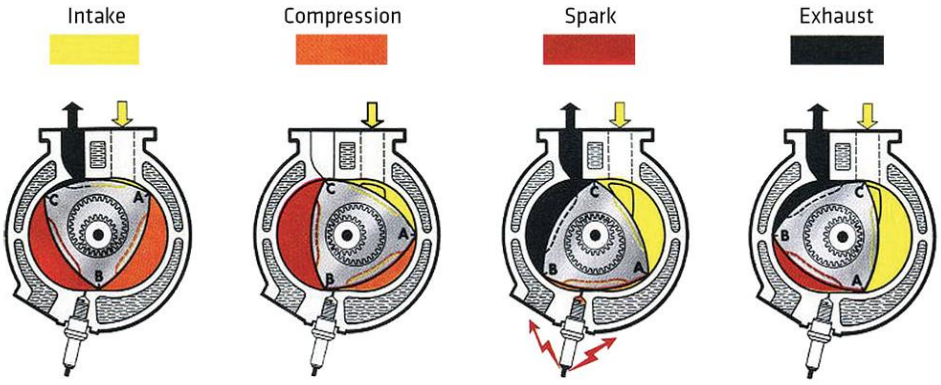
❖ 5.3 دورة محرك ونكل Winkle Engine Cycle

تضم دورة محرك ونكل أربعة أشواط كما هي الحالة في المحركات الترددية (محركات الاحتراق بالشرارة والضغط). هذه الأشواط هي السحب والضغط والقدرة والعادم. في محرك ونكل يدور العمود المثبت عليه الدوار (rotor) ثلاث دورات لكل دورة من دورات الدوار. كما ذكرنا سابقاً أن الدوار يشكل مع الحاوية (housing) ثلاثة محاجر تفصلها زوايا الدوار. خلال دوران الدوار يمر كل محجر بحجمين مختلفين أحداهما الحجم الأقصى (maximum volume) والآخر الحجم الأدنى (minimum volume). يمثل الفرق بين هاذين الحجمين الحجم الذي يزيحه الدوار والذي يطلق عليه الحجم المزاح (swept volume). إما النسبة بين الحجمين الاقصى والأدنى تمثل نسبة الانضغاط (compression ratio) ويمثل الحجم الأصغر حجم غرفة الاحتراق (clearance volume) ويعدّ حجم الحزوز في الدوار من ضمن هذا الحجم. الجزء المنقط في الشكل (5.3) يمثل حجم الحزوز.

عند دوران الدوار يبدأ الحيز CA (الحيز المحصور بين النقطتين A و C) بسحب خليط الهواء والوقود الى الداخل (الشكل 5.3a) نتيجة انخفاض الضغط فيه بسبب زيادة حجمة والذي يؤدي الى تغلب الضغط الجوي على الضغط داخله. عند بداية شوط السحب يعدّ حجم الحيز عند قيمته الأدنى وهذا الشوط يماثل شوط السحب في محركات البترين والديزل عندما يترل المكبس من النقطة الميتة العليا TDP الى النقطة الميتة

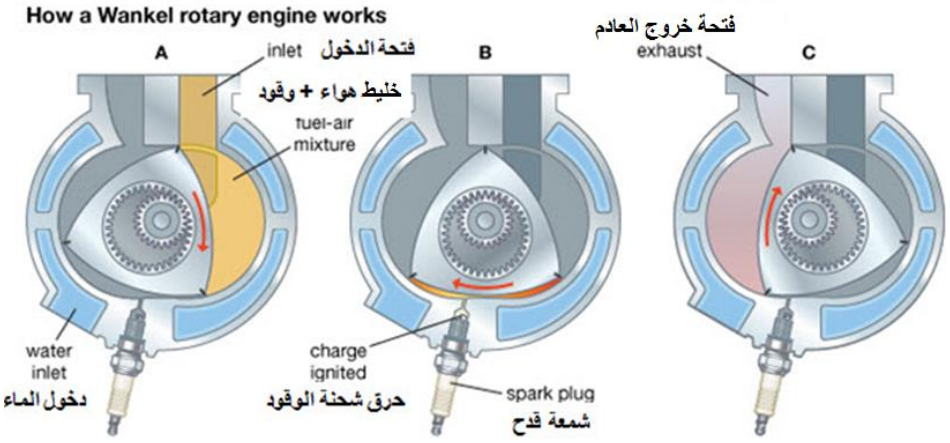
السفلىBDP. أما الحيز AB بدأ فيه شوط الضغط وهو مماثل الى شوط الضغط في محركات البترين والديزل عندما يصعد من النقطة الميتة السفلي الى النقطة الميتة العليا (حجم الحيز AB يمثل الحجم الأقصى). أما الحيز BC فهو في شوط القدرة الذي تولدت فيه الشرارة من شمعة القدح.

من الشكل (5.3b) يلاحظ وصول شوط السحب في الحيز CA الى النصف كما أن شوط الضغط في الحيز AB وصل الى النصف أيضاً أما شوط القدرة في الحيز BC فهو عند نهايته والدوار على وشك طرد العادم منة.



(a) **شوط السحب** (b) **شوط الضغط** (c) **شوط القدرة** (d) **شوط العادم**

شكل (5.3) **: دورة محرك ونكل (الدوران عكس عقرب الساعة)**



شكل (5.4) **: دورة محرك ونكل لمحجر واحد** (A) **سحب** (B) **ضغط (اللون الاحمر) والقدرة (اللون البرتقالي)** (C) **شوط العادم**

ويظهر الشكل (5.3c) إن شوط السحب في الحيز CA في جزئه الأخير كما وصل شوط الضغط في الحيز AB الى نهايته تقريباً. بينما بدأ شوط العادم في حيز BC بطرد العادم باستخدام الضغط المتبقي فيه نتيجة الاحتراق فضلاً عن الضغط الذي يتولد في الحيز نتيجة دوران الدوار.

بينما يظهر الشكل (5.3d) أن شوط السحب للحيز CA عند نهايته وشوط القدرة بدأ في الحيز AB أما شوط العادم للحيز BC عند ربعه الأخير. يظهر من هذا الأداء لمحرك ونكل أن لكل حيز أربعة أشواط وهي السحب والضغط والقدرة والعادم. وهذه الأشواط الأربعة تنجز بدورة واحدة للدوار (rotor) أي أن كل شوط يأخذ 90^0 من دوران الدوار. فضلاً عن ذلك كل حيز يمثل أسطوانة في محركات البترين والديزل.

يوضح الشكل (5.4) الأشواط الأربعة لحيز واحد إذ أن (A) تمثل شوط السحب وفيه تُفتح فتحة أدخال الخليط بصورة كاملة وعند عبور قمة الدوار هذه الفتحة ينتهي شوط السحب ويبدأ شوط الضغط. إما (B) تمثل شوط الضغط عند نهايته وبداية شوط القدرة وفيه يُحصر الخليط بين قمتي الدوار. إما (C) فتمثل شوط العادم وفيه تفتح فتحة خروج العادم بصورة كاملة ويقوم الدوار بدفع العادم الى الخارج.

❖ 5.4 مميزات محرك ونكل The Advantages Of Winkle Engine

تتميز محركات ونكل عن المحركات ذات المكابس (المحركات الترددية) بما يلي:

1. محركات ونكل أبسط تركيباً وأخف وزناً وأقل أجزاء متحركة مقارنةً مع المحركات ذات المكابس والتي تساويها في القدرة.
2. تتميز محركات ونكل بالمتانة وسهولة نقل القدرة فضلاً عن ذلك نسبة القدرة الى الوزن عالية فيها مقارنةً مع المحركات ذات المكابس بسبب عدم وجود كتلة ترددية فيها كالمكابس فضلاً عن عدم وجود أجزاء عرضه للإجهاد الحراري والذي قد يؤدي الى تمزقها (stress failure).
3. كما تتميز محركات ونكل بسرعة استجابتها للتغييرات في صمام الخنجرة في جهاز وقود البترين لهذا تعطي قدرة إضافية عند الحاجة خصوصاً في السرع العالية.
4. مقدمة محركات ونكل صغيرة لهذا يمكن استخدامها في الطائرات لأن معظم الضوضاء تنتج من الحركة الديناميكية للهواء (aerodynamic noise).
5. تتميز ببساطة تصميمها وصغر حجمها لهذا تكاليف تصنيعها وصيانتها منخفضة مقارنةً مع المحركات ذات المكابس والتي لها نفس القدرة.

6. فترة أشواطها أطول من النوع ذي المكابس بمقدار 50% لهذا يتوفر زمن أطول لحرق الوقود ومن ثم الاستفادة من طاقته فضلاً عن ذلك تعطي فترة الشوط الطويلة فرصة أفضل لحقن الوقود مباشرةً.
7. تتميز محركات ونكل بسهولة تدفق خليط الهواء والوقود داخلها فضلاً عن طول فترة دورتها مما يعطيها تفوق كبير بخلط الهواء والوقود أو خلط الهيدروجين مع الهواء.

❖ 5.5 عيوب محركات ونكل Disadvantages Of Winkle Engines

من أهم عيوب محركات ونكل هي:

1. استهلاكها قدرة عالية لأداء عملها مقارنة مع المحركات ذات المكابس في المسافات الطويلة.
2. تحرق زيت أكثر من المحركات ذات المكابس.
3. يبلغ استهلاكها للوقود 5 لتر لكل 40 كم.
4. تعاني من مشكلة إحكام الفسحات بين الدوار والحاوية وخصوصاً في الأجواء الباردة.
5. ارتفاع تكاليف صيانة المحركات بسبب ارتفاع تكاليف بعض المواد الاحتياطية.
6. قلة العاملين اللذين لديهم خبرة في هذه المحركات فضلاً عن قلة ورش التصليح بسبب محدودية استخدام محرك ونكل.

❖ 5.6 المحركات ثنائية الأشواط Two Strokes Engines

5.6.1 مقدمة

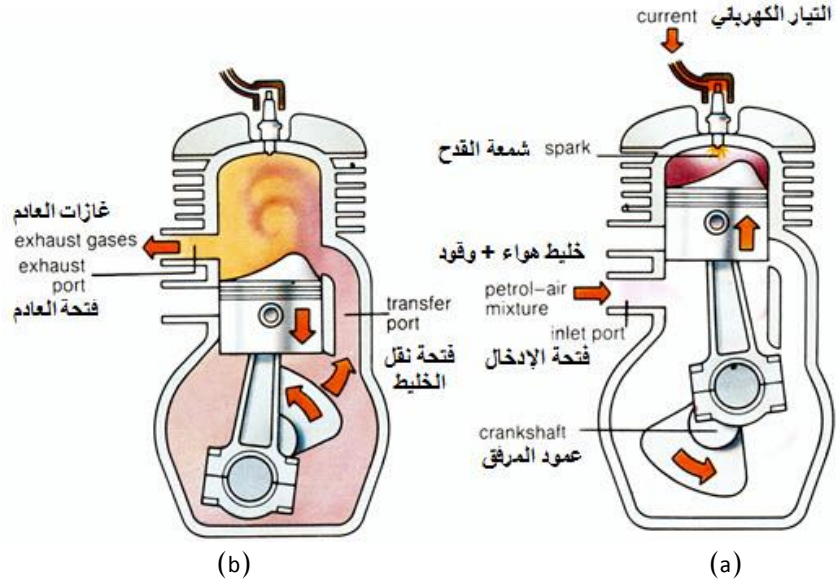
من مساوئ المحركات رباعية الأشواط أن ثلاثة من أشواطها وهي السحب والضغط والعادم مستهلكة للطاقة والشوط الوحيد المنتج لها هو شوط القدرة. بينما في المحركات ثنائية الاشواط هناك شوط قدرة منتج للطاقة وشوط واحد مستهلك لها.

اخترعت المحركات ثنائية الاشواط من قبل Clerk سنة 1881 وهي محركات تُكمل دورتها بدورة واحدة لعمود المرفق. زودت هذه المحركات في البداية بمضخة مكبسيه لإجبار الخليط على الدخول الى المحرك. إلا إن هذه المحركات حُورت من قبل Day سنة 1891 وذلك بالاستغناء عن مضخة الخليط والاستعاضة عنها باستخدام الفراغ الموجود

تحت المكبس (case) لإدخال الخليط فيه ومنه الى الأسطوانة فضلاً عن ذلك لم تزود المحركات ثنائية الأشواط بصمامات إذ يقوم المكبس بدور الصمامات بأغلاق وفتح فتحتي السحب والعادم.

❖ 5.7 دورة المحركات ثنائية الأشواط Two Strokes Engine Cycle

عند صعود المكبس الى الاعلى (شكل 5.5a) يتخلل الضغط تحت المكبس ليصبح أقل من الضغط الجوي عندها يندفع الخليط (petrol-air mixture) الى الحيز الموجود تحت المكبس بواسطة الضغط الجوي ومن خلال فتحة الادخال (Inlet port). كما أن صعود المكبس الى الأعلى يغلق فتحة أدخال الخليط الى غرفة الاحتراق (transfer port) ويغلق فتحة اخراج العادم (exhaust port). وبصعوده أيضا الى الأعلى يزداد الضغط وترتفع درجة الحرارة وعندها تتولد الشرارة بواسطة شمعة القدح فيحترق الوقود ويرتفع الضغط فيندفع المكبس الى الأسفل.



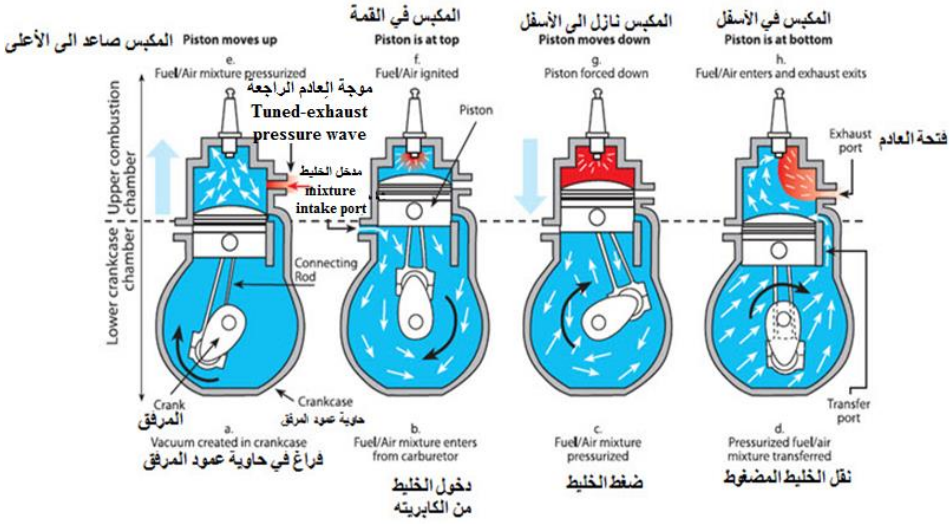
شكل (5.5) : دورة المحركات الثنائية الأشواط

وعندما يترل المكبس الى الأسفل تنكشف فتحة خروج العادم أولاً فيندفع الى خارج الأسطوانة بتأثير الضغط المتبقي فيها نتيجة احتراق الوقود (شكل 5.5b). وعند نزول المكبس الى الأسفل مسافة صغيرة أخرى ينفتح ممر تغذية الخليط الى غرفة الاحتراق

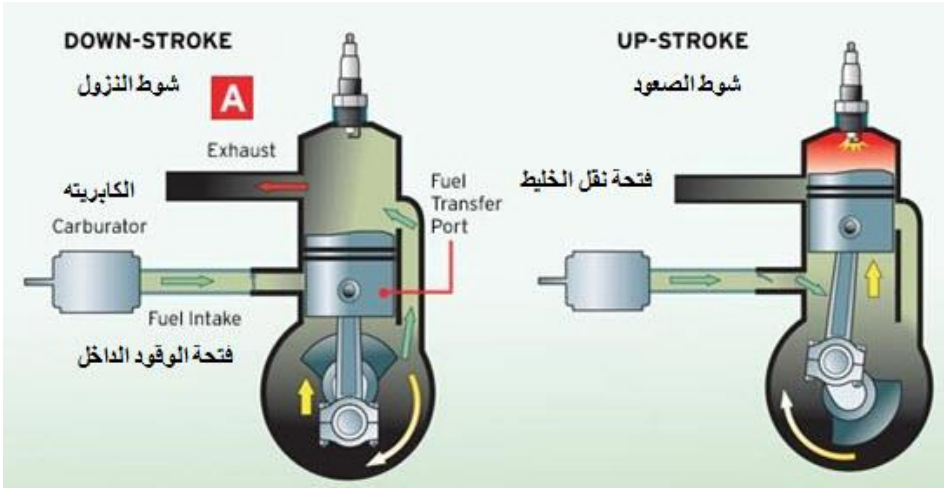
وتُغلق فتحة أدخال الخليط الى الحيز الموجود تحت المكبس. كما يؤدي نزول المكبس الى الأسفل الى توليد ضغطاً على الخليط الموجود تحته فيندفع من خلال ممر تغذية الخليط الى غرفة الاحتراق وبسرعة عالية. يزود المكبس بجزء مرتفع له تقعر باتجاه فتحة التغذية يقوم بدفع الخليط الى الأعلى عند اصطدامه به بدلاً من أن يتجه الى فتحة خروج العادم وهذا يساعد على دفع العادم الى الخارج من خلال ملأ الفراغ الذي يحدثه خروج العادم فضلاً عن أنه يولد قوة دفع على العادم نتيجة تزايد كميته داخل الأسطوانة وانخفاض درجة حرارته وارتفاع كثافته.

يوضح الشكل (5.6) محركاً ثنائي الأشواط والذي يختلف تصميمه الى حدأ ما عن المحرك في الشكل (5.5). إذ إن شكلِ المكبس في هذا النوع من المحركات من النوع ذي التاج المرتفع (Dome crown) فضلاً عن ذلك تقع فتحة إخراج العادم على نفس الجهة التي يوجد فيها ممر تغذية غرفة الاحتراق بالخليط transfer port. كما إن موقع فتحة اخراج العادم أعلى منها لممر تغذية الخليط وهذا يؤدي الى اندفاع الخليط الى الجهة البعيدة عن فتحة إخراج العادم. وبسبب ثقل وزنه مقارنةً مع العادم يساعد على دفع العادم الى الخارج فضلاً عن ذلك يقلل من كمية الخليط الذي يخسره المحرك مع العادم المطرود.

تمثل الحالة (a) في الشكل (5.6) دخول الخليط الى غرفة الاحتراق واستمرار طرد العادم من الأسطوانة. يؤدي خروج العادم من الأسطوانة الى توليد موجة بالاتجاه المعاكس لخروجه (موجة عكسية) مصدرها أنبوب نقله الى خارج المحرك فضلاً عن قيام مخمده الصوت أو المهدئة بتضخيم هذه الموجة. أما الحالة (b) فتمثل دخول الخليط الى الحيز الموجود تحت المكبس وكذلك غلق فتحتي العادم وتغذية الخليط الى غرفة الاحتراق بواسطة المكبس فضلاً عن كبس الخليط داخل غرفة الاحتراق وتوليد الشرارة. أما الحالة (c) فتمثل بداية شوط القدرة ونزول المكبس الى الأسفل وإغلاق فتحة دخول الخليط الى الحيز الموجود تحت المكبس. أما الحالة (d) فتتضمن كشف فتحة العادم لغرض تدفقه الى الخارج وفتح ممر تغذية الخليط الى غرفة الاحتراق وتتم هذه العمليات بأجمعها بواسط المكبس.



شكل (5.6) **: خطوات دخول الخليط وخروج العادم من الأسطوانة**



شكل (5.7) **محرك ثنائي الأشواط مزود بجهاز خلط الهواء والوقود** carburetor

ويوضح الشكل (5.7) تصميماً آخراً لمحركات ثنائية الأشواط. هذه النوع من المحركات مزود بجهاز خلط الوقود (Carburetor) وبمكبس يختلف تاجه (crown) عن النوعين السابقين إذ أنه مزود بجزء مرتفع بصورة محدودة. كما أن فتحة إخراج العادم مرتفعة عن فتحة تغذي غرفة الاحتراق بالخليط (fuel transfer port). تقع فتحة

التغذية في الجهة المقابلة لفتحة خروج العادم. يعاني هذا التصميم من مشكلة خروج جزء من الخليط الداخل الى الأسطوانة مع العادم بسبب محدودية ارتفاع الجزء المرتفع من المكبس والذي لا يستطيع تغيير أتجاه الخليط بصورة تامة. إلا أن عملية تنظيف الأسطوانة من العادم في هذا التصميم أفضل من النوعين السابقين بسبب قيام الخليط بدفع العادم بقوة خارج الأسطوانة.

❖ 5.8 مميزات وعيوب محركات ثنائية الأشواط

Advantages And Disadvantages Of Two Stroke Engines

تتميز المحركات ثنائية الاشواط بصغر حجمها وبساطة تركيبها ونعومة عملها. فضلاً عن ذلك تنتج شوط قدرة واحد لكل دورة من دورات عمود المرفق مما يجعل عدد أشواط القدرة التي تنتجها هذه المحركات ضعف تلك التي تنتجها المحركات رباعية الاشواط عند تساوي السرعتين. وهذا يعني أن القدرة التي تنتجها هي ضعف تلك التي تنتجها المحركات رباعية الاشواط. إلا أن التجارب العملية لم تثبت ذلك إطلاقاً.

من عيوب هذا النوع من المحركات هو اختلاط العادم مع الخليط على الرغم من تزويد المكبس بجزء مرتفع لحرف الخليط بعيداً عن فتحة خروج العادم. تؤدي عملية الخلط الى زيادة حرارة الخليط مما يسبب زيادة حجمه وجعله يملأ حيزاً أكبر من الحيز الذي يفترض أن يملأه لو كانت حرارته منخفضة. فضلاً عن ذلك خروج جزء من الخليط مع العادم الى الخارج وهذا يقلل من الطاقة الناتجة من حرق الوقود لقلة كميته فضلاً عن زيادة استهلاك الوقود.