به‌نام‌خدا

تکنولوژی و طراحی موتورهای احتراق داخلی

(بنزینی و دیزلی)

مانی قنبری

عضو هیات علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

فهرست مطالب

فصل اول انواع موتورهای احتراقی ۱
۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ انواع موتورهای احتراقی ۱
۱-۳ انواع موتورهای احتراق داخلی ۳
۱-۴ انواع موتورهای احتراق خارجی ۵
۱-۵ تاریخچه و معرفی موتورهای احتراق داخلی ۵
۱-۵-۱ از گردونه چرخان تا موتور جیمزوات ۶
۱-۵-۲ موتور باروتی هویگنس ۷
۱-۵-۳ موتور لنویر ۸
۱-۵-۴ چرخه ترمودینامیکی اتو ۸
۱-۵-۵ چرخه نیکلاس کارنو ۱۰
۱-۵-۶ چرخه چهار زمانه ۱۲
۱-۵-۶-۱ مرحله اول (مرحله مکش) ۱۳
۱-۵-۶-۲ مرحله دوم (مرحله تراکم) ۱۴
۱-۵-۶-۳ مرحله سوم (مرحله توان) ۱۴
۱-۵-۶-۴ مرحله چهار (مرحله تخلیه) ۱۵
۱-۵-۷ تلاش‌های بنز، دیملر و استوارت ۱۶
۱-۵-۸ موتور دیزل ۱۶
۱-۵-۹ موتورهای دو زمانه ۱۹
۱-۵-۱۰ موتورهای شش زمانه ۲۴
۱-۵-۱۰-۱ مقدمه ۲۵
۱-۵-۱۰-۲ مزایای موتور شش زمانه: ۲۵
۱-۵-۱۰-۳ عملکرد موتورهای شش زمانه ۲۶
۱-۵-۱۰-۴ شرح کار موتور ۳۰
۱-۵-۱۰-۵ مزایای مهم موتورهای شش زمانه عبارت است از: ۳۳
۱-۵-۱۱ توربین گازی ۳۵

۱-۵-۱۱-۱ موتورهای توربوفن یا TURBO FAN ۳۷
۱-۵-۱۱-۲ موتورهای توربوجت یا TURBO JET ۳۷
۱-۵-۱۱-۳ موتورهای توربوپراپ یا TURBO PROP ۳۸
۱-۵-۱۱-۴ موتورهای پالس جت یا PULSE JET ۳۹
۱-۵-۱۱-۵ موتورهای پرشر جت یا PRESSURE JET ۳۹
۱-۵-۱۱-۶ موتورهای رم جت یا RAM JET: ۳۹
۱-۵-۱۱-۷ موتورهای سکرم جت یا SCRAM JET ۴۰
۱-۵-۱۱-۷-۱ اجزای اصلی موتورهای جت: ۴۰
۱-۵-۱۲ موتور وانکل ۴۳
۱-۵-۱۲-۱ اجزای اصلی یک موتور وانکل (دورانی) ۴۵
۱-۵-۱۳ موتور پیستون آزاد ۴۷
۱-۵-۱۳-۱ طبقه بندی موتورهای خطی پیستون آزاد FPLES ۴۹
۱-۵-۱۳-۲ انواع موتورهای پیستون آزاد از نظر تعداد پیستون ۵۰
۱-۵-۱۳-۴ مشخصات موتورهای خطی پیستون آزاد - پیستون مخالف ۵۰
۱-۵-۱۳-۵ مشخصات موتورهای خطی پیستون آزاد - پیستون دوگانه ۵۱
۱-۶ تاریخچه و معرفی موتورهای احتراق خارجی ۵۱
۱-۶-۱ موتور استرلینگ ۵۱
۱-۶-۲ طرز کار موتورهای استرلینگ ۵۲
۱-۶-۳ انواع موتورهای استرلینگ ۵۶
۱-۶-۳-۱ الف- موتورهای نوع آلفا ۵۶
۱-۶-۳-۲ ب- موتورهای نوع بتا ۵۷
۱-۶-۳-۳ ج- موتورهای نوع گاما ۵۸
۱-۶-۴ سیال عامل (گاز) داخل موتور استرلینگ ۵۸
۱-۶-۵ سرد کننده موتور استرلینگ (کولر) ۵۹
۱-۶-۶ مزایای موتور استرلینگ ۶۰
۱-۶-۷ موتور بخار ۶۰
۱-۶-۸ توربین بخار ۶۱
۱-۶-۹ مزایای توربین‌های بخار ۶۱

۱-۶-۱۰ محدودیت‌های استفاده از توربین‌های بخار..... ۶۲
۱-۶-۱۱ موارد استفاده از توربین‌های بخار..... ۶۲

فصل دوم تشریح اجزای اصلی موتورهای احتراق داخلی Error! Bookmark not defined.
۲-۱ مقدمه..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۲ قطعات و سیستم‌های اصلی موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳ سیلندر و انواع بلوک سیلندر ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۱ جنس بلوک سیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۲ انواع بلوک سیلندر بر حسب قرار گرفتن سیلندرها **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۳ عیوب بلوک سیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۴ جلوگیری از ترک خوردن بلوک سیلندر **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۵ علت پیدایش عیوب در سیلندر **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۶ سایش سیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۷ وظایف سیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۸ نیروهای مؤثر در سیلندر ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۹ مشخصات سیلندر:..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۳-۱۰ معایب سیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۴ بوش‌های سیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۵ سرسیلندر و متعلقات آن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۵-۱ متعلقات سرسیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۵-۲ جنس سرسیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۵-۳ عیوب سرسیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۵-۴ واشر سرسیلندر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۶ محفظه میل لنگ و کارتر روغن **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۷ پیستون..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۲-۷-۱ جنس پیستون‌ها ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۷-۲ قسمت‌های اصلی پیستون ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۸ رینگ‌های پیستون ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۸-۱ وظیفه رینگ‌های پیستون ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۸-۲ انوع رینگ‌ها ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۹ انگشتی پیستون (گژن پین یا پین پیستون) ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۰ شاتون یا دسته پیستون ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۰-۱ اجزای شاتون ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۱ میل لنگ و متعلقات آن ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۱-۱ لنگ‌ها یا محورهای اصلی لنگ ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۱-۲ انواع میل لنگ ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۱-۳ یاتاقان‌ها ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۲ چرخ لنگر یا فلایویل ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۲-۲ چرخ دنده فلایویل ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳ مکانیزم سوپاپ و طرز کار آن ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۱ سوپاپ ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۲ گیت سوپاپ یا راهنما ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۳ لاستیک گیت سوپاپ ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۴ سیت سوپاپ ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۵ میل بادامک ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۶ انواع میل بادامک ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۷ تپت یا بالابر سوپاپ ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۸ میله فشار دهنده ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۹ انگشتی سوپاپ (اسبک) ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۱۰ فنر سوپاپ ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۲-۱۳-۱۱ خار نگهدارنده بشقابک سوپاپ ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

۲-۱۳-۱۲ استکانی یا پیرو..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۱۳-۱۳ اهمیت تنظیم بودن لقی سوپاپ **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۱۴ طراحی انواع مکانیزم سوپاپها.. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۱۵ تایمینگ یا زمان بندی سوپاپ **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

فصل سوم سیستم روغنکاری موتورهای احتراق داخلی Error! Bookmark not defined.
۳-۱ اهداف روغن کاری موتور ..... Error! Bookmark not defined.
۳-۲ اجزای سیستم روغن کاری موتور و نحوه عملکرد آنها **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۱ پمپ روغن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۳ مجاری روغن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۴ سوپاپ اطمینان شیر فشار شکن **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۵ فیلتر روغن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۶ شاخص‌های فشار روغن ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۷ شاخص‌های تراز روغن و میله اندازه گیری روغن **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۸ شاخص تعویض روغن ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۹ شاخص روغن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۲-۱۰ روغن سرد کن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۳ انواع سیستم‌های روغن کاری موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۳-۱ روغن کاری با روش پرتایی (درهم برهم): **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۳-۲ روغن کاری تحت فشار..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۳-۳ روغن کاری ترکیبی (تحت فشار و پرتابی) **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۳-۴ انواع مدارهای روغن کاری موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۴ روانکارها..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۳-۴-۱ وظایف روغن..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۴-۲ ویژگی‌های روغن موتور..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۳-۴-۲ درجه بندی کاری روغن موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

فصل چهارم سیستم خنک کاری موتورهای احتراق داخلی Error! Bookmark not defined.
۴-۱ اهداف خنک کاری موتور ..... Error! Bookmark not defined.
۴-۲ انواع سیستم خنک کاری موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۲-۱ هوا خنک..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۲-۲ آب خنک..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۲-۲-۱انواع سیستم خنک کننده آبی **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۲-۲-۲ مزایای موتور آب خنک.. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۲-۲-۳ معایب موتور آب خنک.. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳اجزای سیستم خنک کاری و نحوه عملکرد آن‌ها **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۱ رادیاتور..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۲ درب رادیاتور..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۳ منبع انبساط..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۴ پمپ آب (واتر پمپ)..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۵ ترموستات..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۶ پروانه (فن)..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۷ مجرای آب..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۴-۳-۸ حسگر دمای آب..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

فصل پنجم سیستمهای سوخت رسانی موتورهای احتراق داخلی Error! Bookmark not defined.
۵-۱ مقدمه..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۵-۲- سیستم سوخت رسانی موتورهای بنزینی **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۵-۲-۱ سیستم کاربراتوری..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۵- ۲-۲ سیستم سوخت رسانی انژکتوری **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۵-۳- سیستم های سوخت رسانی موتورهای دیزل **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

فصل ششم سیستم هوارسانی موتورهای احتراق داخلی..... ۱۵۸
۶-۱- مقدمه..... ۱۵۸
۶-۲- اجزاء و نحوه عملکرد سیستم هوارسانی موتور..... ۱۵۸
۶-۳ زمان بندی و تایمینگ سوپاپهای موتور..... ۱۶۱
۶-۴ سیستم مانیفولد هوای ورودی متغیر (VIS)..... ۱۶۱
۶-۵ تکنولوژی زمان‌بندی متغییر سوپاپ‌ها VVT- CVVT (CONTINUOUSLY VARIABLE VALVE TIMING)..... ۱۶۴
۶-۶ لزوم به کار گیری تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ در موتور..... ۱۶۵
۶-۷ انواع تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ‌ها..... ۱۶۷
۶-۸ طرح سوپاپ در سوپاپ..... ۱۶۹

فصل هفتم ترمودینامیک و چرخه‌های موتورهای احتراق داخلی ۱۷۱
۷-۱ مقدمه..... ۱۷۱
۷-۲ قانون گازهای ایدهآل..... ۱۷۱
۷-۳ رابطه بین فشار و درجه حرارت یک گاز..... ۱۷۲
۷-۴ معادله اساسی گازها..... ۱۷۲
۷-۵ درجه حرارت و فشار استاندارد..... ۱۷۴
۷-۶ گرمای ویژه یک گاز..... ۱۷۵
۷-۷ گرمای ویژه در حجم ثابت..... ۱۷۵

۷–۸ گرمای ویژه در فشار ثابت..... ۱۷۶
۷–۹ نسبت گرماهای ویژه..... ۱۷۷
۷–۱۰ فرآیند ترمودینامیکی گازهای کامل..... ۱۷۸
۷–۱۱ فرآیند تراکم یا انبساط آدیاباتیک..... ۱۷۸
۷–۱۲ فرآیند پلی تروپیک..... ۱۷۹
۷–۱۳ تعیین اندازهٔ توان N..... ۱۸۰
۷–۱۴ ترکیب معادلات عمومی و اساسی گاز..... ۱۸۱
۷–۱۵ کار انجام شده در حین انبساط و یا تراکم گاز..... ۱۸۳
۷–۱۶ فرآیند انبساط آزاد..... ۱۸۵
۷– ۱۷ فرآیند خفگی..... ۱۸۶
۷–۱۸ چرخه اتو..... ۱۸۶
۷–۱۹ راندمان حرارتی چرخه اتو..... ۱۸۸
۷–۲۰ کارخروجی چرخه اتو..... ۱۹۰
۷– ۲۱ فشار موثر متوسط چرخه اتو..... ۱۹۱
۷–۲۲ چرخه دیزل..... ۱۹۲
۷–۲۳ راندمان حرارتی چرخه دیزل..... ۱۹۴
۷–۲۴ کار خروجی چرخه دیزل..... ۱۹۵
۷–۲۵ فشار موثر متوسط چرخه دیزل..... ۱۹۶
۷–۲۶ چرخه اشتعال دوگانه..... ۱۹۶
۷–۲۷ راندمان حرارتی چرخه اشتعال دوگانه..... ۱۹۸
۷–۲۸ کار خروجی چرخه اشتعال دوگانه..... ۲۰۰
۷–۲۹ فشار موثر متوسط چرخه اشتعال دوگانه..... ۲۰۰
۷–۳۰ راندمان استاندارد هوا..... ۲۰۱
۷–۳۱ راندمان نسبی..... ۲۰۴
مسائل تکمیلی فصل هفتم..... ۲۰۵
بخش اول..... ۲۰۵
بخش دوم..... ۲۱۱
بخش سوم..... ۲۱۴

فصل هشتم طراحی موتور و تحلیل تاثیر متغیرهای مختلف بر عملکر آن Error! Bookmark not defined.

۸-۱ مقدمه..... Error! Bookmark not defined.

۸-۲ طراحی موتور و خواص هندسی آن **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۳ نسبت تراکم و تاثیر آن بر طراحی و متغییرهای موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۳-۱ نسبت تراکم و تأثیر آن بر افزایش توان موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۳-۲ ازدیاد نسبت تراکم از طریق افزایش شعاع لنگ و تاثیر آن بر فشار موثر متوسط **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**.....

۸-۳-۴ ازدیاد نسبت تراکم از طریق کاهش حجم محفظه احتراق **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۳-۵ تأثیر ازدیاد نسبت تراکم بر خودسوزی موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۴ گشتاور و توان ترمزی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۵ کار اندیکاتوری موتور ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۶ فشار موثر متوسط..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۶-۱ فشار موثر متوسط اندیکاتوری (IMEP) **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۶-۲ فشار موثر متوسط ترمزی (BMEP) **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۷ مصرف سوخت ویژه..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۸ نسبت های هوا به سوخت و سوخت به هوا **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۹ توان معادل سوخت..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۱۰ توان اندیکاتوری..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۱۱ توان اصطکاکی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۱۲ توان ترمزی (مفید)..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۸-۱۳ توان بار جاده..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۴ راندمان ویژه سوخت..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۵ راندمان احتراقی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۶ راندمان حرارتی اندیکاتوری وحرارتی ترمزی **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۷ راندمان مکانیکی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۸ راندمان حجمی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۸-۱ راندمان حجمی و تاثیر آن بر متغییرهای مختلف **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۸-۲ راندمان حجمی و تاثیر متغییرهای مختلف برآن **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۱۹ راندمان روبشی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۲۰ ضرایب تصحیح برای توان و بازده حجمی **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۲۱ روابط میان پارامترهای عملکردی. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۲۲ بررسی متغیرهای عملکردی موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۲۳ بررسی تلفات حرارت در موتور. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۸-۲۹ تداخل احتراق و تعادل در موتور. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
مسائل تکمیلی فصل هشتم..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

فصل نهم موتورهای احتراق داخلی و آلاینده‌های زیست محیطی Error! Bookmark not defined.
۹-۱ مقدمه..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۲ انواع آلاینده‌های زیست محیطی خروجی از اگزوز موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۳ بررسی آلاینده‌های زیست محیطی خروجی از اگزوز **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۴ آلاینده‌ها و استانداردهای آلایندگی **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

۹-۴-۱ استانداردهای آلایندگی..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۴-۲ تکنولوژی دستگاه‌های آلاینده سنج **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۵ طرح‌های کنترل و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی اگزوز موتور **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۵-۱ طراحی داخل موتور..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۵-۲ کنترل و کاهش آلاینده‌های خروجی از اگزوز **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۹-۵-۳ استفاده از تکنولوژی سوختهای جایگزین **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

منابع **۲۹۴**

فصل اول

انواع موتورهای احتراقی

۱-۱ مقدمه

امروزه با ماشینی شدن بسیاری از کارها و تولید انبوه موتورهای احتراقی، نیاز به سوخت-های فسیلی افزایش پیدا کرده و در نتیجه با استخراج نفت خام، منابع زیر زمینی کاهش یافته است. از طرف دیگر آلاینده‌های خروجی از اگزوز این موتورها، مشکلاتی مثل آلودگی زیست محیطی و به خطر انداختن سلامت جامعه را به دنبال دارد. بنابراین اهمیت مطالعه روی موتور احتراقی روز به روز بیشتر و تلاش برای پیشرفت در طراحی و عملکرد بهینه آن جایگاه ویژه‌ای دارد.

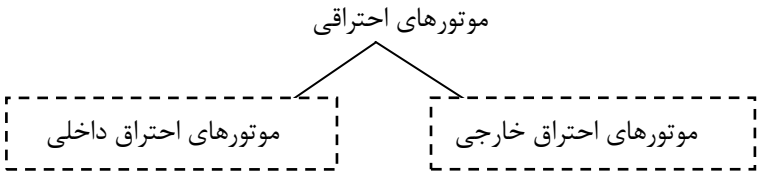
یک موتور احتراقی عبارت است از وسیله‌ای که انرژی شیمیایی سوخت را به انرژی گرمایی و کار مکانیکی تبدیل می‌نماید، این مبدل انرژی ورودی آن سوخت و هوا و خروجی آن در حالت احتراق کامل آب، دی‌اکسید کربن و نیتروژن است. تمام تلاش در موتورهای احتراقی بر این است که احتراق کامل باشد، همچنین جذب و تبدیل انرژی گرمایی تولیدی در محفظه‌ی احتراق موتور به حداکثر مقدار خود برسد.

۱-۲ انواع موتورهای احتراقی

موتورهای احتراقی به دو گروه وسیع تقسیم می‌شوند:

۱- موتورهای احتراق خارجی
۲- موتورهای احتراق داخلی

تقسیم بندی کلی موتورهای احتراقی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ انواع موتورهای احتراقی

در موتورهای احتراقی انرژی شیمیایی سوخت، ابتدا توسط احتراق یا اکسیداسیون با هوا در داخل موتور، به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. این انرژی حرارتی، باعث افزایش دما و فشار گازهای داخل موتور می‌گردد، سپس گاز با فشار زیاد، در برابر مکانیزم‌ها مکانیکی موتور منبسط می‌شود. این انبساط توسط اتصالات مکانیکی موتور، به حرکت یک میل لنگ دوار تبدیل می‌گردد، که خروجی موتور می‌باشد. این میل لنگ به یک مجموعه انتقال قدرت متصل است که این انرژی را به خروجی مورد نظر تبدیل می‌کند.

در یک موتور احتراق خارجی، نتیجه اشتعال سوخت و هوا، انتقال گرما به سیال دومی به نام سیال عامل چرخه است، مانند ماشین بخار و یا توربین بخار که گرمای ناشی از اشتعال برای تولید بخار به کار گرفته می‌شود و بخار حاصله در یک موتور پیستونی و یا توربین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توربین گازی و موتور استرلینگ از انواع دیگر موتورهای احتراق خارجی محسوب می‌شوند. در یک موتور احتراق داخلی محصولات احتراقی به طور مستقیم تشکیل سیال عامل را می‌دهند. موتورهای اشتعال جرقه‌ای، دیزلی، گازی، موتور وانکل، موتور جت و موتور موشک نمونه‌هایی از موتورهای احتراق داخلی بشمار می‌آیند.

از برتری‌های مهم موتورهای احتراق داخلی بر موتورهای احتراق خارجی می‌توان سادگی در قطعات مکانیکی، نسبت پایین وزن به توان تولیدی آن‌ها به خاطر عدم وجود دستگاه‌های جانبی مثل دستگاه بخار و تغلیظ کننده و در نتیجه پایین بودن قیمت اولیه، بالا بودن راندمان و نیاز به آب کمتر را نام برد. مزیت مهم موتورهای احتراق خارجی ارزان بودن سوخت مصرفی آنها و استفاده از سوخت‌های جامد است. موتورهای احتراق خارجی برای تولید برق و موتورهای احتراق داخلی اغلب برای استفاده در وسایل حمل و نقل زمینی، هوایی و دریایی و ماشن‌های

کشاورزی و صنعتی به کار می‌روند. از آن جا که موتورهای احتراق خارجی بسیار حجیم است و سیال عامل را به سختی می‌توان حمل کرد، این موتورها برای استفاده در وسایل حمل و نقل چندان مناسب نیست.

۱-۳ انواع موتورهای احتراق داخلی

موتور درون سوز یا موتور احتراق داخلی ترجمه عبارت انگلیس Internal combustion Engine است و به موتورهایی گفته می‌شود که سوخت در داخل محفظه موتور سوزانده می‌شود.

موتورهای احتراقی داخلی را می‌توان به صورت‌های زیر طبقه بندی کرد:

۱- طراحی موتور: موتورهای دوار (وانکل) و موتورهای رفت وبرگشتی که با توجه به نحوه قرارگیری سیلندرها به انواع خطی و خورجینی (V شکل)، شعاعی، تخت (خوابیده) تقسیم-بندی می‌شوند.

۲- سیکل کاری: سیکل دوزمانه و سیکل چهارزمانه، سیکل شش زمانه

۳- طراحی سوپاپ‌ها: سوپاپ رو (I هد)، سوپاپ کناری در دو طرف (T هد)، سوپاپ خورجینی (H هد)، سوپاپ متقابل (در بالا و پایین) (F هد)، سوپاپ کناری در یک طرف (L هد)، سوپاپ دوار، سوپاپ‌های با کنترل الکترونیکی.

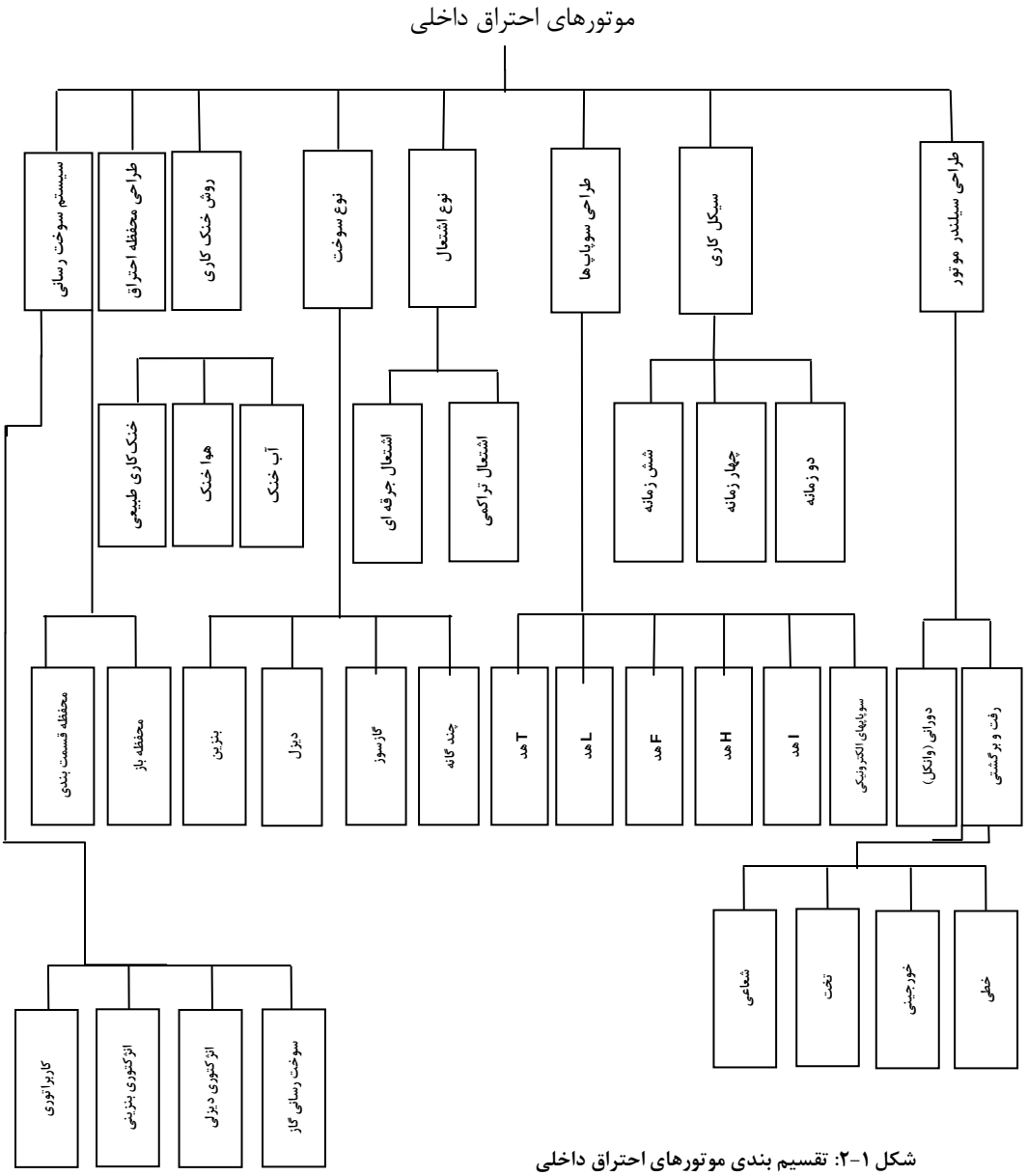
۴- نوع اشتعال: اشتعال جرقه‌ای (موتور اتو) و اشتعال تراکمی (موتور دیزل).

۵- نوع سوخت: (مایع - گاز) سوخت‌های فسیلی مانند بنزین، گازوئیل، گازمایع، گاز طبیعی، دو گانه سوز و غیره سوخت‌های گیاهی مانند: بیو دیزل، بیوماس، الکل، نانو سوخت-های مختلف و غیره.

۶- روش خنک کاری: موتورهای آب خنک، موتورهای هوا خنک، خنک کاری طبیعی (بدون خنک کاری)

۷- طراحی محفظه احتراق: محفظه باز (مثل دیسکی، گوه‌ای، نیم کره، کاسه‌ای در پیستون) و محفظه قسمت بندی شده (مثل محفظه‌های کمکی بزرگ و کوچک حلزونی، محفظه اولیه).

۸- نوع سیستم سوخت رسانی: کاربراتوری، انژکتوری پاشش در مانیفولد، انژکتوری پاشش مستقیم. انواع نام برده در شکل ۱-۲ شان دهنده اهمیت سیستم‌های مختلف در یک موتور است اما در این کتاب بیشتر بررسی چند بخش از آن می‌پردازیم.



شکل ۱-۲: تقسیم بندی موتورهای احتراق داخلی

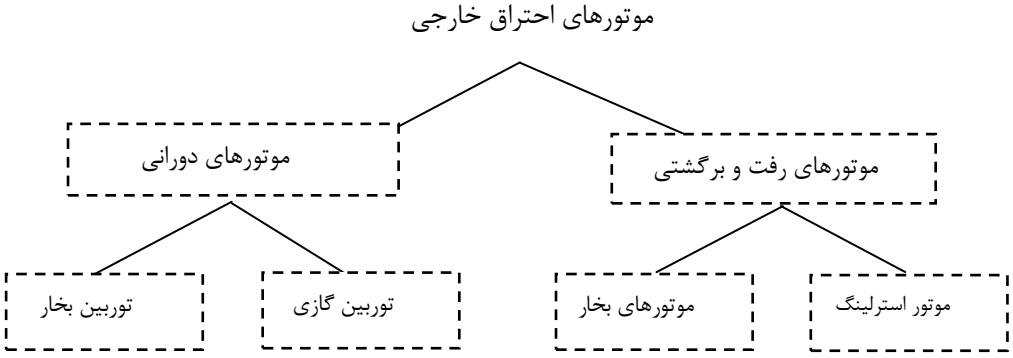
۱-۴ انواع موتورهای احتراق خارجی

موتور برون سوز یا احتراق خارجی ترجمه عبارت External combustion Engine نوعی موتور گرمایی می‌باشد که در آن سیال عامل داخلی توسط انرژی حاصل از احتراق یک سیال عامل دیگر گرم شده و در طی یک چرخه ترمودینامیکی کار توسط سیال عامل داخلی منتقل می‌شود. مانند: توربین بخار و موتور استرلینگ.

مهمترین نوع طبقه بندی موتورهای احتراق خارجی که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است معمولا بر اساس طراحی موتور و نوع حرکت آن‌ها انجام می‌شود که عبارتند از:

۱- موتورهای رفت و برگشتی: این دسته شامل انواع موتورهای استرلینگ و موتور بخار است.

۲- موتورهای دورانی: این دسته شامل توربین گازی و توربین بخار است.



شکل ۱-۳: تقسیم بندی موتورهای احتراق خارجی

۱-۵ تاریخچه و معرفی موتورهای احتراق داخلی

این قسمت به بررسی برخی از اقدامات و طراحی‌های انجام شده توسط افراد و دانشمندان مختلف از ابتدای تاریخ موتورهای احتراق داخلی تا به امروز پرداخته شده است.

۱-۵-۱ از گردونه چرخان تا موتور جیمزوات

در قرن اولیه پس از میلاد در اسکندریه، گردونه خودکاری اختراع شد که شاید بتوان گفت اولین گام برای پیدایش موتور بود. این گردونه خودکار با بخار کار می‌کرد. بخار از دو یا چند نازل در خلاف جهت یک دیگر و از اطراف یک گردونه بیرون می‌زد و باعث چرخش آن می‌شد.

در سال ۱۶۲۹ یک آرشیتکت ایتالیایی به نام گیوانی برانکا دیگی اختراع کرد که بخار آن به پرهای یک چرخ برخورد کرده، آن را به حرکت در می‌آورد. در سال ۱۶۹۰ شخصی فرانسوی به نام دنیس پاپین، یک سیلندر مکشی اختراع کرد. طرز کار آن به ترتیب بود که بخار را به داخل محفظه می‌فرستاد و بعد این بخار را با سرد کردن بدنه سیلندر دوباره تبدیل به آب نمود. همیشه تبدیل بخار به آب با کاهش حجم همراه است و همین امر باعث ایجاد خلاء می‌شد و نیروی مکش این خلاء پیستونی را داخل سیلندر به حرکت در می‌آورد.

معمولاً اختراع اولین موتور را به یک آهن فروش به نام توماس نیوکامن در سال ۱۷۱۲ نسبت می‌دهند. پنجاه سال بعد از نیوکامن یعنی ۱۷۶۲ جیمزوات با استفاده از اختراع او یک ماشین بخار کامل ساخت.

سیلندر موتور نیوکامن می‌بایستی به طور مرتب سرد و گرم می‌شد و این کار احتیاج به سوخت و مصرف زیادی داشت تا این که در سال ۱۷۶۵ جیمزوات آن را کامل کرد. طرز کار آن به این صورت بود که بخار پس از انجام کار در سیلندر، به یک ظرف خالی از هوا به نام کندانسور یا تغلیظ کننده هدایت می‌شد و با سرد کردن تبدیل به آب می‌گردید.

این کار، یعنی حذف فرآیند سرد و گرم کردن سیلندر باعث تکاملی عظیم در صنعت ساخت موتور گردید. موتور جیمزوات مانند موتور نیوکامن یک محور به شکل الاکلنگ را به حرکت در می‌آورد که انتهای این محور پمپی را به کار می‌انداخت. طولی نکشید که حرکت الاکلنگی این ماشین بخار به حرکت دورانی تبدیل شد. از سال ۱۸۰۰ به بعد، علاوه بر موتورهای مکشی، موتور دیگری اختراع شد که با بخار آب تحت فشار کار می‌کرد. مخترع این موتور ریچار تروسیک می‌باشد که موتور او مکمل موتور وات بود. اما در تاریخ اختراعات آمده است که کامل‌ترین کشتی با نیروی محرکه بخار برای اولین بار در آمریکا توسط رابرت فالتون ساخته شد و این کشتی اولین سفر دریایی خود را در سال ۱۸۰۷ با موفقیت انجام داد.

دیگر پیش قدمان صنعت موتور سازی و ماشین‌سازی عبارت بودند از استفن سان ، پدر جرج و رابرت. در سال ۱۸۱۴ استفن سان اولین لوکوموتیو خود را بر روی ریل‌های یک معدن

زغال سنگ به کار انداخت. در سال ۱۸۲۵ راه‌آهنی بین دو شهر استوگون و دارلینگ تون برای حمل کالا و مسافر کشیده شد که لوکوموتیو آن را جرج استفن سان هدایت می‌کرد. بعد از این تاریخ، لوکوموتیو سازی یکی از اصولی‌ترین هدف‌های صنایع حمل و نقل قرار گرفت. لوکوموتیوهای بخار نتوانستند برای مدت زیادی بر روی ریل‌ها دوام بیاورند و بعدها لوکوموتیو دیزلی و دیگر اختراعات جدید این صنعت، جای آن‌ها را گرفت.

۱-۵-۲ موتور باروتی هویگنس

امروزه شنیدن نام موتور بلافاصله ما را به یاد کسانی چون اتو، دیزل و بنز می‌اندازد. اما حقیقت این است که پیش از آن‌ها افراد بسیاری در این زمینه فعالیت داشته‌اند. یکی از اولین افراد، کریستین هویگنس بود. این دانشمند هلندی در سال ۱۶۶۶ ماشینی ساخت که با نیروی حاصل از انفجار باروت کار می‌کرد. باروت در یک مخزن منفجر می‌شد و گازهای حاصل از سوختن آن، پیستون را بالا می‌برد.

وقتی که پیستون در بالای مخزن می‌ایستد، گازها از محفظه خارج می‌شوند. سپس فشار اتمسفر باعث می‌شود که پیستون دوباره به پایین باز گردد. حرکت پیستون وزنه‌ها را بالا می‌برد. وقتی پیستون به پایین سیلندر می‌رسد، می‌توان با یک انفجار مجدد کل فرآیند را تکرار کرد.

ماشین هویگنس دو مشکل عمده داشت. اول این که مواد موجود در آن زمان قابلیت تحمل این فشار بالا را نداشتند. (هویگنس هم مجبور شد برای آزمایش‌های خود از لوله توپ استفاه کند) و دوم این که کنترل دقیق عملکرد این ماشین امکان پذیر نبود. این دو اشکال سبب شد که او از ادامه کار صرف نظر کند. با توسعه ماشین‌های بخار، ایده هویگنس مدت‌ها به فراموشی سپرده شد، اما مدتی بعد مهندسان دوباره به ماشین های درون سوز روی آوردند.

توجه کنید که تفاوت اصلی ماشین هویگنس با ماشین بخار این است که در آن، احتراق سوخت و حرکت پیستون هر دو در یک محفظه انجام می‌شود، اما در ماشین بخار احتراق در یک کوره صورت می‌گیرد و انرژی ناشی از آن در بخش دیگری از ماشین حرکت ایجاد می‌کند. ماشین‌های دسته اول درون سوز و ماشین‌های دسته دوم، برون سوز نامیده می‌شوند.

۱-۵-۳ موتور لنویر

گرچه کوشش‌های فراوانی برای ساخت موتورهای احتراق داخلی که با استفاده از سوخت زغال سنگ و گاز کار کند از سال‌های ۱۸۲۰ تا ۱۸۶۰ در جریان بود، اما مهمترین کار در این زمینه ساخت موتور اشتعال غیر تراکمی گازی بود که در سال ۱۸۶۰ به وسیله یک فرانسوی به نام لنویر صورت گرفت.

موتور لنویر در اصل شبیه یک موتور بخار دو کاره بود که در آن گاز ناشی از اشتعال سوخت مخلوط - هوا جانشین بخار گردیده بود. سوخت موتور در قسمت اول کورس تامین می‌شد و سپس به وسیله یک جرقه الکتریکی مشتعل می‌گشت. این اشتعال سبب افزایش فشار درون سیلندر شده و مخلوط محصولات احتراقی در قسمت باقی مانده کورس بر روی پیستون کار انجام می‌دادند. در کورس برگشت، گازهای سوخته شده از سیلندر تخلیه می‌شدند. کورس برگشت نتیجه ذخیره شده در زمان کورس تولید قدرت به وسیله یک چرخ طیار بزرگ بود.

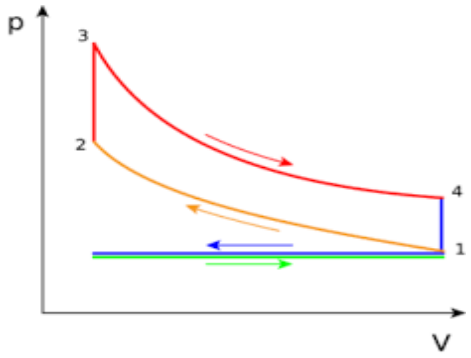
گرچه راندمان موتور لنویر به دلیل نسبت کم انبساط پایین بود، اما بهتر از راندمان یک موتور بخار کوچک آن زمان بود. میزان گاز مصرفی ۱۰۰ فوت مکعب در هر اسب بخار- ساعت (۳/۸ متر مکعب در هر کیلو وات ساعت) بود. موتورهای ساخته شده در محدوده تغییرات توان ۰/۵ تا ۳ اسب بخار (تا ۲/۲ کیلو وات)، با دست تغذیه شده، با سرعتی کمتر از ۱۰ دور در دقیقه کار می‌کردند. تا سال ۱۸۶۵ تقریباً ۵۰۰ دستگاه از این نوع موتورها ساخته شده و در کشورهای فرانسه و انگلیس مورد بهره برداری قرار گرفت. لنویر با موفقیت یکی از موتورها را در وسیله حمل و نقل و دیگری را در یک قایق به کار برد. موتوری را که در وسیله حمل و نقل به کار برد ۱/۵ اسب بخار (۱/۱ کیلو وات) توان تولید می‌کرد و حداکثر سرعت دورانی آن ۱۰۰ دور در دقیقه بود. وسیله نقلیه لنویر بدون این که توقف کند می‌توانست ۱۰ کیلومتر را در ۱/۵ ساعت طی کند. چرخه لنویر مشابه چرخه موتورهای جت ضربه‌ای مدرن می‌باشد.

۱-۵-۴ چرخه ترمودینامیکی اتو

در سال ۱۸۶۰ یک مرد فرانسوی به نام بیودروچاس مقاله‌ای نوشت و در آن اصول عملکرد موثر یک موتور احتراق داخلی پیستونی را توضیح داد که این اصول توسط یک مهندس آلمانی به نام نیکلاس آگست اتو به صورت عملی در یک موتور به نمایش گذاشته شد. این اصول همان چهار عمل مکش، تراکم، توان و تخلیه بود که به چرخه چهار زمانه موتورهای احتراق داخلی بنزینی تا به امروز تبدیل شد. سیکل اتو به مجموعه فرآیندهایی ایده‌آلی شامل می‌شود که

مبنای کاری موتورهای احتراق داخلی هستند. در حقیقت در اکثر وسایل نقلیه عمومی از این سیکل استفاده می‌شود. در سیکل اتو از گاز به عنوان سیال کاری استفاده می‌شود. البته هم چون سیکل رانکین و یا سیکل یخچال، سیال کاری در حالت واقعی یک چرخه را طی نمی‌کند و تنها به منظور مدل سازی راحت‌تر است که فرآیندها به صورت یک چرخه در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه در مورد نحوه عملکرد چرخه اتو بیشتر پرداخته خواهد شد..

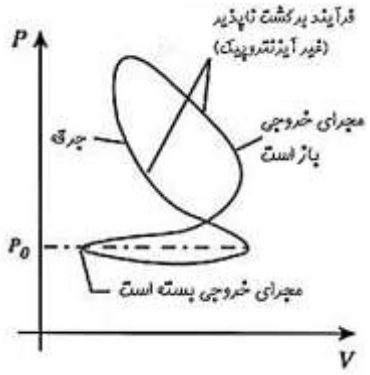
سیکل اتو از ۲ فرآیند فشار ثابت و دو فرآیند ایزوترم تشکیل شده است. اگر در همان سیکل، به جای دو فرآیند فشار ثابت، از دو فرآیند حجم ثابت استفاده شود، سیکل به دست آمده همان سیکل اتو است. به منظور تشریح فرآیندهای رخ داده در سیکل اتو در ابتدا نمودار شکل ۱-۴ را در نظر بگیرید. این نمودار نشان دهنده تغییرات فشار بر حسب حجم سیلندر در هر مرحله از سیکل است.



شکل ۱-۴: چرخه ترمودینامیکی اتو

در سیکل اتو در ابتدا مخلوط هوا و سوخت به شکل فشار ثابت به سیلندر تزریق می‌شود (این فرآیند را مکش نیز می‌نامند). پس از آن گاز به صورت ایزوترم فشرده شده و دمای آن افزایش می‌یابد. در مرحله بعد، زمانی که پیستون به بالاترین نقطه می‌رسد (در اصطلاح به این نقطه، نقطه مرگ بالا گفته می‌شود)، احتراق رخ داده و منجر به پایین آمدن پیستون و در نتیجه تولید کار می‌شود. در مرحله آخر دما و فشار گاز کاهش می‌یابد. پس از آن دوباره مخلوط سوخت و هوا مکیده می‌شود و همین مراحل تکرار خواهند شد.

سیکل واقعی اتو، تغییرات ناگهانی سیکل ایده‌آل را تجربه نمی‌کند. شکل ۱-۵ نمودار فشار- حجم مربوط به یک سیکل واقعی را نشان می‌دهد. همان طور که در آن می‌بینید، ارتباط میان فرآیندها به شکلی پیوسته و به نسبت سیکل ایده‌آل، آرام‌تر اتفاق می‌افتد.



شکل ۱-۵: نمودار چرخه واقعی اتو

۱-۵-۵ چرخه نیکلاس کارنو

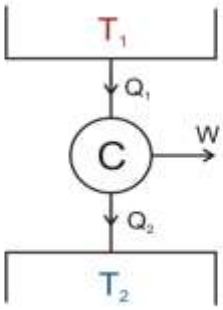
یکی از مهم‌ترین چرخه‌های بازگشت پذیر، چرخه‌ی کارنو است که توسط سعدی کارنو معرفی شد. این سیستم شامل یک ماده است که انتقال گرما را به عهده دارد و در اصطلاح ماده کار نامیده می‌شود. چرخه از دو فرآیند هم دمای بازگشت پذیر (ISOTHERMAL) و دو فرآیند بی در رو بازگشت پذیر (ADIABIATIC) تشکیل شده است.

اگر چه ماشین‌های گرمایی واقعی بر پایه‌ی یک چرخه‌ی بازگشت پذیر کار نمی‌کنند، ولی چرخه‌ی کارنو (که بازگشت پذیر است) اطلاعات مفیدی درباره رفتار هر ماشین گرمایی به دست می‌دهد و اهمیت خاصی دارد، زیرا می‌توان اثبات کرد چرخه کارنو تعیین کننده حد بالای بازده ماشین‌های حقیقی است و بنابراین هدفی را که باید به آن برسیم مشخص می‌کند.

چرخه‌ی کارنو را می‌توان با معکوس کردن جهت فرآیندها انجام داد (توجه کنید که تمامی مراحل این چرخه بازگشت پذیرند). در چنین چرخه‌ای، باید کار روی سیستم انجام شود تا گرما از منبعی با دمای پایین به منبعی با دمای بالا (یعنی در جهت عکس فرآیندهای خود به خود طبیعت) منتقل گردد. بنابراین، سیستم مانند یخچال عمل می‌کند. یعنی با کاری که به آن داده می‌شود (توان الکتریکی ورودی) گرما را از جایی که دمای پایین قرار دارد (درون یخچال) به جایی با دمای بالاتر (اتاق) منتقل می‌کند.

کارنو نخستین کسی بود که مطالبی علمی در مورد ماشین‌های گرمایی منتشر کرد. او در سال ۱۸۲۴ مقاله‌ای با عنوان اندیشه‌هایی درباره‌ی قدرت محرکه گرما منتشر کرد. در آن هنگام استفاده از ماشین بخار که یک ماشین گرمایی است، در صنعت متداول بود. کارنو توجه خود را به این واقعیت معطوف کرد که اختلاف دمای دو منبع، سرچشمه‌ی حقیقی قدرت محرکه است و نوع ماده کار از لحاظ نظری اهمیتی ندارد. او هم چنین این قضیه را که اهمیت عملی زیادی دارد بیان کرد:

بازده تمام ماشین‌های بازگشت پذیری که بین دماهای یکسانی کار می‌کنند، با هم برابر است و بازده هیچ ماشین بازگشت ناپذیری، که بین همان دو دما کار می‌کند، نمی‌تواند بیشتر از این باشد(شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶: سامانه ترمودینامیکی یک ماشین

این سامانه شامل ماده‌ای است که انتقال گرما را به عهده دارد (ماده کاری) و از چهار فرآیند بازگشت پذیر تشکیل شده، شامل دو فرایند هم دما و دو فرایند بی‌درو است:

فرایند هم دما: گاز در مسیر AB در دمای ثابت T_H گرمای Q_H را از چشمه گرم می‌گیرد و به طور هم دما منبسط می‌شود.

فرایند بی‌دررو: در مسیر BC ماده کاری به طور بی‌دررو سرد می‌شود و به دما T_C می‌رسد.

فرایند هم‌دما: در مسیر CD، گاز کامل به طور هم دما در دمای ثابت T_C و با دادن گرمای Q_Cبه چشمه سرد متراکم می‌شود.

فرایند بی‌دررو: در مسیر DA نیز ماده کاری به طور بی‌دررو متراکم می‌شود و دمایش به T_H می‌رسد.

۱-۵-۶ چرخه چهار زمانه

این عبارت ترجمه عبارت انگلیسی Four-cycle-Engine است و به موتورهایی اتلاق می‌شود که کار خود را در چهار کورس پیستون انجام می‌دهند. (حرکت پیستون از بالاترین مکان خود در سیلندر تا پایین‌ترین جای خود در سیلندر را یک کورس پیستون می‌گویند). در بیان فنی این موتورها را موتورهای با چرخه چهار مرحله‌ای می‌گویند که معادل عبارت Four-Stroke-cycle-Engiue است.

به طور کلی موتورهای احتراق داخلی بر مبنای دفعات توان در هر دور چرخش موتور به دو دسته کلی موتورهای دو زمانه و موتورهای چهار زمانه تقسیم می‌شوند. موتورهای دوزمانه از لحاظ ساختاری ساده‌تر هستند لیکن موتوهای چهارزمانه کارایی بیشتری دارند.

اولین قدم مهم برای توسعه موتورهای چهارزمانه در اواسط قرن نوزدهم میلادی انجام گرفت. در این زمان یک مهندس فرانسوی به نام بودورشا چهار اصل اساسی را برای کار کردن موتورهای احتراقی ارائه کرد. که در واقع توسعه این اصول و به کارگیری آن‌ها باعث ساخته شدن موتورهای چهارزمانه گردید. این اصول به قرار زیر هستند:

۱- اتاقک احتراق باید کوچک‌ترین نسبت سطح به حجم ممکن را داشته باشد.

۲- فرآیند انبساط باید تا حد ممکن سریع انجام شود.

۳- تراکم در ابتدای مرحله انبساط باید تا حد امکان زیاد باشد.

۴- کورس انبساط می‌بایست تا حد امکان زیاد باشد.

پس از تلاش‌های فراوانی که برای محقق کردن این اصول در ساخت موتورها انجام گرفت در سال ۱۸۷۶ یک مهندس آلمانی به نام اتو توانست موتوری را به ثبت برساند که همان چرخه چهارزمانه را به کار می‌بست. این چهار عمل عبارتند از:

۱- مرحله مکش

۲- مرحله تراکم

۳- مرحله توان

۴- مرحله تخلیه

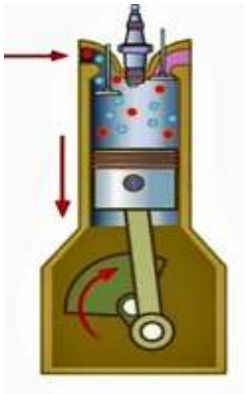
که در اکثر موتورهای امروزی به کار می‌روند.

موتورهای چهارزمانه خود گروهی از موتورهای احتراق داخلی هستند. موتورهای احتراق داخلی برای کار کردن به یک سری قطعات و سیستم‌ها نیازمند می‌باشند. نظیر سیستم سوخت‌رسانی، بدنه موتور، سیستم سوپاپ‌ها، سیستم خنک کننده و ... لیکن موتورهای چهارزمانه دارای مکانیزم‌هایی می‌باشند که انجام چهار مرحله مکش، تراکم، توان و تخلیه را به صورت مجزا ممکن می‌سازد (در موتورهای دوزمانه مراحل مکش با تراکم و توان با تخلیه همزمان انجام می‌شوند).

طرز کار هر دو نوع موتورهای چهارزمانه یعنی موتورهای اشتعال جرقه‌ای و موتورهای دیزل تا حد زیادی شبیه به هم است. لیکن در مواردی نیز با یکدیگر تفاوت دارد در ذیل اصول کلی کار موتورهای چهار زمانه را ذکر می‌کنیم.

۱-۵-۶-۱ مرحله اول (مرحله مکش)

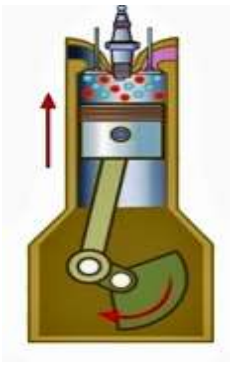
در این مرحله سوپاپ ورودی هوا همزمان با حرکت رو به پایین پیستون از بالاترین نقطه مکانی خود (نقطه مرگ بالا) درون سیلندر باز می‌شود. با این عمل مخلوط هوا و سوخت (در موتورهای اشتعال جرقه‌ای) و هوای خالی (در موتورهای دیزل) وارد محفظه سیلندر شده و آن جا را پر می‌کند (شکل ۱-۷).



شکل۱-۷: مرحله مکش

۱-۵-۶-۲ مرحله دوم (مرحله تراکم)

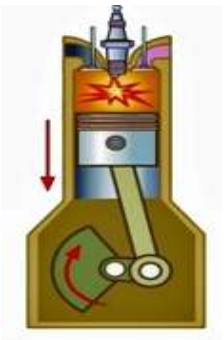
این مرحله از لحظه‌ای شروع می‌شود که پیستون از پایین‌ترین نقطه مکانی خود (نقطه مرگ پایین) شروع به حرکت رو به بالا می‌کند. در این مرحله هر دو سوپاپ هوا و دود بسته‌اند. پیستون سیال موجود در محفظه سیلندر را در داخل اتاقک احتراق واقع در سرسیلندر فشرده می‌کند (شکل ۱-۸).



شکل ۱-۸: مرحله تراکم

۱-۵-۶-۳ مرحله سوم (مرحله توان)

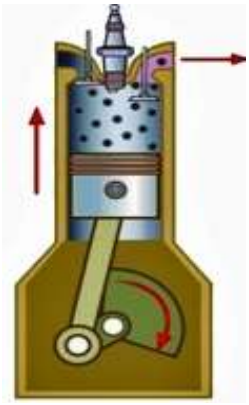
در این مرحله سیال موجود در اتاقک احتراق محترق می‌گردد (در موتورهای اشتعال جرقه‌ای این کار به وسیله یک جرقه الکتریکی و در موتورهای دیزل به واسطه تزریق سوخت انجام می‌شود) در این مرحله نیز سوپاپ‌ها بسته‌اند. انرژی آزاد شده از احتراق سوخت‌های فسیلی و هوا موجب ایجاد نیروی فشاری روی سطح پیستون می‌گردد که باعث پایین رفتن پیستون و حرکت مکانیکی موتور می‌شود (شکل ۱-۹).



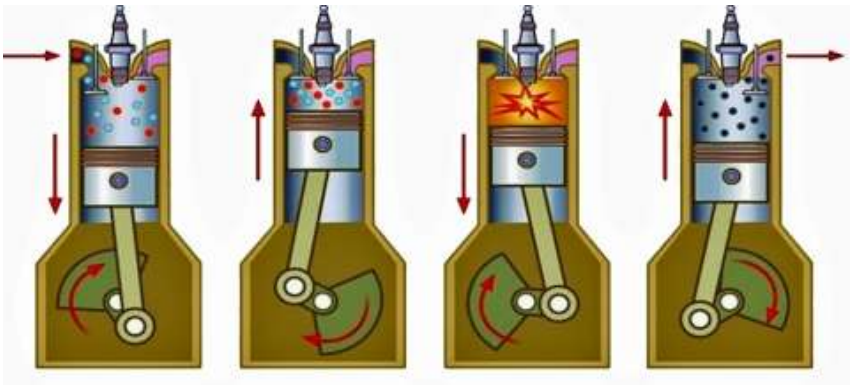
شکل ۱-۹: مرحله توان

۱-۵-۶-۴ مرحله چهار (مرحله تخلیه)

در این مرحله گازهای ناشی از سوختن سیال تمام محفظه سیلندر را پر کرده‌اند در این مرحله سوپاپ دود باز می‌شود تا گازهای داغ ناشی از احتراق را از طریق مانیفولد دود از موتور خارج کند. حرکت رو به بالای سیلندر نیز به عمل تخلیه گازها کمک می‌کند(شکل ۱-۱۰)



شکل ۱-۱۰: مرحله تخلیه



شکل ۱- ۱۱: چهار عمل اصلی موتور چهار زمانه

پس از طی شدن چهار مرحله شکل ۱-۱۱ که در دو دور چرخش میل لنگ انجام شده است. یک چرخه موتور چهار زمانه انجام شده است. برای ادامه یافتن تولید توان این چرخه دوباره به ترتیب فوق و از مرحله اول از سر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که اکثر موتورهای امروزی بیش از یک سیلندر دارند که در کنار یک دیگر قرار گرفته‌اند. لیکن این مراحل در همه

آن‌ها به صورت همزمان اتفاق نمی‌افتد. مثلا هیچ وقت ممکن نیست که در دو سیلندر عمل انفجار صورت گیرد اما در موتورهای بیش از چهار سیلندر امکان تداخل احتراق‌ها در زمان‌هایی وجود دارد که در فصل هشتم به طور دقیق به بررسی آن‌ها پرداخته خواهد شد. این امر به خاطر شکل بخصوص میل لنگ، یکنواختی و تعادل در کارکرد موتور و برخی موارد دیگر می‌باشد.

۱-۵-۷ تلاش‌های بنز، دیملر و استوارت

در سال ۱۸۸۳ یک آلمانی به نام گوتلیب دیملر موتور گاز سوز اتو را به یک موتور اشتعال جرقه‌ای تبدیل نمود. در همین سال کارل بنز بدون اطلاع از اختراع دیملر یک موتور اشتعال جرقه‌ای کامل را با راندمان بسیار خوب اختراع کرد. در سال ۱۸۹۰ برای اولین بار یک موتور با سوخت روغن توسط هربرت اکروید استوارت انگلیسی اختراع شد و سپس در سال ۱۸۹۵ نوع تکامل یافته‌ای از این موتور به وسیله رادولف دیزل ساخته شد. از آن جا که موتور رادولف دیزل خیلی بیشتر از موتور استوارت مورد توجه قرار گرفت، بعدها موتور روغنی به نام موتور دیزل معروف شد.

۱-۵-۸ موتور دیزل

موتور دیزل گونه‌ای موتور درون‌سوز است که در آن از چرخه دیزل برای ایجاد حرکت استفاده می‌شود. فرق اصلی آن با دیگر موتورها استفاده از احتراق در اثر تراکم است. در این گونه پیشرانه‌ها عمل انفجار صورت نمی‌گیرد، بلکه مخلوط سوخت و هوا در اثر تراکم بسیار بالا بدون جرقه زدن متراکم می‌شوند و دور اصلی این پیشرانه‌ها بر خلاف موتورهای بنزین سوز ۱۰۰ دور/دقیقه محسوب می‌گردند.

کلمه دیزل نام یک مخترع و مهندس آلمانی به نام رادولف دیزل است که در سال ۱۸۹۲ پس از چهارده سال کار شبانه‌روزی، نوع خاصی از موتورهای احتراق داخلی را به ثبت رساند، به احترام این مخترع این‌گونه موتورها را موتورهای دیزل می‌نامند.

موتورهای دیزل، به انواع گسترده‌ای از موتورها گفته می‌شود که بدون نیاز به یک جرقه الکتریکی می‌توانند ماده سوختنی را شعله‌ور سازند. در این موتورها برای شعله‌ور ساختن سوخت از حرارت‌های بالا استفاده می‌شود. به این شکل که ابتدا دمای اتاقک احتراق را بسیار

بالا می‌برند و پس از این که دما به اندازه کافی بالا رفت ماده سوختنی را با هوا مخلوط می‌کنند.

برای سوختن به سه عامل حرارت، اکسیژن و ماده سوختنی نیاز است. اکسیژن از طریق مجاری ورودی موتور وارد محفظه سیلندر می‌شود و سپس به وسیله پیستون فشرده می‌گردد. این فشردگی آن چنان زیاد است که باعث ایجاد حرارت بسیار بالا می‌گردد. سپس عامل سوم یعنی ماده سوختنی به گرما و اکسیژن افزوده می‌شود که در نتیجه آن سوخت شعله‌ور می‌شود.

در سال ۱۸۹۰ میلادی آکروید استوارت حق امتیاز ساخت موتوری را دریافت کرد که در آن هوای خالص در سیلندر موتور متراکم می‌گردید و سپس (به منظور جلوگیری از اشتعال پیش‌رس) سوخت به داخل هوای متراکم شده تزریق می‌شد، این موتورهای با فشار پایین بودند و برای مشتعل ساختن سوخت تزریق شده از یک لامپ الکتریکی یا روش‌های دیگر در خارج از سیلندر استفاده می‌شد.

در سال ۱۸۹۲ دکتر رادولف دیزل آلمانی حق امتیاز موتور طراحی شده‌ای را به ثبت رساند که در آن اشتعال ماده سوختنی، بلافاصله بعد از تزریق سوخت به داخل سیلندر انجام می‌گرفت. این اشتعال عامل حرارت زیادی بود که در اثر تراکم زیاد هوا به وجود می‌آمد. وی ابتدا تلاش کرد که موتور وی پودر زغال سنگ را بسوزاند ولی به سرعت به نفت روی آورد و نتایج قابل توجهی گرفت.

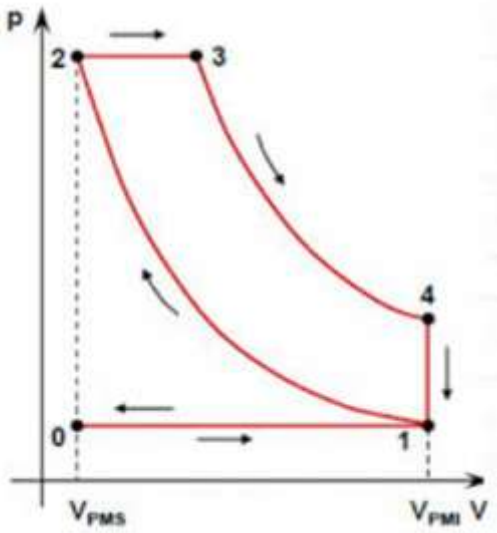
طی سال‌های متمادی پس از اختراع موتور دیزل، از این نوع موتور اغلب در کارهای درجا و سنگین از قبیل تولید برق، تلمبه کردن آب، راندن قایق‌های مسافری و باری و همچنین برای تولید قدرت جهت رفع بعضی از نیازهای کارخانجات استفاده می‌شد. این موتورها سنگین، کم سرعت، دارای یک یا چند سیلندر و از نوع دوزمانه یا چهارزمانه بودند.

پیشرفت بیشتر موتورهای دیزل، تا توسعه سیستم‌های پیشرفته تزریق سوخت در دهه ۱۹۳۰ طول کشید. در این سال‌ها رابرت بوش تولید انبوه پمپ‌های سوخت پاش خود را آغاز کرد. توسعه پمپ‌های سوخت پاش (پمپ‌های انژکتور) با توسعه موتورهای کوچکی که برای استفاده در خودروها مناسب بودند متعادل شد.

موتورهای دیزل سبک‌تری که سرعت‌شان نیز بالا بود در سال ۱۹۲۵ به بازار عرضه شدند. با آن که پیشرفت در ساخت این موتورها کند بود. اما در سال ۱۹۳۰ موتورهای دیزل قابل

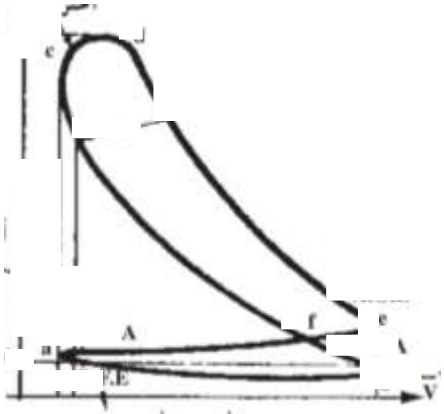
اطمینان که به خوبی طراحی شده بودند و چند سیلندر و سریع نیز بودند به بازار عرضه شد. این پیشرفت تا پایان جنگ جهانی دوم برای مدتی کند بود. لیکن از آن تاریخ تا کنون طراحی و تولید این موتورها به طریقی پیشرفت نموده است که امروزه استفاده گسترده و فراگیر از موتورهای دیزل را شاهد هستیم.

همان طور که در بخش قبل اشاره شد چرخه کاری موتورهای دیزل شبیه موتورهای بنزینی (چرخه اتو) است که نمودار ایده آل آن را در شکل ۱-۱۲ مشاهده می‌کنید.

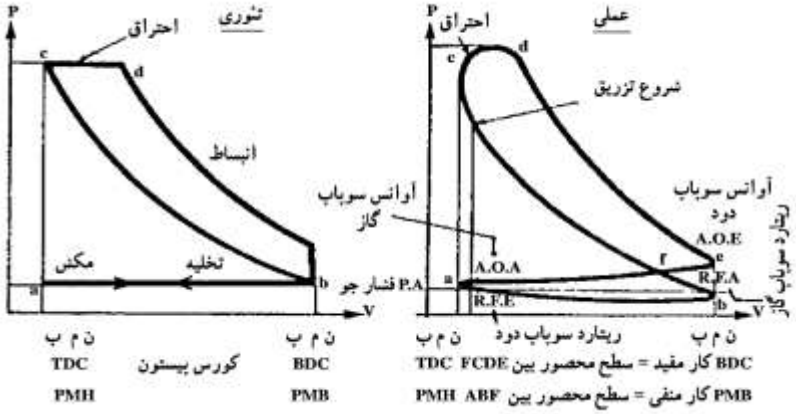


شکل ۱-۱۲: نمودرا تئوری چرخه دیزل

در چرخه دیزل به مانند چرخه اتو مرحله ۰ تا ۱ مرحله مکش می‌باشد اما در این مرحله فقط هوای خالص وارد موتور می‌شود. در مرحله دو پیستون از BDC به TDC حرکت می‌کند و هوا را متراکم می‌کند. تفاوت در چرخه اتو و دیزل از نقطه شماره سه شروع می‌شود. در نقطه ۲ پاشش سوخت توسط انژکتور صورت می‌پذیرد. مسیر ۲-۳ بر خلاف این مسیر در منحنی اتو افقی است. زیرا احتراق در موتورهای دیزل در دو مرحله انجام می‌گیرد. ابتدا هوایی که در مجاورت انژکتور قرار دارد محترق شده و باعث رانش پیستون به سمت پایین می‌شود و در فشار ثابت حجم کمی افزایش می‌یابد سپس در مرحله دوم احتراق کامل شده و در کل محفظه احتراق انجام شده و کار بر روی پیستون انجام می‌شود. به همین دلیل به چرخه دیزل، چرخه فشار ثابت نیز می‌گویند. نمودار واقعی چرخه دیزل را در شکل ۱-۱۳ و مقایسه نمودارهای تئوری و عملی در شکل ۱-۱۴ مشاهده می‌شود.



شکل۱-۱۳: نمودار عملی چرخه دیزل



شکل ۱-۱۴: نمودار تئوری و عملی چرخه دیزل

۱-۵-۹ موتورهای دو زمانه

اختراع موتور دوزمانه توسط یک مهندس اسکاتلندی در سال ۱۸۸۱ ثبت گردید. در این موتور به جای سوپاپ‌ها، از دریچه‌هایی که بر روی سیلندر تعبیه شده و توسط حرکت پیستون باز و بسته می‌شود. برای ورود سوخت و هوا به موتور و خروج گازهای از سیلندر استفاده می‌شود.

از جمله کاربردهای موتورهای دو زمانه در اره‌های برقی، جت اسکی‌ها و اسکوترها می‌باشد که دارای سه مزیت مهم است که تمایز عمده‌ای با موتورهای چهار زمانه ایجاد کرده است:

موتورهای دو زمانه از سوپاپ استفاده نمی‌کنند که موجب ساده‌تر شدن ساختار این گونه از موتورها و کمتر شدن وزن شان می‌شود.

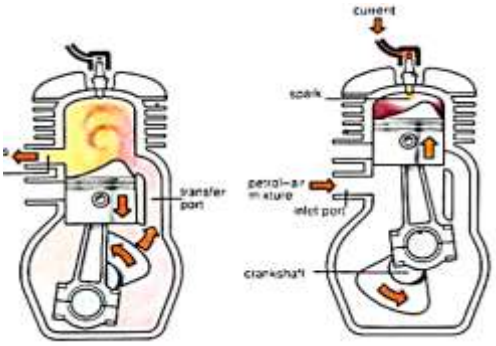
در موتورهای دو زمانه در هر بار چرخش میل‌لنگ، یک مرحله احتراق صورت می‌پذیرد. درحالی که در موتورهای چهار زمانه با هر دو بار چرخش میل لنگ، یک مرحله احتراق صورت می‌گیرد. این پدیده خود باعث افزایش توان به صورت چشم‌گیری می‌شود.

موتورهای دو زمانه می‌توانند در هر جهتی کار کنند که برای وسایلی نظیر اره برقی بسیار کارآمد خواهد بود. موتورهای چهار زمانه استاندارد ممکن است به واسطه جریان روغن که در آن‌ها قرار دارد، تا زمانی که در جهت مناسب قرار نگیرند، به درستی کار نکنند.

این مزایای اشاره شده موجب می‌شود موتورهای دو زمانه سبک‌تر، ساده‌تر و ارزان قیمت‌تر شوند. موتورهای دو زمانه به واسطه داشتن مرحله احتراق در هر دور، توانی دو برابر موتورهای چهار زمانه با حجم برابر تولید می‌کنند. ترکیب وزن پایین و قدرت دو برابری موتورهای دو زمانه باعث شده که نسبت توان به وزن در این گونه موتورها نسبت به اغلب موتورهای چهار زمانه بیشتر باشد.

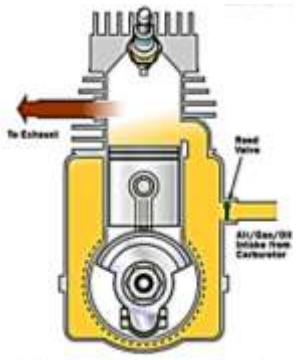
تفاوت عمده این موتور با موتورهای چهار زمانه این است که مرحله توان که منجر به کار می‌شود در هر بار چرخش اتفاق می‌افتد.

مرحله احتراق: سوخت و هوا در سیلندر با هم متراکم می‌شوند و هنگامی که جرقه زده می‌شود مخلوط پیش رو مشتعل می‌شود. نتیجه حاصل انفجاری است که پیستون را به پایین حرکت می‌دهد. در حین این که پیستون پایین می‌رود مخلوط سوخت - هوا به سمت محفظه میل لنگ (یا پوسته موتور) مکیده می‌شود. به محض این که پیستون به نقطه مرگ پایین برسد، راه گاه تخلیه باز می‌شود. فشار موجود در سیلندر موجب می‌شود تا اکثر گازهای حاصل از احتراق به سمت بیرون از سیلندر روانه شوند (شکل ۱-۱۵).



شکل ۱- ۱۵: مرحله احتراق

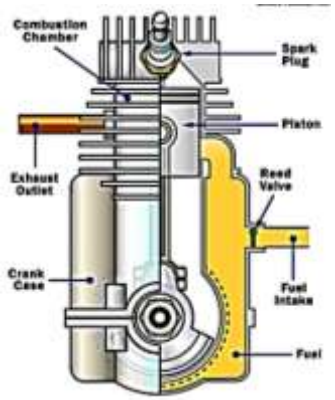
مرحله مکش (ورود سوخت - هوا): هنگامی که پیستون از پایین‌ترین نقطه سیلندر شروع به حرکت به سمت بالا می‌کند، دریچه ورودی باز می‌شود. حرکت پیستون موجب فشرده کردن مخلوط در محفظه میل لنگ می‌شود بنابراین درون سیلندر ذرات به هم نزدیک‌تر می‌شوند. همان طور که در شکل ۱-۱۶ مشاهده می‌شود در این مرحله گازهای خروجی (گازهای حاصل از احتراق) از سیلندر خارج می‌شوند در عین حال مخلوط تازه سوخت - هوا وارد می‌شوند. به یاد داشته باشید که در طراحی مسیر جریان سیال موتورهای دو زمانه، پیستون به گونه‌ای طراحی شده است که مخلوط سوخت - هوا به راحتی در قسمت بالای پیستون در محفظه خروجی جریان پیدا نمی‌کند.



شکل ۱- ۱۶:مرحله مکش

مرحله تراکم: اکنون به علت مومنتوم موجود در میل لنگ، پیستون به سر جای اول خود (جایی که برای مرحله جرقه زنی آماده شود) برمی‌گردد که مرحله تراکم شکل گیرد. هنگامی مخلوط هوا- سوخت در پیستون متراکم شدند، مکش (ایجاد خلأ) در محفظه میل لنگ به وجود می‌آید. این مکش شیر یک طرفه نازک آن را باز می‌کند و موجب مکیده شدن هوا،

سوخت و روغن از کاربراتور می‌شود. شیر یک طرفه نازک شیری متشکل از ورقه فولادی نازکی که جریان یک طرفه سیال را سبب می‌شود. هنگامی که پیستون به مرحله مرگ بالا می‌رسد، مرحله جرقه انجام می‌شود و چرخه تکرار می‌شود. در موتورهای چهار زمانه مراحل مکش، تراکم، احتراق و تخلیه به طور مجزا صورت می‌پذیرد(شکل ۱-۱۷).



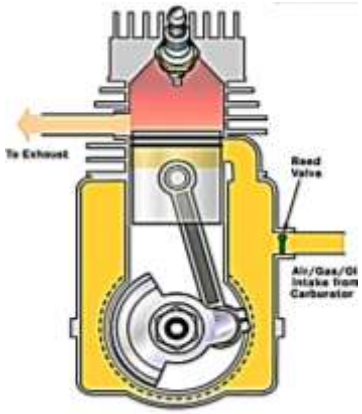
شکل ۱- ۱۷: مرحله تراکم

پیستون سه عملیات متفاوت در موتورهای دو زمانه انجام می‌دهد:

یک طرف پیستون محفظه احتراق وجود دارد که مخلوط سوخت- هوا را متراکم می‌کند و به واسطه انفجار مخلوط موجود، انرژی رها می‌شود.

از طرف دیگر پیستون در محفظه میل لنگ قرار دارد که در آن پیستون مخلوط را از کاربراتور می‌مکد و از شیر یک طرفه نازک مخلوط می‌گذرد و به دلیل فشار موجود در سیلندر مخلوط به سمت داخل محفظه احتراق روانه می‌شود (در واقع به دلیل اختلاف فشار است).

در همین حین قسمتی از پیستون به مانند سوپاپ عمل می‌کند، راه گاه‌های خروجی و ورودی را باز و بسته می‌کند.



شکل ۱- ۱۸: موتور دوزمانه

همان طور که در شکل ۱-۱۸مشاهده می‌شود پیستون در موتور دو زمانه خیلی کارها انجام می‌دهد که موجب می‌شود این دسته از موتورهای ساده و سبک وزن باشند.

روغن موتورهای دو زمانه را باید همراه با سوخت بنزین با هم در باک ریخت. در موتورهای چهار زمانه محفظه میل لنگ (کارتر) کاملاً از محفظه احتراق جدا می‌باشد. بنابراین شما می‌توانید محفظه میل لنگ را با روغن غلیظ پر کنید تا یاتاقان‌های میل لنگ روانکاری شوند. یاتاقان‌ها پیستون را به میله وصل می‌کنند و روغن موجود دیواره سیلندر را هم روانکاری می‌کند. در موتورهای دو زمانه محفظه میل لنگ تحت فشار قرار دارد تا مخلوط هوا- سوخت به سمت سیلندر وارد شوند بنابراین روغن غلظت زیادی نمی‌تواند داشته باشد.

معایب عمده‌ای موتورهای دو زمانه نسبت به موتورهای چهار زمانه دارند. موتورهای دو زمانه همان طور که قبلاً هم اشاره شد ساده‌تر و سبک هستند در ضمن توان دو برابری نسبت به موتورهای چهار زمانه با حجم برابر تولید می‌کنند، پس سؤال اصلی این جاست که چرا در خودروهای سنگین و سواری از موتورهای دو زمانه استفاده نمی‌کنند؟ جواب سؤال فوق در چهار نکته زیر می‌توان خلاصه کرد:

- موتورهای دو زمانه عمری کوتاه‌تر از موتورهای چهار زمانه دارد. نبود وجود سیستم روغنکاری مستقل بدان معنی است که سایش در موتورهای دو زمانه بیشتر است.
- هزینه روغن موتورهای دو زمانه زیاد می‌باشد. در صورتی که از موتورهای دو زمانه برای خودرو استفاده کنید، برای هر ۱۶۰۰ کیلومتر نیازمند یک گالن روغن هستید.

- موتورهای دو زمانه از سوخت به صورت کارآمد استفاده نمی‌کنند. بنابراین مصرف سوخت در هر صد کیلومتر بالاتر خواهد بود. (مصرف سوخت موتورهای دو زمانه حدود سه برابر مصرف سوخت موتورهای چهار زمانه است)
- موتورهای دو زمانه آلایندگی بالایی دارند. این آلایندگی ناشی از دو علت است. اولین مورد، احتراق روغن است. روغن موجود در باک باعث می‌شود، موتورهای دو زمانه بسیار دود زا باشند. همچنین سایش بسیار زیاد موتورهای دو زمانه می‌تواند ابر بزرگی از دود روغنی شکل دهد. دلیل دوم خیلی تأثیر گذار نیست. همچنین جدا نبودن سیکل تخلیه از ورود سوخت، باعث می‌شود مقداری از سوخت همراه با دود خروجی به صورت استفاده نشده و خام خارج گردد.
- هر زمان که تغییری در مخلوط سوخت- هوا داخل محفظه احتراق ایجاد شود، قسمتی از آن از راه گاه تخلیه بیرون درز می‌کند. این دلیلی است بر این که در اطراف اکثر موتورهای دو زمانه موجود در قایق همواره روغنی شکل است. این نشت روغن از سوخت می‌تواند محیط اطراف را کثیف کند.
- معایب فوق بدان معناست که موتورهای دو زمانه در مواردی مانند دستگاه‌های چمن زن خانگی و موتورهای برق پرتابل کاربرد دارد که خیلی مورد استفاده روزانه نیستند.

۱-۵-۱۰ موتورهای شش زمانه

موتورهای شش زمانه در حقیقت افزودن مکانیزم‌ها و فرآیندهایی به موتورهای چهار زمانه و تبدیل یک موتور به موتور شش زمانه است (شکل ۱-۱۹).

شکل ۱-۱۹: نمونه‌ای از یک موتور شش زمانه

۱-۵-۱۰-۱ مقدمه

عملیات سیکل‌های مختلف بیشتر موتورهای احتراق داخلی فعلی، دارای یک طرح رایج است به این صورت که انفجار در یک سیلندر پس از تراکم انجام می‌شود. نتیجه آن است که انبساط گاز مستقیماً روی پیستون اثر گذاشته (کار انجام می‌دهد) و میل لنگ را ۱۸۰ درجه بچرخاند.

با توجه به طراحی فنی و مکانیکی، موتور شش زمانه همانند موتورهای احتراق داخلی می‌باشد. اگر چه سیکل ترمودینامیکی و یک سر سیلندر اصلاح شده همراه دو اتاق اضافی ان را به کلی متمایز می‌کند. یک محفظه‌ی احتراق و یک محفظه ی تراکم (گرمکن هوا) هر دو از سیلندر جدا هستند. احتراق درون سیلندر رخ نمی‌دهد اما در محفظه‌ی احتراق کمکی هم فوری روی پیستون اثر نمی‌گذارد و زمان آن از ۱۸۰ درجه‌ی چرخش میل لنگ، در زمان انفجار (کار) جدا می‌باشد.

محفظه‌ی احتراق به طور کلی توسط محفظه‌ی گرمکن احاطه شده است. با تبادل گرما از طریق دیواره‌های محفظه‌ی احتراق که با محفظه‌ی گرمکن در ارتباط است، فشار محفظه‌ی گرمکن افزایش می‌یابد و قدرت مکملی برای کار تولید می‌شود.

۱-۵-۱۰-۲ مزایای موتور شش زمانه

مزایای یک موتور شش زمانه عبارت است از:

۱- رسیدن به راندمان حرارتی ٪۵۰ (راندمان حرارتی برای موتورهای احتراق داخلی فعلی حدود ۳۰ ٪ است)

۲- کاهش مصرف سوخت تا بیش از ٪۴۰

۳- کاهش آلودگی حرارتی، صوتی، شیمیایی

۴- دو کورس مفید کار در طی شش کورس

۵- پاشش مستقیم و بهینه سوخت احتراق در هر سرعتی از خودرو

۶- سوخت چند گانه

موتور شش زمانه کاهش چشم گیر مصرف سوخت و انتشار آلودگی‌های زیست محیطی را دارا هستند.

۱-۵-۱۰-۳ عملکرد موتورهای شش زمانه

در طول چرخه کاری موتور شش زمانه، محفظه‌های کمکی اجازه می‌دهند برخی فرآیندهای ذیل همزمان عمل کنند. بنابراین، فرآیند تولید قدرت برای هر یک از چرخه‌های درون‌سوز و برون‌سوز به وجود می‌آید.

مراحل چرخه برون‌سوزی (شکل ۱-۲۰) عبارتند از:

فرآیند ۱: مکش هوای خالص درون سیلندر (فرآیند دینامیکی)

فرآیند ۲: تراکم هوای خالص در محفظه گرمکن (فرآیند دینامیکی)

فرآیند ۳: هوای خالص فشرده شده در محفظه بسته گرمکن با تبادل گرما با دیواره‌های محفظه احتراق، افزایش دما پیدا می‌کند (فرآیندی استاتیکی است چون مستقیماً روی میل لنگ اثر نمی‌گذارد)

فرآیند ۴: انبساط هوای داغ درون سیلندر و تولید قدرت (فرآیند دینامیک)

فرآیند ۵: تراکم مجدد هوای خالص و گرم درون محفظه احتراق (فرآیند دینامیک)

فرآیند ۶: تزریق سوخت، بدون تاثیر بر میل لنگ و احتراق در محفظه احتراق (فرآیند استاتیک)

فرآیند ۷: گازهای احتراق منبسط می‌شوند و کار انجام می‌شود (فرآیند دینامیک)

فرآیند ۸: تخلیه محصولات احتراق (فرآیند دینامیک)

در طراحی سرسیلندر موتورهای شش زمانه، دو محفظه و چهار سوپاپ به ازای هر سیلندر وجود دارد. این در حالی است که وجود دو سوپاپ برای مکش و تخلیه، امری متداول است. دو سوپاپ دیگر، از مواد مقاوم در برابر حرارت بالا ساخته شده‌اند. فشار بالا در محفظه سوپاپ‌ها طی مراحل احتراق و گرم کردن هوا ممکن است سوپاپ‌ها را باز کند. برای پیشگیری از این

پدیده، روی هر دو سوپاپ یک پیستون نصب شده که فشار روی سوپاپ‌ها را خنثی می‌کند. نکته دیگر این که در چرخه شش زمانه، سرعت دورانی میل بادامک یک سوم میل‌لنگ است.

دیواره‌های محفظه احتراق، هنگامی که موتور روشن است، در واقع سوزان هستند. محفظه گرمکن هوا، محفظهٔ احتراق را احاطه کرده است. ضخامت کم دیواره، امکان تبادل حرارت مابین دو محفظه را به وجود می‌آورد. محفظهٔ گرمکن هوا برای کاهش تلفات حرارتی از سرسیلندر، عایق شده است.

انتقال حرارت از محفظه احتراق به محفظه گرمکن، طی دو مرحله انجام می‌شود که نتیجه آن فشار کمتر بر روی پیستون و نرمی بهتر موتور است. از آن جا که محفظه احتراق توسط سوپاپ‌ها از سیلندر جدا شده است، قطعات محرک به ویژه پیستون، نسبت به تنش های ناشی از دما و فشار بسیار بالا، در خطر نیستند. به کمک این سوپاپ‌ها، از خودسوزی یا احتراق پیش-رس مخلوط سوخت و هوا، جلوگیری می‌شود.

نسبت تراکم محفظه احتراق و گرمکن، متفاوت است. به نظر منطقی می‌رسد که نسبت تراکم محفظه گرمکن بیشتر از نسبت تراکم محفظه احتراق باشد تا مرحله برون سوزی به خوبی صورت پذیرد. نسبت تراکم کمتر در محفظه احتراق، بر چرخه درون‌سوزی عمل می‌کند. در این صورت، احتراق تمامی سوخت پاشیده شده در محفظه احتراق، تضمین می‌شود زیرا به دلیل گرم شدن هوای درون محفظه احتراق، تمامی سوخت پاشیده شده، می‌سوزد. علاوه بر این، دیواره‌های سوزان محفظه نیز مشابه چندین شمع عمل می‌کنند. همچنین، برای آسان روشن شدن موتور در هوای سرد، درون محفظه احتراق یک شمع گرمکن کار گذاشته شده است.

۱- سوپاپ ورودی هوا

۲- سوپاپ محفظه گرمکن

۳- سوپاپ محفظه احتراق

۴- سوپاپ خروج هوا

۵- سیلندر

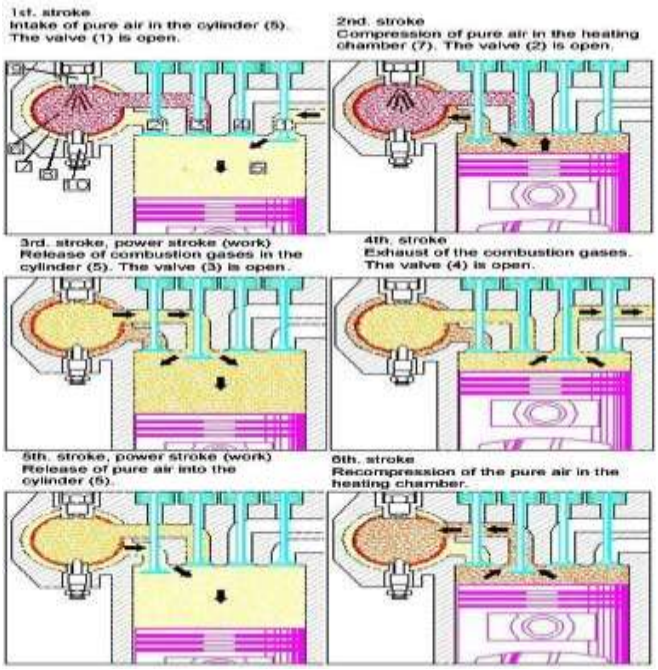
۶- محفظه احتراق

۷- محفظه گرمکن

۸- جداره محفظه احتراق

۹- سوخت پایین انژکتور

۱۰- شمع گرمکن



شکل ۱-۲۰: مراحل کار یک موتور شش زمانه

سر سیلندر دو محفظه و چهار سوپاپ که دو تای آن متداول هستند، (برای مکش و تخلیه). دو سوپاپ دیگر از مواد پایدار حرارت دادن مخصوص کارسنگین ساخته شده. سوپاپ‌ها در طی مرحله احتراق و گرم کردن هوا می‌توانند تحت فشار محفظه ها باز شوند. روی هر دو سوپاپ یک پیستون نصب شده که فشار روی سوپاپ‌ها را خنثی می‌کند.در سیکل شش زمانه، سرعت میل بادامک یک سوم میل لنگ است.

دیواره‌های محفظه‌ی احتراق هنگامی که موتور روشن است، سوزان هستند. محفظه‌ی گرم کن هوا، محفظه‌ی احتراق را احاطه کرده است. ضخامت کم دیواره اجازه تبادل حرارت با

محفظه‌ی گرم کن را می‌دهد. محفظه‌ی گرم کن هوا از سرسیلندر عایق شده برای اینکه اتلاف حرارتی کاهش یابد.

تمام گرمای محفظه‌ی احتراق به محفظه گرمکن منتقل می‌شود. کار به دو مرحله تقسیم می‌شود، که نتیجه‌ی آن فشار کمتر روی پیستون و نرمی بهتر عملکرد می‌شود. زمانی که محفظه‌ی احتراق از سیلندر توسط سوپاپ‌ها عایق شده، قطعات محرک خصوصاً پیستون نسبت به تنش‌های ناشی از دما و فشار بسیار بالا در خطر نیست. آن‌ها همچنین از خودسوزی که در مخلوط سوخت و هوا در موتورهای دیزل یا گازی متداول مشاهده می‌شود جلوگیری می‌کند.

نسبت تراکم محفظه‌ی احتراق و گرم کن متفاوت می‌باشد. نسبت تراکم محفظه‌ی گرم کن بیشتر است که روی مرحله احتراق خارجی فعالیت می‌کند و منحصراً توسط هوای خالص پشتیبانی می‌شود. نسبت تراکم محفظه‌ی احتراق کمتر است که روی یک سیکل احتراق داخلی فعالیت می‌کند.

احتراق همه‌ی سوخت پاشیده شده ضمانت شده است ابتدا، با پشتیبانی هوای خالص از قبل گرم شده‌ی درون محفظه‌ی احتراق، سپس با دیواره‌های سوزان محفظه که مانند چندین شمع عمل می‌کند. برای آسان روشن شدن موتور در هوای سرد درون محفظه‌ی احتراق یک شمع گرمکن کار گذاشته شده است.

در مقایسه با یک موتور دیزل که یک ساختمان سنگین نیاز دارد، این موتور چند گانه سوز، که می‌تواند همچنین سوخت دیزل استفاده کند، امکان ساختن در مدل خیلی سبک‌تر را نسبت به یک موتور گاز سوز را دارد.

پاشش و احتراق سوخت در یک محفظه‌ی احتراق که طی ۳۶۰ درجه از زاویه گردش میل لنگ بسته است، اتفاق می‌افتد. این خصوصیت باعث می‌شود که زمان برای این که سوخت به طور ایده آل بسوزد زیاد شود به طوری که هر کالری نهان آن آزاد شود (اولین عامل کمک به کاهش آلودگی). انژکتور توانایی پاشش دو سوخت را از یک شیپوره دارد.

دیواره‌های سوزان محفظه‌ی احتراق باقیمانده سوخت را که در طی پاشش ته نشین شده است می‌سوزاند. (دومین عامل کاهش آلایندگی)

همچنین هنگامی که مراحل تخلیه و مکش رخ می‌دهد، سوپاپ‌های محفظه‌ی احتراق و گرم کن به طور چشم گیر زمان استراحت بیشتری را برای اصلاح و تعدیل دارند که باعث کاهش صدا و بهبود راندمان می‌شود.

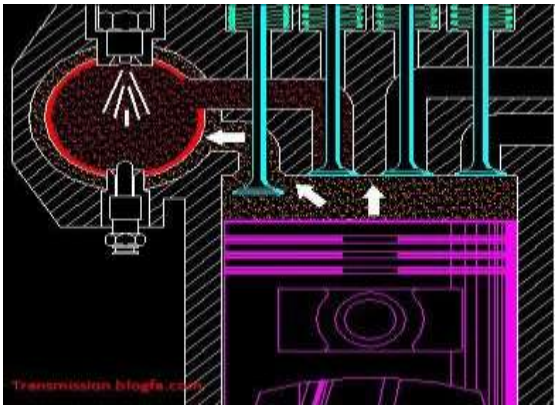
۱-۵-۱۰-۴ شرح کار موتور

مرحله اول:

- ورود هوا از سوپاپ ۱
- تزریق سوخت داخل محفظه احتراق وشروع احتراق

مرحله دوم:

- باز شدن سوپاپ ۲
- متراکم شدن هوا در محفظه گرمکن
- ادامه پاشش سوخت وفرایند احتراق



شکل ۱- ۲۱: تراکم هوای خالص در محفظه گرمکن و ادامه اشتعال

مرحله سوم:

- باز شدن سوپاپ ۳
- ورود گازهای منفجر شده به سیلندر وراندن پیستون به پایین

• انجام کار

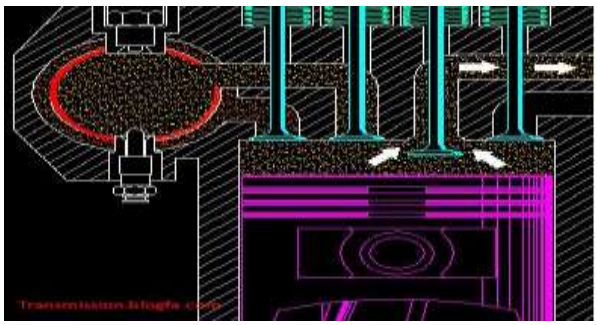
• گرم شدن هوا در محفظه گرمکن وافزایش دما وفشار

مرحله چهارم:

• باز شدن سوپاپ ۴

• حرکت پیستون به بالا و راندن دود به سمت خارج سیلندر

• باقی ماندن هوا در محفظه گرمکن و ادامه افزایش دما و فشار

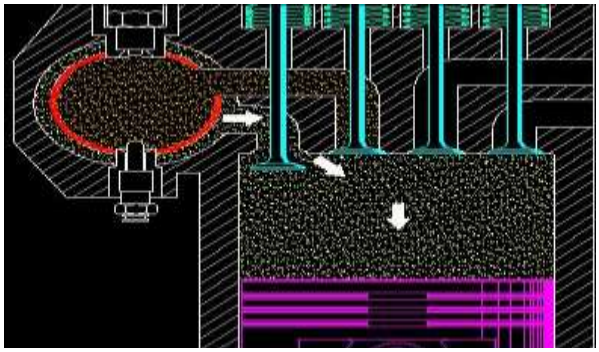


شکل ۱-۲۲: تبادل گرمای هوای خالص در محفظه گرمکن و تخلیه هوای سوخته شده

مرحله پنجم:

• باز شدن سوپاپ۲

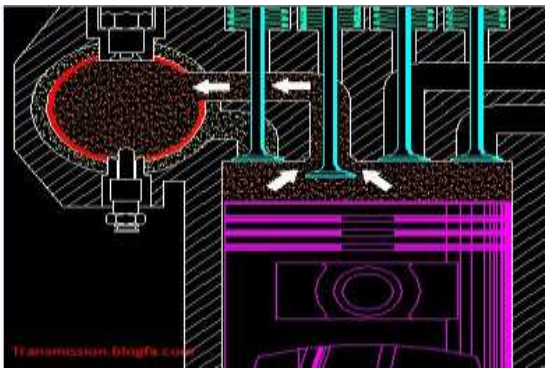
• رانده شدن پیستون توسط هوای متراکم شده محفظه گرمکن



شکل ۱-۲۳: انبساط گازهای سوزان محفظه گرمکن

مرحله ششم:

- بازشدن سوپاپ ۳
- رانده شدن هوا به سمت محفظه احتراق توسط پیستون



شکل ۱-۲۴: تراکم هوای خالص داغ به محفظه گرمکن

عوامل موثر در افزایش راندمان حرارتی و کاهش مصرف سوخت و آلایندگی عباتند از:

گرمای هدر رفته از سر سیلندر موتورهای متداول در طی خنک کاری در موتورهای شش زمانه، با احاطه کردن محفظه‌ی احتراق توسط محفظه‌ی گرمکن بازیافت می‌شود.

بعد از مکش، هوا در محفظه‌ی گرمکن متراکم می‌شود و طی ۳۶۰ درجه زاویه میل لنگ در محفظه‌ی بسته است. (احتراق خارجی).

تبادل گرمای دیواره‌های خیلی نازک محفظه‌ی احتراق به محفظه‌ی گرمکن، دما و فشار گازهای منبسط شده و تخلیه شده از محفظه‌ی احتراق را کاهش می‌دهد.

احتراق و انبساط بهتر گازهایی که طی ۵۴۰ درجه گردش میل لنگ، ۳۶۰ درجه را در محفظه‌ی احتراق بسته هستند و ۱۸۰ درجه برای منبسط شدن و مرحله کار.

دیواره‌های سوزان محفظه‌ی احتراق اجازه می‌دهد که هر سوختی و باقیمانده ته نشین آن به بهترین نحو و به طور مطلوب بسوزد.

تقسیم کار: دو انبساط (مراحل قدرت) طی شش زمان یا یک سوم کار مفید که نسبت به موتورهای چهار زمانه بیشتر است.

پر شدن کامل‌تر سیلندر در مکش به علت دمای پایین دیواره‌ی سیلندر و سرسیلندر یکی از ویژگی‌های موتورهای شش زمانه می‌باشد. برخلاف موتورهای چهار زمانه که تخلیه و مکش بعد از هم رخ می‌دهند در موتورهای شش زمانه، مکش در مرحله‌ی اول رخ می‌دهد و تخلیه در مرحله‌ی چهارم رخ می‌دهد که تلاقی گازهای خروجی با گازهای تازه ی مکش حذف می‌شود.

کاهش زیاد قدرت سیستم خنک کاری به طوری که امکان دارد نیاز به خنک کاری با آب نباشد و پمپ آب و فن ها هم کاهش پیدا کنند. بنابراین به علت سبک بودن قطعات محرک در این نوع موتور اینرسی کم است.

کاهش پیدا کردن دمای روغن با احتراق در محفظه‌ی بسته، دمای بالا کمتر به روغن فشار می‌آورد و رقیق شدن کاهش می‌یابد، حتی در هوای سرد.

از آنجایی که موتورهای شش زمانه یک سوم موتورهای چهار زمانه تخلیه و مکش دارند، افت فشار روی پیستون در مکش و فشار خروجی اگزوز در تخلیه به نسبت یک سوم کاهش پیدا می‌کند.

تلفات اصطکاک با تقسیم بهتر فشار روی قطعات متحرک، تعدیل شده‌اند به این دلیل که کار در طی دو مرحله اجرا می‌شود و احتراق مستقیم حذف شده است.

۱-۵-۱۰-۵ مزایای مهم موتورهای شش زمانه

۱- کاهش مصرف سوخت به مقدار کمتر از ٪۴۰ می‌باشد.

۲- قدرت مخصوص موتور شش زمانه از موتور بنزینی چهار زمانه کمتر نیست، افزایش راندمان حرارتی جبرانی برای تلفات سبب شده دو مرحله به آن اضافه شود.

۳- دو انبساط (کار) در شش حرکت انجام می‌شود.

۴- از آن جایی که سیکل‌های کار در دو مرحله رخ می‌دهد (۳۶۰ درجه از ۱۰۸۰ درجه) یا ٪۸ بیشتر نسبت به موتور چهار زمانه (۱۸۰ درجه از ۷۲۰ درجه) گشتاور بیشتر دارد. این امر منجر می‌شود که در سرعت پایین، عملیات بدون تاثیر چشمگیر روی مصرف سوخت به آرامی کار کند، در واقع احتراق تحت تاثیر سرعت خودرو نمی‌باشد. این مزایا در بهبود عملکرد خودرو در ترافیک خیلی مهم هستند.

۵- چند گانه سوز بودن این موتور: چند گانه سوز بودن برابر برتری است. موتور شش زمانه می‌تواند سوخت‌های مختلف از جمله نوع (فسیل یا گیاهی) از دیزل تا گاز مایع (LPG) یا روغن حیوانی مصرف کند. اختلاف در اشتعال پذیری یا نسبت ضد کوبش هم اکنون هیچ مسئله‌ای در احتراق ندارد.

۶- ساختمان استاندارد یک موتور بنزینی و نسبت تراکم کم محفظه‌ی احتراق موتورهای شش زمانه مانع از این نمی‌شود که آن سوخت دیزل استفاده کند. همچنین سوخت الکل متیلیک بفرمول CH_3OH برای آن بهتر است.

۷- از یک طرف به تناسب مصرف مخصوص سوخت، آلودگی صوتی، حرارتی و شیمیایی کاهش می‌یابند و از طرف دیگر موتورها خصوصیاتی دارند که به کاهش چشمگیر آلاینده‌های هیدروکربن، مونوکسید کربن و نیتراتها (HC, CO and NOX) کمک می‌کند. از این گذشته قابلیت کار کردن این موتورها با سوخت‌های گیاهی و گازهایی با آلایندگی کم، به آن‌ها کیفیتی می‌دهد که با سخت‌ترین استانداردها مطابقت می‌کند.

۸- کاهش مصرف ویژه سوخت مایع به علاوه با یک سیستم عامل یکسان، حجم مخزن‌ها برابر مخزن‌های کنونی هست که مسافت بیشتری را می‌تواند با همان مخزن طی کند بنابراین می‌توان آن را کوچک‌تر در نظر گرفت.

۹- قیمت قابل مقایسه با موتور چهار زمانه دارد، موتور شش زمانه هیچ تغییر اساسی نیاز ندارد . همه‌ی تجربه‌های تخصصی- صنعتی و روش‌های تولید بدون تغییر باقی می‌ماند.

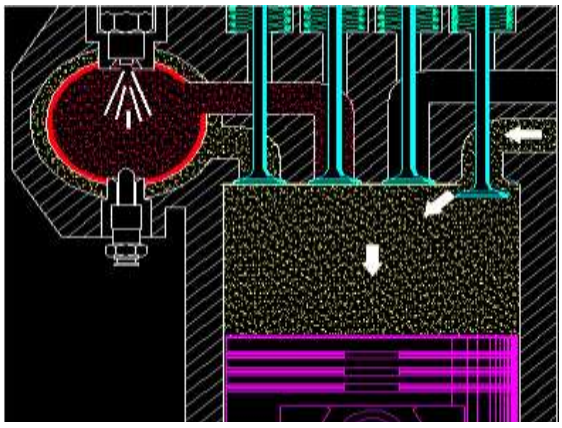
۱۰- قیمت ساخت سرسیلندر (محفظه‌ی احتراق و محفظه‌ی گرما) با ساده سازی چندین عنصر تعدیل می‌شود، بخصوص با سبک سازی قطعات متحرک، کاهش سیستم خنک کاری، ساده سازی پاشش مستقیم بدون شمع و غیره ... کاهش اندازه مخزن و جای آن در خودرو که قابل ملاحظه هستند.

در این زمان هیچ راه حلی برای جایگزینی موتورهای احتراق داخلی وجود ندارد. تنها پیشرفت‌های تکنولوژی حاضر، با زمان معقول و محدودیت‌های مالی می‌تواند به آن کمک کند، موتور شش زمانه در این نگاه می‌گنجد. پذیرش صنعت خودروسازی می‌تواند یک تأثیر عظیم روی محیط زیست و اقتصاد جهانی بگذارد. موتوری که ۴۰٪ صرفه جویی در مصرف سوخت و ۶۰ تا ۹۰ درصد (بستگی به نوع سوخت دارد) کاهش آلایندگی دارد.

مصرف سوخت برای خودروهای سایز متوسط باید بین ۴ تا ۵ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر باشد و ۳ تا ۴ لیتر برای خودروهای کوچک می‌باشد. خودروهای با موتور شش زمانه می‌توانند در آینده نزدیک در بازار جهانی عرضه شوند.

قایق موتوری‌ها (موتورهای درون و بیرون کشتی) ممکن است که پیشنهاد یک بازار فروش بزرگ برای این موتورها ارائه دهند. مشخصات آنها به طور کامل با فواید موتورها وفق می‌باشد. (اقتصادی، ایمنی، ساده سازی و کاهش آلودگی صوتی و شیمیایی). از این گذشته، استفاده از سوخت‌های مختلف به غیر از گازوئیل می‌تواند خطرهای انفجار را به طور زیاد کاهش دهد.

استفاده از سوخت‌های گیاهی (غیر فسیلی) گازهای طبیعی و دیگر سوخت‌ها در موتور پرقدرت و ساده، کار کردن با کمترین تنظیم و بدون آلایندگی، در این موتور می‌تواند مزایای زیادی داشته باشد که استفاده از آن را در دستگاه‌های ژنراتور، پمپ‌ها، موتورهای ساکن، کشاورزی و صنعت ممکن سازد.



شکل ۱- ۲۵: ورود هوا در موتور شش زمانه

۱-۵-۱۱ توربین گازی

یک نوع از کاربردهای مهم توربین گازی استفاده از مکانیزم آن در ساخت موتورهای جت است که نحوه عملکرد موتورهای جت را در این فصل مورد بررسی قرار می‌دهیم.

موتورهای جت به چند دسته اساسی تقسیم می‌شوند:

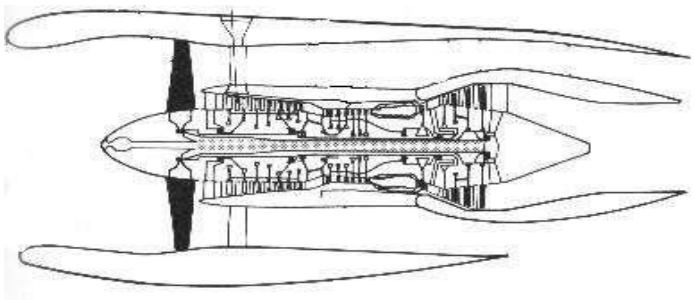
- توربوفن Turbo Fan
- توربوجت Turbo Jet
- توربوپراپ Turbo Prop
- پالس‌جت Pulse Jet
- پرشر جت Pressure Jet
- رم جت Ram Jet
- سکرام جت Scram Jet

در حقیقت، تمام موتورهای جت که توربین دارند، نوع پیشرفته‌تری از همان موتورهای توربین گازی هستند که در زمان‌های دورتر استفاده می‌شده است. از موتورهای توربین گازی بیشتر برای تولید برق نه تولید نیروی رانش استفاده می‌شود. موتورهای جت به طور کلی بر پایه‌ی موارد زیر کار می‌کنند: هوا از مدخل وارد موتور جت شده و سپس با چرخاندن توربین نیروی لازم را برای مکش هوا برای سیکل بعدی آماده کرده و خود از مخرج خارج می‌شود. در این حالت فشار و سرعت هوای خروجی، بدون در نظر گرفتن اصطکاک، با سرعت و فشار هوای ورودی برابر است. سیکل کاری موتورهای جت پیوسته است، این بدین معناست که هنگامی که هوا وارد کمپرسور می‌گردد، به سوی توربین عقب موتور رفته و آن را نیز همراه با خروج خود به حرکت در می‌آورد، یعنی نیروی لازم برای مکش در حقیقت به وسیله توربین انتهایی موتور تولید شده است و بدین گونه است که همزمان با ورود هوا به کمپرسور، توربین نیز به وسیله نیروی تولید شده توسط سیکل قبلی در حال چرخش است و نیروی آن صرف چرخاندن کمپرسور می‌شود. در این فرآیند، دوباره نیروی تولید شده توسط این سیکل به توربین داده شده و توربین نیروی لازم جهت ادامه کار را فراهم می‌آورد.

شکل ۱- ۲۶: موتور توربوفن با ضریب کنار گذر پایین

۱-۵-۱۱-۱ موتورهای توربوفن یا Turbo Fan

موتورهای توربوفن در حقیقت چیزی میان موتورهای توربوجت و توربو پراپ هستند. بازده موتورهای توربوفن بسیار زیاد است، و به همین علت هم در بسیاری از هواپیماهای مسافربری و ترابری در سرعت‌های ساب سونیک Sub Sonic از آن‌ها استفاده می‌شود. در موتورهای توربوفن، ابتدا هوا کمپرس شده سپس وارد اتاقک احتراق می‌شود و بعد از انفجار از طریق شیپوره یا نازل خروجی خارج شده و در طی این فرآیند، نیروی تراست لازم را جهت رانش هواپیما به جلو تامین می‌نماید. البته در موتورهای توربوفن، مقادیر دیگری از هوا از طریق کنارگذر نیز عبور داده می‌شود که در نهایت به گازهای خروجی داغ پیوسته و نیروی تراست را افزایش می‌دهد. تفاوت موتورهای توربوفن با توربوپراپ در این است که موتورهای توربوپراپ، فن یا ملخ ایجاد کننده تراستشان در خارج از پوسته موتور قرار گرفته اما در موتورهای توربوفن، ملخ یا فن تولید کننده‌تراست کاملاً در درون پوسته موتور قرار گرفته است.

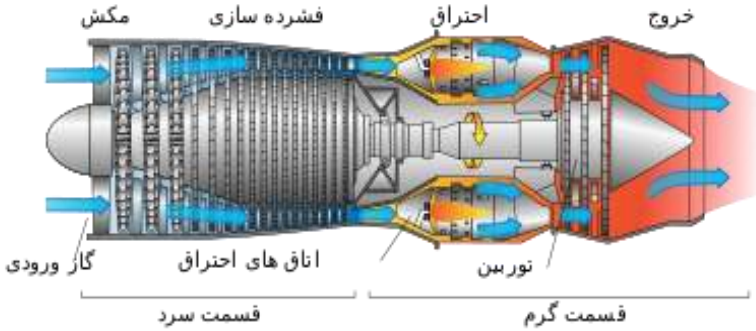


شکل ۱- ۲۷: دیاگرام یک موتور توربوفن با ضریب کنار گذر بالا

۱-۵-۱۱-۲ موتورهای توربوجت یا Turbo Jet

موتورهای توربو جت، بیشتر بر نیروی تولیدی از گازهای خروجی اتکا دارند و در هواپیماهایی بیشتر کاربرد دارند که با سرعت‌های مافوق صوت حرکت می‌کنند. در موتورهای توربوجت، ابتدا، هوا وارد کمپرسور شده و متراکم می‌گردد. اما چون این هوا با سرعت نسبتاً زیادی وارد موتور گردیده برای احتراق مناسب نمی‌باشد و بیشتر سوخت مصرف شده، بدون اشتعال حدر می‌رود. به همین دلیل هوا به قسمت دیفیوژر یا همان کاهنده سرعت فرستاده می‌شود تا از سرعت آن کاسته شود. در دیفیوژر، ابتدا از سرعت هوا کاسته و بر دما و فشار آن افزوده می‌شود. سپس این هوای آماده برای احتراق، به اتاقک احتراق فرستاده می‌شود. در

اتاقک احتراق یا Combaustion Chamber، هوا ابتدا وارد لوله احتراق گشته، با سوخت مخلوط شده سپس منفجر می‌گردد. قسمتی از نیروی حاصله از این انفجار صرف گرداندن توربین شده و مابقی برای تولید نیروی رانش به کار می‌رود. گاهی در هواپیماهای توربوجت، بعد از شیپوره خروجی یا نازل، قسمتی به نام پس سوز یا After Burner قرار می‌دهند که بر نیروی تراست می‌افزاید.



شکل ۱- ۲۸: دیاگرام کار موتور های توربوجت، توربوپراپ و توربوفن

نحوه عملکرد سیستم پس‌سوز به این ترتیب است، هنگامی که گازهای خروجی از موتور خارج می‌شوند، هنوز مقداری اکسیژن و سوخت مصرف نشده دارند که در قسمت پس سوز، با مشتعل ساختن دوباره گازهای خروجی و افزایش ۴ برابر سوخت معمولی به این مخلوط، به طور قابل توجهی بر نیروی تراست می‌افزایند. البته استفاده از پس سوز فقط در شرایط اضطراری و شرایط جنگی مجاز است در غیر این صورت مجاز نیست. تنها هواپیمای مسافربری با پس سوز، هواپیمای کنکورد Concorde ساخت مشترک آلمان، انگلیس و فرانسه است که به علت ایجاد آلودگی صوتی زیاد و مصرف سوخت بالا، بازنشست شد.

۱-۵-۱۱-۳ موتورهای توربوپراپ یا Turbo Prop

موتورهای توربو پراپ، در حقیقت از نیروی ملخ برای تولید تراست استفاده می‌کنند و تنها وجه جت بودن آن‌ها، تولید نیروی لازم برای این چرخش توسط موتور جت است. طرز کار موتورهای توربوپراپ عیناً مانند موتورهای جت توربینی دیگر است و تنها وجه تمایز آن‌ها این است که نیروی تولید توسط توربین بیشتر صرف چرخاندن ملخ می‌شود تا کمپرسور، به همین دلیل برای تولید نیروی بیشتر، تغییراتی هم در توربین موتورهای توربوپراپ داده می‌شود.

۱-۵-۱۱-۴ موتورهای پالس جت یا Pulse Jet

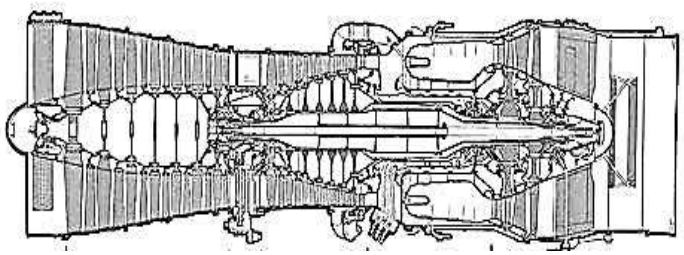
موتورهای پالس جت دارای توربین، کمپرسور، یا شفت نمی‌باشند و تنها قطعه متحرک البته در نوع دریچه دار، دریچه آن می‌باشد. در این گونه موتورها، ابتدا توده بزرگی از انفجار در داخل موتور صورت می‌پذیرد که سبب بسته ماندن دریچه می‌شود. چون تنها راه فرار هوا از موتور قسمت انتهای آن می‌باشد هوا به طرف آن جا هجوم می‌آورد.در نتیجه ترک هوا، خلأ یا حالت مکشی به وجود آمده که باعث باز شدن دریچه و ورود هوای تازه می‌شود. در این حالت، مقداری هوای محترق شده از خروج بازمانده و صرف تراکم و انفجار گاز تازه وارد می‌گردد و سیکل به همین ترتیب ادامه پیدا می‌کند. در نوع بدون دریچه، از یک خم برای ایفای نقش دریچه استفاده می‌شود که با انفجار گازها و به دلیل وجود این خم، کاهش فشار صورت گرفته و مقداری از گازهای خروجی باز می‌گردند به همین ترتیب سیکل ادامه داده می‌شود.

۱-۵-۱۱-۵ موتورهای پرشر جت یا Pressure Jet

از این گونه موتورها در حال حاضر استفاده ی خاصی نمی‌شود لذا از توضیح در مورد آن صرف‌نظر خواهد شد.

۱-۵-۱۱-۶ موتورهای رم جت یا Ram Jet

موتورهای رم جت، هیچ قطعه‌ی متحرکی ندارند و در نگاه اول، مانند یک لوله توخالی به نظر می‌رسند که بیشتر در سرعت‌های مافوق صوت به کار می‌روند. استفاده از آن‌ها به عنوان موتور دوم معمول است که بیشتر در موشک‌ها به کار می‌روند. در این گونه موتورها، برای روشن شدن موتور ابتدا باید سرعت هوا به مقدار لازم برسد در صورت رخ داد چنین حالتی، موتور جت به طور خودکار خود را روشن می‌کند. در موتور رم جت، هوا با سرعت زیاد وارد موتور شده و به علت سرعت بیش از حد، در قسمت دیفیوژر به خوبی کمپرس و متراکم شده و دما و فشار آن بسیار بالا می‌رود. در این حالت مخلوط هوا و سوخت منفجر گشته و با خروج از موتور، نیروی تراست بسیار زیادی را آزاد می‌کنند. این موتورها قدرت بسیار زیادی را دارا می‌باشند اما برای شروع پرواز و برخاست مناسب نمی‌باشند.



شکل ۱- ۲۹: نمای یک موتور توربوجت چند محوره

۱-۵-۱۱-۷ موتورهای سکرم جت یا Scram Jet

نام این موتورها از دو واژه Super Sonic و Combustion گرفته شده که به معنای انفجار در سرعت مافوق صوت است. این گونه موتورها در سرعت‌های هایپر سونیک Hyper Sonic به کار می‌روند و طرز کار آن‌ها بسیار مشابه موتورهای رم جت با تغییراتی می‌باشد. این نکته قابل توجه است که مشتعل ساختن مولکول‌های هوا در حالی که هوا با سرعت بالای ۴ ماخ وارد موتور می‌گردد، مانند روشن کردن کبریت در گردباد تورنادو است! و از همین جا می‌توان درک کرد که چه تکنولوژی عظیمی در این لوله توخالی به کار گماشته شده است. شایان ذکر است که اولین هواپیمای دارای موتور سکرم جت، هواپیمای X-۴۳ است که سرعت آن بالای ۷ ماخ می‌باشد.

۱-۵-۱۱-۷-۱ اجزای اصلی موتورهای جت

۱- کمپرسور:

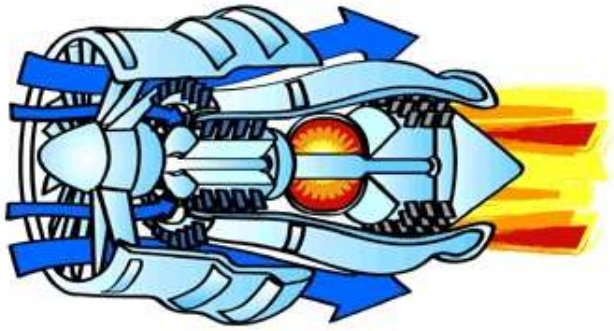
کمپرسورها وظیفه متراکم کردن هوای ورودی را بر عهده دارند. کمپرسورها بر دو نوع هستند: ۱- کمپرسورهای محوری ۲-کمپرسورهای شعاعی یا گریز از مرکز. کمپرسورهای محوری که در اکثر موتورهای جت امروزی استفاده می‌شود، از چند طبقه فن یا پنکه به تعداد مشخص (دو یا بیشتر) تشکیل شده است که هرچه به سمت درون بیشتر پیش برویم، از زاویه پره‌های فن‌ها کاسته می‌شود و هم چنین توسط همین تیغه‌ها یا پره‌ها، به سیال جهت حرکت داده شده و با کاهش زاویه پره‌ها، به فشار سیال یا هوا افزوده و از سرعتش کم شده و در نتیجه متراکم می‌گردد. اما در کمپرسورهای شعاعی یا گریز از مرکز، که بیشتر در موتورهای گازی ساده یا قدیمی کاربرد داشته است، در اصل هوا به یک مانع برخورد کرده و سپس توسط

پره‌های آن به قسمت دیفیوژر یا کاهنده سرعت منحرف می‌شود که این فرآیند با ازدیاد فشار همراه است، در نتیجه هوا متراکم می‌گردد.

شکل ۱- ۳۰: کمپرسور محوری چند مرحله‌ای یک موتور توربوجت

۲- سیستم احتراق:

سیستم احتراق، شامل سوخت پاش، جرقه زن و اتاقک و لوله احتراق می‌گردد. فرآیند انفجار در درون لوله‌های احتراق صورت می‌پذیرد که این عمل با وارد شدن هوا به اتاقک و مخلوط شدن آن با سوخت سپس انفجار آن به وسیله شمع جرقه زن انجام می‌شود. انژکتور وسیله است که با استفاده از نیروی موتور، سوخت را به پودر تبدیل می‌کند و حکمت این کار در بهتر مشتعل شدن در صورت تبدیل به پودر نهفته است. البته سوخت قبل از ورود به انژکتور، مقداری گرم شده تا برای احتراق آماده‌تر باشد. ابتدا انژکتور سوخت را روی هوای متراکم پاشش می‌کند و سپس این مخلوط آماده انفجار است که به وسیله شمع جرقه زن، این عمل صورت می‌گیرد.



شکل ۱- ۳۱: محفظه احتراق Can-Type یک موتور توربوجت

۳- سیستم توربین:

در اینجا، ابتدا هوای منفجر شده به پره‌های توربین برخورد کرده و نیروی لازم جهت گرداندن کمپرسور و مکش هوا برای سیکل بعدی تولید می‌شود که این نیرو به وسیله شفتی به کمپرسور انتقال داده شده و باعث حرکت آن می‌شود. قبل از توربین، استاتور توربین وجود دارد که برای تنظیم جهت حرکت سیال هوا برای ورود به قسمت توربین به کار می‌رود. توربین‌ها نیز به دو دسته محوری و شعاعی تقسیم می‌شوند که نوع محوری چند طبقه است. چون دمای کارکرد توربین بسیار بالا می‌باشد، در ساخت آن از آلیاژهای مخصوصی استفاده می‌شود.

۴- سیستم خروج گازهای داغ:

این سیستم، در حقیقت تولید تراست واقعی را برای رانش هواپیما به جلو می‌کند و سهم اصلی را در تولید و توزیع فشار دارد. در مدل‌های متحرک، زاویه پره‌های شیپوره انتهایی موتور برای میزان کردن فشار قابل تنظیم است. گفتنی است سیستم پس سوز یا After Burner بعد از این بخش نصب می‌شود. به این قسمت، نازل Nozzle هم گفته می‌شود.

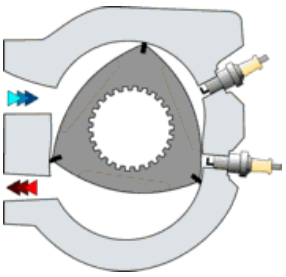
۵- سیستم کشش برگردان یا Thrust Reversation System:

در سیستم کشش برگردان، به وسیله دریچه هایی، نیروی تراست موتور برعکس می‌شود، بدین صورت که خلبان در هنگام فرود نیروی برگردان را فعال ساخته و از آن به عنوان ترمز استفاده می‌کند، یعنی نیروی موتور در جهت عکس اعمال می‌شود. البته توضیح خود این سیستم و کلیه سیستم‌های دیگر هر یک می‌تواند به اندازه یک کتاب توضیحات تکمیلی نیاز

داشته باشد اما در اینجا به ذکر همین نکات کوتاه و جزئی و اجمالی بسنده می‌شود. در صورت اظهار علاقه خوانندگان به چگونگی کار کرد این موتورها مقالات بیشتر را در این زمینه شاهد خواهید بود. لازم به ذکر است که ساخت موتورهای جت به صورت خانگی هم امکان پذیر است و هم اکنون رواج بسیاری در بین جوانان علاقه مند به این علم دارد و یک چنین موتورهای جت دست سازی به طور گسترده‌ای در هواپیماهای مدل قدرتمند به کار گرفته می‌شوند.

۱-۵-۱۲ موتور وانکل

موتور دورانی وانکل یا موتور دوار که به خاطر مخترع آن فلیکس وانکل موتور وانکل نامیده می‌شود. نوعی موتور درون سوز است که به جای حرکت رفت و برگشتی پیستون‌ها، از یک طراحی دوار با دایره‌ای بیرون از مرکز برای تبدیل فشار به نیروی چرخشی استفاده می‌کند. اجزای اصلی آن روتور، محفظه روتور، محور خروجی، شمع جرقه زنی و قطعات آببندی می‌باشد. در موتور وانکل مانند موتورهای بنزینی چهار زمانه مخلوط هوا و بنزین وارد محفظه بزرگی از موتور می‌شود سپس با کم شدن حجم آن مخلوط هوا و بنزین تحت فشار قرار گرفته و با ایجاد جرقه به وسیله شمع انفجار حاصل می‌شود، مولکول‌های گاز در اثر احتراق منبسط می‌گردند و فشار محفظه تراکم به شدت بالا می‌رود و نیروی حاصل از آن به روتور اعمال شده و به علت اختلاف مرکز دوران بین روتور و میل لنگ نیروی چرخشی در روتور ایجاد می‌گردد (شکل ۱-۳۲).



شکل ۱- ۳۲: موتور وانکل

در زیر به شرح مراحل سیکل چهار زمانه موتور وانکل پرداخته می‌شود:

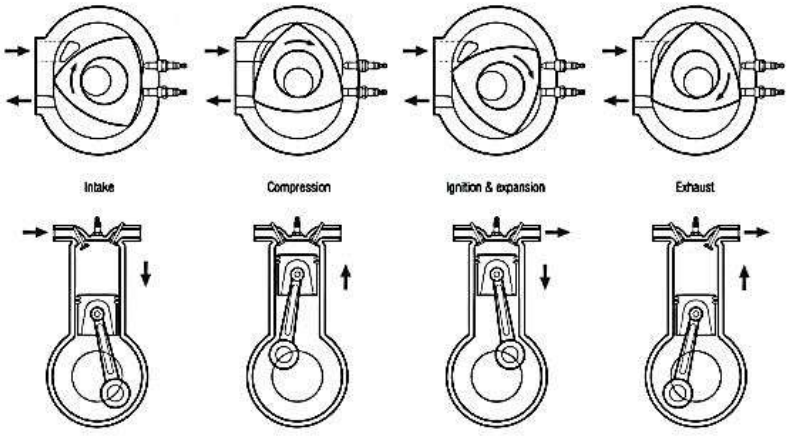
۱) مکش: فاز مکش از زمانی شروع می‌شود که یکی از تیغه های روتور از روی دریچه مکش عبور کند و پورت مکش در معرض محفظه سیلندر و روتور واقع شود. در این لحظه، محفظه دارای کمترین مقدار حجم خود می‌باشد و با حرکت روتور حجم محفظه منبسط شده و

فرآیند مکش اتفاق می‌افتد که در پی آن ترکیب سوخت و هوا به داخل محفظه کشیده می‌شود. هنگامی که تیغه بعدی روتور از جلوی دریچه ورودی می‌گذرد، محفظه بصورت کامل آب بندی شده و فرآیند تراکم آغاز می‌گردد.

۲) تراکم: با ادامه حرکت روتور درون محفظه، حجم سوخت و هوا فشرده‌تر می‌گردد. وقتی سطح روتور در این حجم به طرف شمع می‌چرخد، حجم مخلوط سوخت و هوا به کمترین مقدار خود می‌رسد و این درست هنگامی است که با جرقه زدن شمع، فرایند احتراق مخلوط سوخت و هوا شروع می‌گردد.

۳) احتراق: حجم محفظه احتراق گسترده و طولانی است، بنابراین با وجود تنها یک عدد شمع، سرعت پخش شعله بسیار کم است و احتراق ناقصی حاصل می‌گردد. از این رو در اکثر موتورهای دورانی از دو شمع در طول این ناحیه استفاده می‌شود. هنگامی که شمع‌ها جرقه می‌زنند، مخلوط سوخت و هوا محترق شده و فشار بسیار بالایی را ایجاد می‌کنند که باعث تداوم عمل چرخش روتور می‌گردد. فشار احتراق، روتور را مجبور به حرکت می‌کند و حجم ناحیه محترق شده، رفته رفته زیاد می‌شود. در اینجاست که فرآیند انبساط و در نتیجه افزایش توان خروجی موتور ایجاد می‌گردد تا جایی که تیغه روتور به دریچه خروجی برسد و فرایند تخلیه انجام گردد.

۴) تخلیه گاز: هرگاه تیغه روتور از دریچه خروجی عبور می‌کند، گازها با فشار بالا رها شده و به سمت دریچه خروجی جریان می‌یابند. با ادامه حرکت روتور، حجم محبوس فشرده می‌گردد و گازها را به طرف دریچه خروجی می‌راند.



شکل ۱- ۳۳: مراحل سیکل چهار زمانه موتور وانکل

شکل ۱-۳۳ نشان می‌دهد که یک موتور وانکل (دورانی) دارای سیستم جرقه و سوخت رسانی مشابه با موتورهای پیستونی می‌باشند.

۱-۵-۱۲-۱ اجزای اصلی یک موتور وانکل (دورانی)

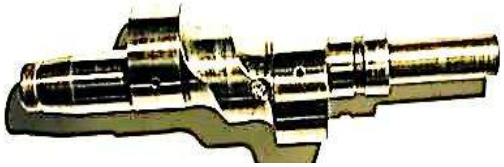
۱) روتور: روتور یک قطعه مثلث شکل با سه سطح برآمده یا محدب می‌باشد که هر کدام از این سطوح همانند یک پیستون عمل می‌کند. همچنین هر کدام از این سطوح دارای یک گودی یا تو رفتگی می‌باشد که حجم موتور را بیشتر می‌کند. در راس هر وجه یک تیغه فلزی قرار گرفته که عمل آببندی سه حجم محبوس در بین روتور و جداره سیلندر را بر عهده دارد. همچنین در هر طرف روتور (سطح فوقانی و تحتانی) رینگ‌های فلزی قرار گرفته‌اند که وظیفه آببندی جانبی روتور را به عهده دارند. روتور دارای یک چرخ دنده داخلی در مرکز یک وجه جانبی می‌باشد که این چرخ دنده با چرخ دنده دیگری که به صورت ثابت روی محفظه سیلندر قرار دارد، درگیر می‌شود و این درگیر شدن، مسیر و جهت حرکت روتور را درون محفظه تعیین می‌نماید(شکل ۱-۳۴).

شکل ۱- ۳۴: روتور موتور وانکل

۲) محفظه سیلندر: محفظه سیلندر تقریباً بیضی شکل است و شکل محفظه احتراق نیز به گونه‌ای طراحی شده که همواره سه لبه روتور در تماس با دیواره محفظه قرار می‌گیرند و سه حجم آببندی شده را می‌سازند. هر قسمت از این محفظه به یکی از چهار فرآیند موتور (مکش، تراکم، احتراق، تخلیه) اختصاص دارد. دریچه‌های مکش و تخلیه هر دو در دیواره محفظه تعبیه شده‌اند که هیچ گونه سوپاپی برای این دریچه‌ها وجود ندارد. دریچه تخلیه به طور مستقیم به اگزوز و دریچه مکش به دریچه گاز راه دارد (شکل ۱-۳۵).

شکل ۱- ۳۵: محفظه موتور وانکل

۳) محور خروجی: محور خروجی دارای یک برآمدگی مدور (بادامک) می‌باشد که نسبت به خط مرکزی محور، خارج از مرکز قرار دارد. هر روتور روی یکی از این بادامک‌ها سوار خواهد شد. این بادامک همانند یک میل لنگ در موتورهای پیستونی عمل می‌کند. از آن جا که این بادامک‌ها دارای یک برآمدگی خارج از مرکز می‌باشند، نیروی وارد از طرف روتور به این بادامک‌ها گشتاوری در محور ایجاد می‌کند که باعث چرخیدن آن می‌گردد (شکل ۱-۳۶).



شکل ۱- ۳۶: محور خروجی موتور وانکل

مزایای موتور وانکل در مقایسه با موتور پیستونی عبارتند از:

۱) قطعات متحرک کمتر: موتورهای دورانی در مقایسه با موتورهای چهار زمانه پیستونی، قطعات متحرک کمتری دارند. یک موتور دورانی دو روتوره، در مجموع سه قطعه متحرک اصلی دارد: دو روتور و محور خروجی. این در حالی است که ساده‌ترین موتورهای پیستونی چهار سیلندر، حداقل ۴۰ قطعه متحرک دارد، مانند پیستون‌ها، شاتون‌ها، میل لنگ، میل بادامک، سوپاپ‌ها، فنر سوپاپ‌ها، اسبک‌ها، تسمه تایمینگ و غیره، کم بودن قطعات متحرک می‌تواند دلیلی بر قابلیت اعتماد و اعتبار موتورهای دورانی باشد و به همین دلیل است که کارخانه‌های سازنده وسایل هوانوردی (هواپیما و کایت‌های با موتور احتراق داخلی)، موتورهای دورانی را به موتورهای پیستونی ترجیح می‌دهند.

۲) کارکرد نرم و بدون لرزش: موتور دورانی به دلیل تقارن خاص قطعات گردنده، دارای یک نوع بالانس داخلی است که هر گونه ارتعاش و لرزشی را از بین می‌برد.

۳) حرکت آهسته: از آن جا که گردش روتور، یک سوم گردش محور خروجی آن است، قطعات اصلی موتور آهسته‌تر از قطعات موتورهای پیستونی حرکت می‌کنند که این موضوع قابلیت اطمینان به این موتور را بالا می‌برد.

از معایب مهم موتورهای وانکل فرسایش و استهلاک زیاد قسمت گردنده داخلی که جهت آببندی با سیلندر در ارتباط است و عدم کنترل انتقال حرارت می‌باشد.

از جمله کاربرد موتورهای وانکل می‌توان در صنایع نظامی به عنوان پیشرانه وسایل پرنده سبک و همچنین در موارد متعددی صنایع خودرو فقط در مزدا (مدل‌های RX8 و RX7) و بنز C111 کانسپت نام برد. شرکت مزدا در تولید و توسعه خودروهایی که از موتور دورانی استفاده می‌کنند، سابقه طولانی دارد. مزدا RX-7 که در ۱۹۷۸ به بازار خودرو آمد، موفق‌ترین خودرو با موتور دورانی بوده است، ولی قبل از آن خودروها، کامیون‌ها و حتی اتوبوس‌هایی با موتور دورانی تولید شده بودند. سرآغاز آن‌ها نیز Cosmo Sport در ۱۹۶۷ می‌باشد. آخرین سالی که RX۷ در آمریکا فروخته شد، سال ۱۹۹۵ بود.

۱-۵-۱۳ موتور پیستون آزاد

در موتورهای احتراق داخلی اتلاف حرارت از سیلندر به محیط پیرامون و همچنین پدیده اصطکاک بین رینگ‌های پیستون، دیواره سیلندر و محیط پیستون وجود دارد. محققان برای غلبه بر این پدیده‌ها (اتلاف حرارت و اصطکاک) یک مدل جدیدی ارائه دادند که موتور پیستون آزاد نامیده شد. در موتورهای پیستون آزاد، پیستون به صورت آزادانه در سیلندر بدون هیچ گونه قیدی بین موقعیت پیستون و حرکت چرخشی میل لنگ حرکت می‌کند.

اولین مدل مدرن موتور پیستون آزاد توسط Pescara ارائه شد که کاربرد اصلی آن کمپرسور هوا تک پیستون بود. او همچنین مدل اصلی خود را با اشتعال جرقه‌ای و تراکم دیزلی توسعه داد. و همچنین فعالیت خود را بر روی موتور کمپرسور هوا پیستون آزاد چند مرحله‌ای ادامه داد. از آن به بعد محققان مطالعات خود را بر روی کاربردی‌های مدرن موتورهای پیستون آزاد به خصوص موتورهای هیدرولیکی و موتورهای خطی پیستون آزاد انتشار دادند. موتورهای هیدرولیکی برای خودروهای Off-Road و موتورهای خطی پیستون آزاد برای خودروهای

الکتریکی هیبریدی در نظر گرفته می‌شوند. هدف از موتورهای پیستونی تولید انرژی است، در موتور پیستون آزاد، این قدرت به میل لنگ تحویل داده نمی‌شود، بلکه به وسیله فشار گاز خروجی از طریق توربین یا یک بار خطی مانند کمپرسور هوا برای قدرت پنوماتیک یا با استفاده از یک مبدل خطی به طور مستقیم برای استخراج و تولید برق استفاده می‌شود.

از نظر ساختاری موتورهای خطی پیستون آزاد شامل دو بخش اصلی هستند:

۱- موتور پیستون آزاد

۲- آلترناتور خطی (شامل آهنربا و سیم پیچ)

زمانی که موتور روشن میشود آلترناتور خطی جریان متناوبی را برای به حرکت در آوردن موتور پیستون آزاد از طریق سیستم‌های اتصال در موتور دریافت می‌کند. بعد از فرکانس‌های مشخص، برای موتورهای بنزینی شمع‌های موتور فعال می‌شود و برای موتورهای دیزل (اشتعال تراکمی) پاشش سوخت داخل سیلندر انجام می‌شود. تا فرآیند احتراق داخل سیلندر انجام شود و منجر به حرکت رفت و برگشتی پیستون شود.

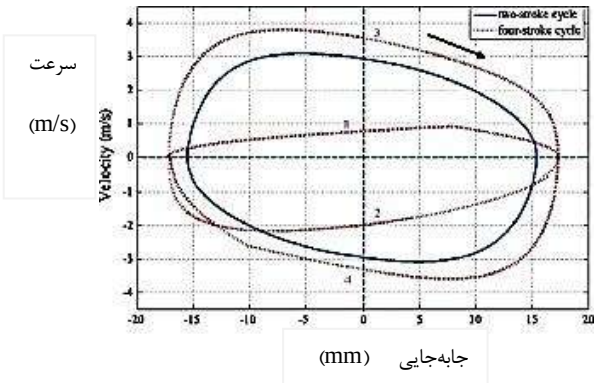
برخلاف موتورهای احتراق داخلی با مکانیزم میل‌لنگ، پیستون‌های موتورهای خطی پیستون آزاد می‌توانند آزادانه در سیلندر حرکت کنند که اجازه می‌دهد نسبت تراکم تغییر کند و فرآیند احتراق بهینه گردد. با تغییر نسبت تراکم در موتورهای خطی پیستون آزاد این موتورها می‌توانند به صورت احتراق تراکمی همگن (HCCI) عمل کنند که این موجب به افزایش راندمان حرارتی و کاهش انتشار Nox و HC می‌شود.

موتورهای خطی پیستون آزاد دارای مکانیک ساده و در نتیجه ارزان قیمت‌تر از موتورهای دارای میل لنگ هستند. وجود نداشتن میل لنگ به صورت عمده اصطکاک را کاهش می‌دهد و حرکت آزاد پیستون شتابی بیشتر از موتورهای احتراق داخلی مرسوم ایجاد می‌کند. بیشترین شتاب پیستون در موتورهای پیستون آزاد ۶۰٪ بیشتر از موتورهای مرسوم است. همچنین موتورهای پیستون آزاد در مقایسه با موتورهای احتراق داخلی زمان کمتری را در TDC صرف می‌کنند به همین دلیل اتلاف حرارت از سیلندر در موتورهای پیستون آزاد کمتر از موتورهای مرسوم است. اگر چه حرکت آزاد پیستون داخل سیلندر منجر به تغییر فشار احتراق در هر سیکل می‌شود. بنابراین اگر حرکت پیستون به درستی کنترل نشود امکان دارد سطح فوقانی پیستون با سرسیلندر برخورد کند. البته این خطر می‌تواند با نصب یک دمپر در سیلندر حذف شود.

۱-۵-۱۳-۱ طبقه بندی موتورهای خطی پیستون آزاد FPLES

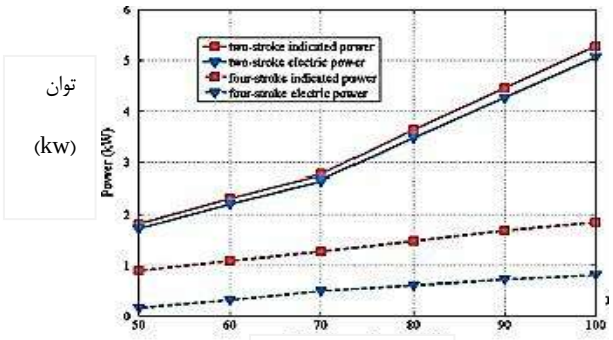
در موتورهای احتراق داخلی مرسوم با مکانیزم میل لنگ چهار ضربه در دو دور چرخش میل لنگ و ضربه احتراق نامیده می‌شود. اما برای موتورهای پیستون آزاد چهار ضربه در حرکت خطی پیستون رخ می‌دهند و سوپاپ‌های مکش و تخلیه توسط سیستم الکترونیکی کنترل می‌شود. نکته قابل توجه، کنترل باز و بسته شدن دریچه‌های مکش و تخیله توسط سیستم الکترونیکی برای جلوگیری از برخورد پیستون با سوپاپ‌های ورودی و خروجی است که باید به درستی انجام شود.

انواع موتورهای خطی پیستون آزاد عبارت است از: ۲ ضربه و ۴ ضربه. در موتورهای خطی پیستون آزاد دریچه‌های مکش و تخلیه با سیستم الکترونیکی کنترل می‌شوند. کنترل باز و بسته شدن دریچه‌های مکش و تخیله توسط سیستم الکترونیکی برای جلوگیری از برخورد پیستون با دریچه‌های ورودی و خروجی باید به درستی انجام شود. طی تحقیقاتی بر روی این گونه موتورها انجام دادند یافتند: سرعت پیستون در طی فرآیند انبساط سیکل ۴ ضربه‌ای بیشتر از سیکل ۲ ضربه است. بیشترین فشار در سیلندر برای سیکل ۴ ضربه بسیار بیشتر از سیکل ضربه‌ای است. (به دلیل بیشتر بودن جابجای پیستون برای سیکل ۴ ضربه‌ای) مقدار جابجایی پیستون برای موتورهای چهار ضربه‌ای کمی بیش از موتورهای ۲ ضربه‌ای است. زیرا در موتورهای ۴ ضربه‌ای حرکت پیستون می‌تواند توسط بهینه سازی نیروی موتور کنترل شود.



شکل ۱- ۳۷: نمودار سرعت موتورهای پیستون آزاد

دیگر نتایج آن این است که قدرت اندیکاتوری و قدرت الکتریکی سیکل‌های ۲ ضربه‌ای خیلی بیشتر از سیکل‌های ۴ ضربه‌ای در شرایط مشابه برای حالت تروتل است.



شکل ۱- ۳۸: نمودار تغییر توان در موتورهای پیستون آزاد

۱-۵-۱۳-۲ انواع موتورهای پیستون آزاد از نظر تعداد پیستون

۱- تک پیستون
۲- دو پیستون (موافق و مخالف)
۳- چهار پیستون (موافق، مخالف، مختلط)

۱-۵-۱۳-۳ مشخصات موتورهای خطی پیستون آزاد تک پیستونه

۱- شامل یک پیستون، سیلندر و سیستم برگشت است.

۲- مکانیک ساده با قابلیت کنترل بالا در مقایسه با مدل‌های دیگر موتورهای خطی پیستون آزاد.

۳- به سبب وجود ۱ پیستون دارای بالانس حرکتی خوبی نمی‌باشد.

۱-۵-۱۳-۴ مشخصات موتورهای خطی پیستون آزاد - پیستون مخالف

۱- شامل ۲ پیستون با یک محفظه احتراق هستند.

۲- دارای سیستم حذف ارتعاش مکانیکی هستند.

۳- محفظه احتراق مشترک باعث می‌شود افت حرارتی ما کاهش پیدا کند.

۴- به دلیل وجود سیستم حذف ارتعاش در این نوع موتورها از نظر ابعادی نسبت به انواع دیگر موتورهای خطی پیستون آزاد بسیار بزرگ‌تر هستند.

۱-۵-۱۳-۵ مشخصات موتورهای خطی پیستون آزاد - پیستون دوگانه

۱- شامل دو محفظه احتراق و دو پیستون هستند.

۲- در این موتور سیستم برگشت وجود ندارد و کار یک پیستون باعث ایجاد فرآیند تراکم در سیلندر دیگر می‌شود.

۳- این نوع موتورها دارای نسبت قدرت بالاتر هستند.

۴- کنترل حرکت پیستون سخت‌تر است.

۱-۶ تاریخچه و معرفی موتورهای احتراق خارجی

این قسمت به بررسی برخی از اقدامات و طراحی‌های انجام شده توسط افراد و دانشمندان مختلف از ابتدای تاریخ موتورهای احتراق خارجی تا به امروز پرداخته شده است.

۱-۶-۱ موتور استرلینگ

موتور استرلینگ که به آن ماشین استرلینگ هم گفته می‌شود یک موتور احتراق خارجی است که در سال ۱۸۱۶ توسط دکتر رابرت استیرلینگ اختراع شد. موتور استیرلینگ قابلیت بازدهی بیشتری نسبت به موتورهای بنزینی و دیزلی دارد اما امروزه موتورهای استرلینگ فقط در برخی کاربردهای خاص مانند زیردریایی‌ها یا ژنراتورهای کمکی در قایق‌ها (که عملکرد بی صدا مهم است) استفاده می‌شود. اگر چه موتورهای استیرلینگ به تولید انبوه نرسید اما برخی اختراعات پرقدرت با این موتور کار می‌کند.

شکل ۱- ۳۹: موتور استرلینگ

موتورهای استرلینگ از چرخه استرلینگ استفاده می‌کند که مشابه چرخه‌های استفاده شده در موتورهای احتراق داخلی نیست. گاز استفاده شده در داخل موتورهای استرلینگ هیچ وقت موتور را ترک نمی‌کند و مانند موتورهای دیزل و بنزینی سوپاپ دود که گازهای پر فشار را تخلیه می‌کند و محفظه احتراق وجود ندارد. به همین علت موتورهای استرلینگ بسیار بی صدا هستند. چرخه استرلینگ از یک منبع حراتی خارجی که می‌تواند هر چیزی از بنزین و انرژی خورشیدی تا حرارت ناشی از پوسیدگی گیاهان باشد استفاده کند و هیچ احتراقی داخل سیلندرهای موتور رخ نمی‌دهد.

۱-۶-۲ طرز کار موتورهای استرلینگ

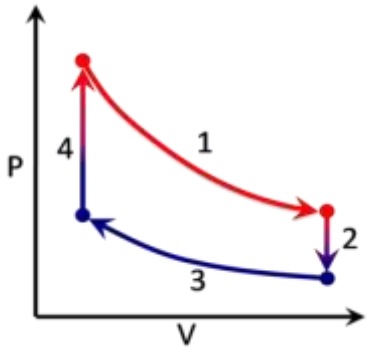
موتور استرلینک از دو سیلندر و دو پیستون تشکیل شده است در داخل سیلندر بزرگ‌تر که به آن سیلندر جابجایی نیز گفته می‌شود پیستون جابجایی قرار دارد و در داخل سیلندر کوچکتر نیز پیستون کار یا قدرت واقع شده است هر دو پیستون کار یا قدرت از طریق محور مربوطه با اختلاف فاز در حدود ۹۰ از یک دیگر به میل لنگ وصل شده‌اند. دو انتهای سیلندر جابجایی به وسیله یک مجرا به یک دیگر متصل می‌باشد و صرف نظر از تلفات مکانیکی می‌توان فشار محفظه‌های بالا و پائین آن را یکسان فرض نمود پیستون جابجایی بدون نیاز به درزبندی نسبت به سیلندر به راحتی می‌تواند در داخل آن حرکت کند و گاز عامل را که در داخل موتور قرار دارد از طریق مجرای مورد اشاره، به قسمت فوقانی یا تحتانی خود هدایت کند.

در مسیر مجرای مورد بحث سه عضو مهم موتور، یعنی گرم کن، بازیاب و سرد کن، قرار گرفته‌اند. در این موتور گرم کن یا منبع گرم یک مبدل حرارتی است که حرارت را از هر منبع حرارتی مانند انرژی خورشیدی سوخت فسیلی و اخذ و به گاز عامل انتقال می‌دهد منبع سرد نیز به یک مبدل حرارتی یا محیط واگذار می‌کند در وسط منبع سرد نیز یک مبدل حرارتی

است که گرمارا از گاز عامل گرفته و آن را به چاه حراراتی (محیط) واگذار می‌کند در وسط منبع گرم و منبع سرد بازیاب قرار دارد که همانند یک باطری حرارتی در حین عبور گاز گرمای آن را گرفته و در بازگشت مجدداً آن را گرم می‌کند.

بازیاب بایستی ظرفیت حرارتی نسبتاً بالا داشته و هدایت حرارتی در آن به خوبی صورت گیرد معمولاً ماتریس بازیاب بسته به نوع کاربرد، از سیم‌های فولاد ضد زنگ و یا برنج ساخته می‌شود . موتور استرلینگ در یک چرخه بسته عمل می‌کند و لذا بایستی از هرگونه نشت گاز عامل به بیرون جلوگیری گردد بنابراین محل عبور محور حرکت دهنده پیستون جابجایی از مرز سیلندر جمله محل‌هایی است که باید درز بندی شود. پیستون کار توسط محور مربوط (شاتون) به میل لنگ متصل می‌باشد قسمت فوقانی سیلندرها از طریق یک مجرا به سیلندر جابجایی ارتباط داشته و صرف نظر از تلفات مکانیکی می‌توان آن را با سیلندر جابجایی هم فشار عوض کرد پیستون کار برخلاف پیستون جابجایی بایستی در درون سیلندر درز بندی شود به نحوی که بدون نیاز به رونکاری مانع از نشت گاز عامل به محیط گردد.

چرخه ترمودینامیکی استرلینگ شامل موتور استرلینگ اولیه می‌باشد که در سال ۱۸۱۶ توسط رابرت استرلینگ با همکاری برادرش، طراحی و ساخته شد. چرخه‌ای برگشت پذیر است، بدین معنی که اگر با کار مکانیکی تغذیه شود، می‌تواند به عنوان پمپ حرارتی یا یخچال عمل کند. سیکل به عنوان یک چرخه بسته همراه با بازیافت با سیال عامل گازی تعریف می‌شود. چرخه بسته به این معنی می‌باشد که سیال عامل به صورت همیشگی درون سیستم ترمودینامیکی بوده و از آن خارج نمی‌شود. این چرخه همچنین در رده موتورهای احتراق خارجی دسته بندی می‌شود. بازیافت مربوط به استفاده از یک مبدل حرارتی داخلی می‌باشد که بازدهی حرارتی سیستم را افزایش می‌دهد. در شکل ۱-۴۰ مشخص است که چرخه استرلینگ همانند دیگر چرخه های حرارتی دارای چهار فرآیند اصلی می‌باشد.



شکل ۱- ۴۰: شکل چهار فرآیند اصلی یک چرخه استرلینگ

با این حال، این فرآیندها، به صورت جداگانه اتفاق نمی‌افتد، اما گذار از این حالات با هم همپوشانی دارند.

چرخه ایده آل استرلینگ از چهار فرآیند تشکیل شده است:

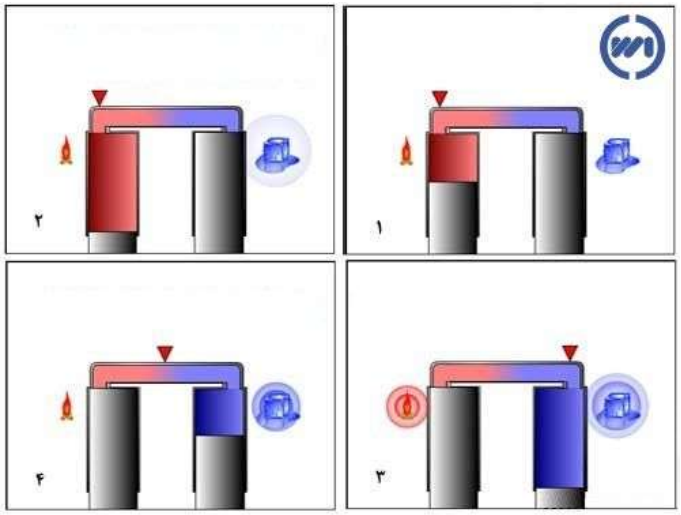
انبساط هم‌دما، فضای انبساط از خارج حرارت داده می‌شود، و سیال عامل یک فرایند انبساط تقریباً همدما را طی می‌کند.

گرفتن دمای حجم ثابت، گاز از بازیافت حرارتی می‌گذرد، در تنیجه سرد شده، و گرمای خود را به بازیافت داده تا در مرحله بعدی چرخه مورد استفاده قرار گیرد.

تراکم هم‌دما، محفظه تراکم سرد شده، درنتیجه گاز یک فرایند تقریبا همدما را طی می‌کند.

در اثر حرارت دادن در حجم ثابت، هوا متراکم شده از بازیافت عبور داده شده و گرما می‌گیرد و وارد محفظه انبساط می‌شود.

شکل ۱-۴۱ نشان می‌دهد که سیکل استرلینگ چهار قسمت دارد:



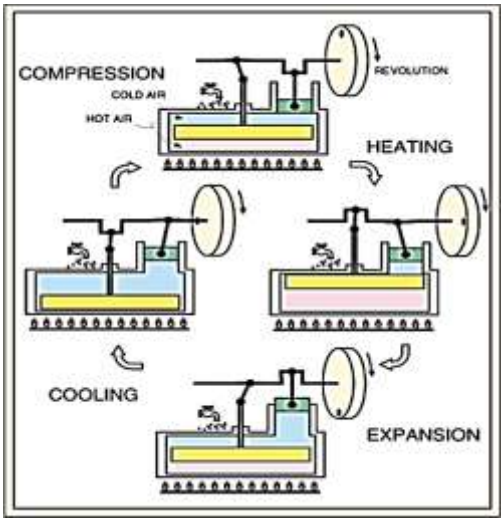
شکل ۱- ۴۱: قسمت‌های سیکل استرلینگ

۱- گرما که به گاز درون سیلندر گرم شده افزوده می شود (چپ) باعث ایجاد فشار می‌شود. این نیروها پیستون را به پایین حرکت می‌دهند. این قسمتی از سیکل استرلینگ است که کار انجام می‌دهد.

۲- پیستون چپ به سمت بالا حرکت می‌کند در حالی که پیستون سمت راست به سمت پایین حرکت می‌کند. این گاز داغ را در سیلندر سرد شده فشار می‌دهد که به سرعت گاز سرد می‌شود تا به دمای منبع سرمایشی برسد که فشار آن را کاهش می‌دهد. ا

۳- پیستون در سیلندر سرد شده (راست) شروع به فشرده کردن گاز می‌کند. گرمای تولید شده توسط این فشردگی توسط منبع سرمایشی حذف می‌شود.

۴- پیستون راست به بالا حرکت می‌کند در حالی که پیستون چپ به سمت پایین حرکت می‌کند. این عمل گاز را به داخل سیلندر گرما می‌راند جایی که سریع گرم شده و باعث فشار می‌شود و این نقطه‌ای است که سیکل دوباره تکرار می‌شود. در شکل ۱-۴۲ نحوه عملکرد موتور استرلینگ نشان داده شده است.



شکل ۱- ۴۲: نحوه عملکرد موتور استرلینگ

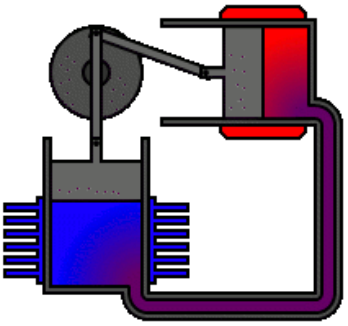
موتور استرلینگ فقط انرژی در طی اولین بخش سیکل ایجاد می‌کند. دو روش اصلی برای افزایش انرژی خروجی سیکل استرلینگ وجود دارد.

افزایش خروجی انرژی در مرحله یک، در قسمت اول سیکل فشار گاز گرم شده پیستون را در برابر انجام کار هدایت می‌کند. با افزایش فشار در طی این بخش از سیکل خروجی انرژی موتور را افزایش خواهد داد. یک روش افزایش فشار، افزایش دمای گاز است..

کاهش کاربرد انرژی در مرحله سوم، در این قسمت از سیکل، پیستون‌ها روی گاز کار می‌کنند با استفاده از انرژی تولید شده در قسمت اول با کاهش فشار در طی این بخش از سیکل انرژی استفاده شده را می‌تواند در طی این مرحله کاهش دهد (کارآیی خروجی انرژی موتور را افزایش می‌دهد).

۱-۶-۳ انواع موتورهای استرلینگ

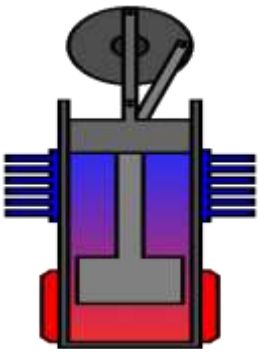
۱-۶-۳-۱ الف- موتورهای نوع آلفا



شکل ۱- ۴۳: شکل یک موتور استرلینگ از موتورهای نوع آلفا

موتورهای نوع آلفا که در شکل ۱-۴۳ نشان داده شده است دارای دو سیلندر مجزا برای فضاهای تراکم وانبساط بوده و در هر سیلندر یک پیستون قرار دارد. دو سیلندر مجزا به واسطه هیتر، بازیاب و کولر به هم متصل شده‌اند. پیستون گرم در کنار منبع گرم و پیستون سرد در کنار منبع سرد قرار می‌گیرد. این نوع از موتورها، از لحاظ مفهومی، ساده‌ترین ترکیب را در میان انواع ترکیبات موتور استرلینگ دارند. گرچه احتیاج به آب بندی هر دو پیستون از معایب آن به شمار می‌رود و مسئله آب بندی پیستون گرم به دلیل تماس با منبع گرم از مشکلات فنی آن می‌باشد. موتورهای آلفا دارای نسبت توان به حجم بالایی هستند.

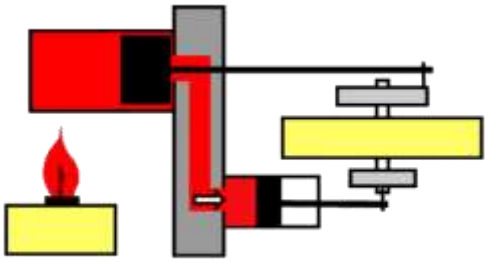
۱-۶-۳-۲ ب- موتورهای نوع بتا



شکل ۱- ۴۴: شکل یک موتور استرلینگ از موتورهای نوع بتا

موتور استرلینگ نوع بتا، قدیمی‌ترین ساختمان موتورهای استرلینگ می‌باشد. اختراع رابرت استرلینگ به عنوان اولین موتور استرلینگ دارای ساختمان بتا بوده است .موتورهای نوع بتا از ترکیب پیستون قدرت و جابجا کننده استفاده می‌کنند. ساختمان موتور به این گونه است که هر دو پیستون در یک سیلندر به طور خطی قرار گرفته‌اند (شکل ۱-۴۴).

۱-۶-۳-۳ ج- موتورهای نوع گاما



شکل ۱- ۴۵: شکل یک موتور استرلینگ از موتورهای نوع گاما

موتور استرلینگ نوع گاما همانند موتور نوع بتا دارای ترکیب پیستون جابجا کننده می‌باشد. در این نوع موتور پیستون و جابجا کننده در دو سیلندر مجزا قرار دارند. موتور استرلینگ گاما نسبت به نمونه های آلفا و بتا، دارای نسبت تراکم کمتری می‌باشد. اما به دلیل این که تنها پیستون قدرت نیاز به آب بندی دارد و همچنین سیلندرها مجزا هستند، از لحاظ مکانیکی ساده‌ترین آرایش را در میان سایر چیدمان‌ها دارد (شکل ۱-۴۵).

۱-۶-۴ سیال عامل (گاز) داخل موتور استرلینگ

در چرخه استرلینگ، سیال عامل به عنوان یک زیر سیستم مهم از موتور استرلینگ، در یک حجم بسته به طور متناوب گرما و سرما می‌گیرد و وظیفه حمل انرژی و انجام کار را به عهده دارد.

هر سیالی با ظرفیت حرارتی مخصوص بالا ممکن است به عنوان سیال عامل در موتور استرلینگ مطرح شود. به جز چند مورد، غالب موتورهای استرلینگ در قرن نوزدهم از هوا به عنوان سیال عامل استفاده می‌کردند. بیشتر آن‌ها نزدیک به فشار اتمسفر عمل می‌کردند. هوا ارزان و به سهولت در دسترس می‌باشد. سیال عامل به کار رفته در موتور استرلینگ باید خصوصیات ترمودینامیکی، انتقال حرارتی و دینامیکی (دینامیک گازها) زیر را داشته باشد.

۱- رسانش گرمایی بالا

۲- ظرفیت گرمایی ویژه بالا

۳- گران‌روی پایین

۴- چگالی پایین

برای عملکرد بهتر موتور علاوه بر شرایط فوق، سهولت دسترسی پذیری، قیمت مناسب، ایمنی عملکرد و ذخیره سازی آسان خصوصیات مهمی هستند که نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت.

همان طور که گفته شد، در ابتدا از هوا به عنوان سیال عامل در موتور استرلینگ استفاده می‌شد و به همین علت نام گذاری ابتدایی آن به نام موتورهای هوایی بوده است. اما بعدها به علت سبک‌تر بودن هلیم و هیدروژن نسبت به هوا، این دو گاز جایگزین آن شدند. سبک‌تر بودن سیال عامل از طرفی منجر به کاهش حجم و وزن موتور شده و از طرفی دیگر کوچک و سبک بودن مولکول‌ها موجب کاهش تلفات می‌گردد. در حال حاضر هیدوروژن سیال عامل ایده آل برای موتور استرلینگ از لحاظ خصوصیات ترمودینامیکی و فیزیکی به شمار می‌رود. اما به خاطر خطرات آن و مسائل امنیتی، استفاده کاربردی کمتری دارد. بنابراین در حال حاضر بیشتر از هلیم به عنوان سیال عامل استفاده می‌شود.

۱-۶-۵ سرد کننده موتور استرلینگ (کولر)

در موتورهای استرلینگ دفع حرارت در کولر با توجه به اختلاف دمای محدود بسیار مشکل بوده و از اهمیت زیادی در زمینه بازدهی موتور بر خوردار است. بنابراین با بهبود و افزایش عملکرد آن یکی از گام‌های مطمئن را در جهت بهبود بازدهی می‌توان برداشت. به همین دلیل است که سطح کولر را بزرگ‌تر از هیتر در نظر می‌گیرند. برای خنک کاری از آب و هوا در حالت ساده می‌توان استفاده کرد. در ساده‌ترین حالت استفاده از هوا معقول‌تر است، بدین صورت که با تعبیه فن‌های مناسب بر روی قسمت سرد موتور عمل خنک سازی انجام می‌گیرد. برای استفاده از آب، باید کانال‌های لازم برای انتقال آب پیش‌بینی شوند و در صورت استفاده از پمپ و رادیاتور بازدهی بالاتر خواهد رفت.

موتورهای استرلینگ در مقایسه با موتورهای احتراق داخلی نیاز به رادیاتور بزرگتری دارند. برای مثال در مقایسه با موتور دیزل سه برابر بیشتر نیاز به دفع حرارت دارند. برای افزایش انتقال حرارت، محفظه سرد باید تا حد امکان بزرگ انتخاب شود تا عمل سرمایش امکان پذیر باشد.

۱-۶-۶ مزایای موتور استرلینگ

امروزه از موتور استرلینگ در موارد بسیار تخصصی مثل زیر دریایی و مولدهای کمکی، جایی که عملکرد بی سر و صدا اهمیت دارد، استفاده می‌شود. این موتورها یک دسته از موتورهای حرارتی خاص هستند زیرا بازده آن‌ها تقریباً نزدیک ماکزیمم بازدهی است که توسط تئوری پیش بینی می‌شود. این موتور با گاز کار می‌کند. انبساط آن هنگام گرم شدن و انقباض آن هنگام سرد شدن نیروی این موتور را تامین می‌کند. این مقدار گاز بین دو انتهای سرد و گرم در حرکت است و هیچگاه از این چرخه خارج نمی‌شود. یک پیستون وظیفه انتقال گاز به دو منبع سرد و گرم را انجام می‌دهد که حرکت آن ناشی از انبساط و انقباض حجم گاز است. همان طور که گفته شد این گاز هیچوقت از موتور استرلینگ خارج نمی‌شود.

این موتور برخلاف موتورهای دیزلی یا بنزینی هیچ کانال تخلیه ندارد زیرا اساس کار آن بر احتراق سوخت نیست بنابراین کاملاً بی صدا عمل می‌کند. منبع تامین گرمای آن می‌تواند انرژی خورشیدی، سوخت‌های فسیلی یا هر نوع گرمای اتلاف شده در طبیعت باشد.

۱-۶-۷ موتور بخار

موتور بخار به ماشین گرمایی گفته می‌شود که سیال سیکل گرمایی آن بخار می‌باشد. ایده استفاده از بخار آب برای ایجاد نیروی حرکتی پیشینه‌ای طولانی در حدود ۲۰۰۰ سال دارد. اما تا حدود ۳۰۰ سال پیش دستگاه‌های بخار تولیدکنندگان مهمی در حوزهٔ نیروی مکانیکی نبودند. توسعه استفاده از بخارهای پر فشار و تبدیل آن‌ها به نیروهای خطی و دورانی قادر به ایجاد نیروی مورد نیاز بسیاری از ماشین‌های تولید بود. این دستگاه‌ها در هر جایی که آب و سوخت چون زغال سنگ یا چوب فراهم باشد قابل استفاده هستند.

ماشین‌های بخار وسایل حمل و نقل اولیه چون تراکتورهای بخار و لوکوموتیوهای بخار را ممکن ساخت. امروزه توربین‌های بخار مدرن حدود ۸۰ درصد برق تولیدی را در جهان به وسیلهٔ سوخت‌های متفاوت تولید می‌کنند.

ثروت حاصل از مستعمرات بعضی از کشورهای اروپایی خصوصا انگلستان، افزایش تولیدات صنعتی، نیاز به بازار فروش محصولات، توسعه معادن زغال سنگ، افزایش دستمزد کارگران و سایر عوامل مرتبط باعث شد تا دانشمندان اروپایی انگیزه کافی را برای تکمیل و توسعه موتور بخار را به صورت کاربردی پیدا کنند.

اولین ماشین بخار را دنی پاپن در سال ۱۶۹۰ اختراع کرد. قسمت اعظم ماشین کوچکی را که پاپن ساخته بود، سیلندرها و پیستون‌ها تشکیل می‌دادند. آب در داخل سیلندرها تبدیل به بخار شده، موجب بالا رفتن پیستون‌ها می‌شدند. با بالا رفتن این پیستون‌ها هوای قسمت فوقانی این سیلندرها فشرده می‌گردید. حال اگر بخار آب زیر پیستون‌ها را ناگهان سرد کرد و تبدیل به آب نمود، هوای فشرده قسمت فوقانی سیلندرها، پیستون‌ها را با قدرت به طرف پایین می‌راند و این حرکت پیستون‌ها می‌توانست موجب حرکت کردن یک چرخ شود.

پس از پاپن عده‌ای کار او را دنبال کردند ولی نتیجه زیادی نگرفتند تا اینکه اولین موتور قابل استفاده توسط توماس نیو کامن در سال ۱۷۱۲ ساخته شد که برای تخلیه آب معادن و بالا بردن آب برای چرخاندن چرخ‌های آبی بسیار مؤثر و ابزاری مقرون به صرفه بود. سرانجام جیمز وات اسکاتلندی با حمایت همسرش مارگارت میلو، دکتر جان روباک و یک کارخانه دار ثروتمند به نام ماتیو بالتن دست به تجاربی زد و موفق گردید با اختراع نخستین موتور بخار تجاری، بزرگ‌ترین انقلاب را در صنایع انگلیس ایجاد کند.

۱-۶-۸ توربین بخار

توربین بخار نوعی توربین است که از بخار، انرژی گرمایی را می‌گیرد و تبدیل به حرکت دورانی می‌کند. نوع نوین آن در سال ۱۸۸۴ توسط چارلز الگرنون پارسونز ابداع شد. حدود ۸۰ درصد برق دنیا از توربین‌های بخاری که در نیروگاه هسته‌ای و نیروگاه حرارتی و ... به کار می‌رود، تولید می‌شود.

۱-۶-۹ مزایای توربین‌های بخار

- ساختمان سازه‌ای ساده
- ایمنی بالا
- هزینه‌های پایین در تعمیر و نگهداری
- حجم کم آنها نسبت به موتورهای الکتریکی با قدرت مساوی

- راندمان بالا
- قابلیت تغییر سرعت گردش
- گشتاور اولیه بالا

موارد بالا از جمله مزایای توربین‌های بخار به شمار می‌آیند.

۱-۶-۱۰ محدودیت‌های استفاده از توربین‌های بخار

- به واسطه این که هزینه تولید بخار زیاد است و تجهیزات آن گران قیمت است معمولاً در مکان‌هایی که بخار در دسترس باشد (مثل نیروگاه‌ها یا پالایشگاه‌ها) از آن استفاده می‌شود.
- راه‌اندازی و بستن آن‌ها (Operation) به طور نسبی مشکل است.
- هزینه‌های انتقال بخار زیاد است.
- تلفات بخار در آنها زیاد است.

۱-۶-۱۱ موارد استفاده از توربین‌های بخار

- محرک ژنراتورهای برق
- محرک دستگاه‌های یدک (پمپ‌های روغنکاری Lube Oil و Seal Oil و آب مقطر Condensate)
- محرک پمپ‌های خوراک واحدهای عملیاتی
- محرک کمپرسورهای رفت و برگشتی و گریز از مرکز

شکل ۱- ۴۶: تصویری از موتور بخار ابتدایی

فصل ششم

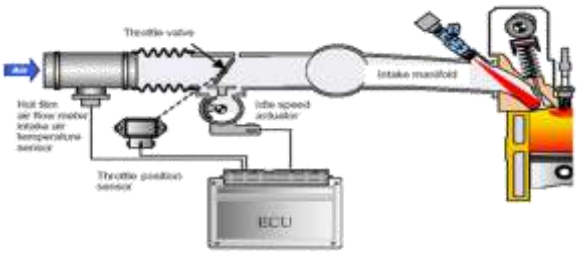
سیستم هوارسانی موتورهای احتراق داخلی

۶-۱- مقدمه

هدف اصلی در سیستم هوارسانی موتورهای احتراق داخلی تهیه مقدار هوای مورد نیاز در زمان مشخص و دمای مناسب برای محفظه احتراق (سیلندر) است. سیستم سوخت‌رسانی نیز وظیفه تهیه سوخت مورد نیاز در زمان مشخص و مقدار مناسب برای محفظه احتراق (سیلندر)، این دو سیستم به کمک حسگرهای مختلف موجود در مسیر، شرایط لحظه به لحظه کارکرد موتور را اندازه‌گیری کرده و به ECU انتقال می‌دهند. ECU نیز دستورهای مناسب را به عملگرهای مختلف ارسال می‌کند تا بهینه‌ترین مقدار سوخت و هوا برای کارکرد موتور فراهم شود.

۶-۲- اجزاء و نحوه عملکرد سیستم هوارسانی موتور

سیستم هوارسانی در موتورهای بنزینی و دیزلی تا حدود زیادی به هم شباهت دارند و دارای اجزای یکسان و نحوه عملکرد مشابهی هستند اما لازم به ذکر است که مقدار هوا و میزان تمیزی آن در موتورهای دیزل به مراتب دارای اهمیت بیشتری است. با توجه به شکل ۶-۱ سیستم هوارسانی موتورهای احتراقی دارای اجزای زیر می‌باشند:



شکل ۶-۱: اجزای سیستم هوارسانی

۱- فیلتر هوا: هوای ورودی از محیط به منظور وارد شدن به موتور ابتدا باید از فیلتر هوا عبور کرده و تصفیه گردد. در موتورهای بنزینی یک فیلتر به عنوان فیلتر اصلی جهت تصفیه هوا وجود دارد اما در موتورهای دیزلی به دلیل اهمیت تمیزی هوا جهت احتراق ابتدا هوا از پیش صافی عبور کرده و ذرات بزرگتر ناخالصی‌های هوا در آن جدا می‌گردد سپس از فیلتر اصلی عبور می‌کند، این فیلتر امکان دارد مانند موتورهای بنزینی به صورت کاغذ صافی و یا در برخی از موتورهای دیزل علاوه بر فیلتر اصلی که به صورت فلزی است از حمام روغن نیز به منظور تصفیه دقیق‌تر هوا استفاده می‌شود. در این نوع هوا علاوه بر عبور از فیلتر از داخل روغن نیز عبور کرده و ذرات ناخالصی کوچک نیز در آن تصفیه می‌گردد.

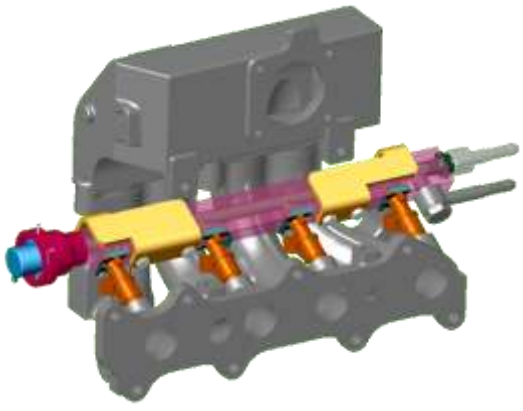
۲- دریچه گاز: هوا بعد از عبور از فیلتر و مسیر جریان وارد دریچه گاز شده در حالت دور آرام و درجا هوا از طریق مجرای فرعی موتور پله‌ای (استپرموتور) وارد موتور شده با توجه به شرایط مختلف کار موتور و نیاز به کنترل دقیق میزان هوای ورودی از مجرای فرعی استپرموتور میزان باز بودن آن توسط ECU کنترل می‌شود، جریان هوای ورودی بر حسب نیاز وارد موتور می‌گردد. زمانی که پدال گاز توسط راننده فشرده می‌شود با توجه به باز بودن دریچه گاز هوای مورد نیاز برای احتراق وارد موتور می‌گردد. یکی از متعلقات دریچه گاز حسگر دزاویه دریچه گاز می‌باشد که میزان باز بودن دریچه گاز را به صورت یک مقاومت متغییر به ECU اطلاع می‌دهد. شکل‌های ۶-۲ و ۶-۳ نحوه عملکرد و مکانیزم دریچه گاز و موتور پله‌ای را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۲: دریچه گاز و مجرای استپر موتور آن

شکل ۶-۳: دریچه گاز و سنسور دریچه گاز

۳- مخزن آرامش: هوا بعد از عبور از دریچه گاز وارد محفظه‌ای به نام مخزن آرامش شده در این قسمت جریان هوا یکنواخت شده سپس وارد چند شاخه ورودی هوا می‌شود، حسگر فشار هوای ورودی(MAP) روی بدنه مخزن آرامش نصب می‌شود و فشار هوای ورودی موتور را به ECU اطلاع می‌دهد.

۴- مانیفولد ورودی هوا: چند راهه‌ای که هوا را از مخزن آرامش به درون سیلندرها هدایت می‌کند مانیفولد ورودی هوا نام دارد تعداد راههای (شاخه‌های) مانیفولد برابر تعدا سیلندرهای یک موتور است. در موتورهای بنزینی مانیفولد ورودی هوا محلی برای نصب ریل سوخت و انژکتورهای آن است.



شکل ۶- ۴: مخزن آرامش و مانیفولد ورودی هوا

۶-۳ زمان بندی و تایمینگ سوپاپ‌های موتور

ایده آل ترین زمان بندی این است که تایمینگ سوپاپ با دور موتور تغییر کند. به این ترتیب که سوپاپ هوا پیش از نقطه مرگ بالا شروع به باز شدن کند تا بتواند زمانی که پیستون با بیشینه سرعت عمل مکش را انجام می‌شود به طور کامل باز باشد که بتواند بیشترین بازده ی حجمی را داشته باشد و بسته شدن کامل سوپاپ هوا نیز بعد از نقطه مرگ پایین انجام شود. سوپاپ دود نیز دارای زمان بندی خاص خود می‌باشد. در کورس توان قبل از نقطه مرگ پایین باز شده که این امر باعث تخلیه بهتر گازها می شود و در کورس مکش بعد از نقطه مرگ بالا بسته می شود و با سوپاپ هوا دارای هم پوشانی و عملیات روبش بهتر انجام می‌شود.

مقایسه تنفس و تخلیه نظری و عملی:

الف) باز و بسته شدن دریچه‌های تنفس و تخلیه درست در نقاط مرگ و بالا و پایین صورت نمی‌گیرد بلکه همیشه در باز شدن آوانس و در بسته شدن ریتارد وجود دارد.

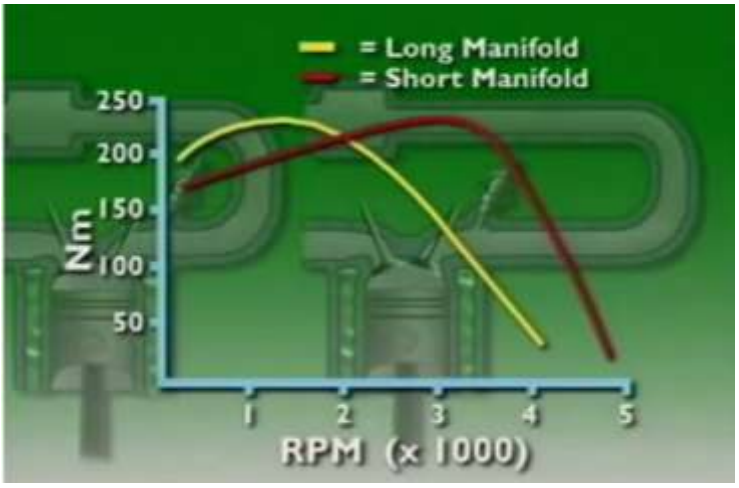
ب) تخلیه تحت فشار ثابت انجام نمی‌گیرد بلکه همواره با نوسان‌های زیاد فشار که دلیل ان نحوه تخلیه گازها است.

ج) تنفس نیز تحت فشار ثابت انجام نمی‌گیرد بلکه وقتی پیستون شتاب بر می‌دارد و سرعت آن افزایش می‌یابد، فشار داخل سیلندر کم می‌شود (مکش هوا)، و بعد از آن، در حالی که پیستون حرکتی کند شونده پیدا می‌کند، فشار داخل سیلندر زیاد می‌شود. در هر حال فشار هوای داخل سیلندر در نقطه مرگ پایین، در اثر اینرسی کمتر از فشار حاکم بر مجاری تنفسی است.

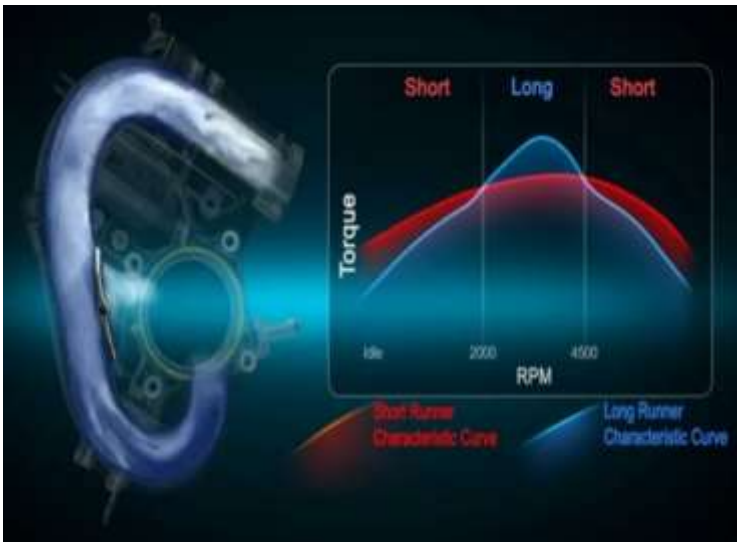
۶-۴ سیستم مانیفولد هوای ورودی متغیر (VIS)

در تکنولوژی مانیفولد ورودی هوای متغییر با تغییر طول و شکل مانیفولد ورودی هوا به کنترل متغیر قدرت وگشتاور موتور در شرایط مختلف با در نظر گرفتن مصرف سوخت بهینه کمک می‌شود. این تکنولوژی عموما vis یا vim نامیده می شود. این سیستم معمولا به این صورت عمل می‌کند که دو ورودی هوا که یکی کوتاه و یکی بلندتر است را به وسیله یک یا دو دریچه کنترل می کند در دور آرام هوا از طریق مسیر طولانی تر به موتور می‌رسد در حالی که در دور بالا و زمانی که موتور تحت فشار است دریچه مسیر کوتاه تر باز شده و هوا از طریق مسیر کوتاه تر به موتور می‌رسد. گشتاور موتور بسته به بار آن در دورهای مختلف متفاوت است.

مسیر بلندتر به موتور کمک می‌کند در بارها و دورهای پایین گشتاور بهتری داشته باشد در حالیکه مسیر کوتاه‌تر برای دورهای بالا و بار بالای موتور گشتاور بهتری را ارائه می‌کند این سیستم اثر بسزایی نیز در بهینه سازی مصرف سوخت دارد که از اهداف اصلی طراحی آن است (شکلهای ۶-۵ و ۶-۶).



شکل ۶-۵: تغییرات گشتاور نسبت به دور موتور با استفاده از سیستم VIS

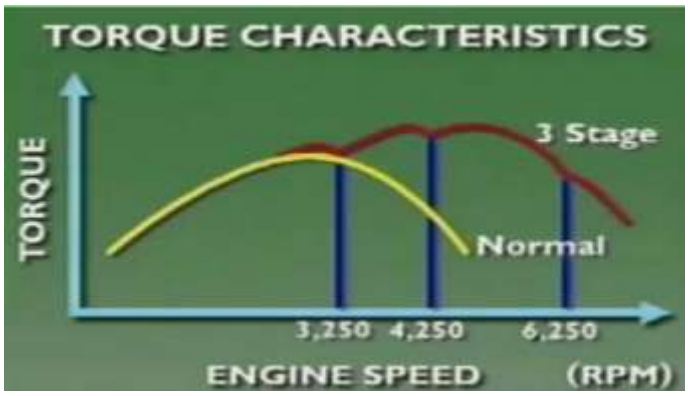


شکل ۶-۶: اثر مانیفولدهای متغییر در میزان گشتاور موتور در دورهای مختلف موتور

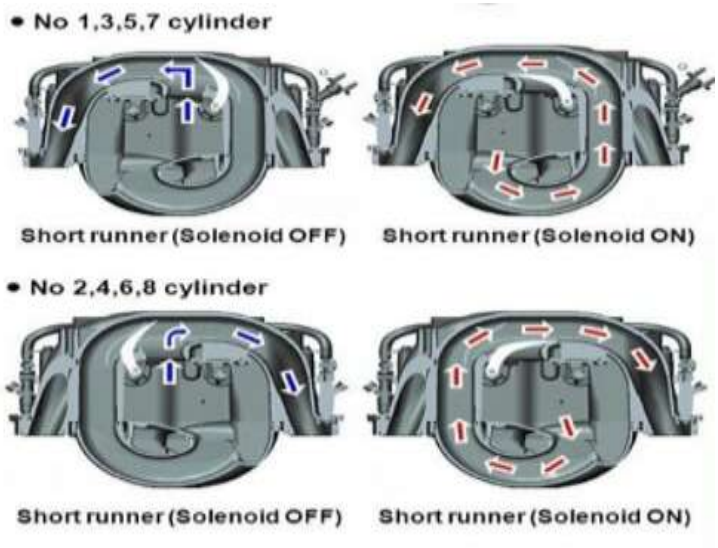
همان طور که گفته شد این سیستم باعث کاهش مصرف سوخت می‌شود در مانیفولدهای معمولی ورودی هوا ثابت است اگر ورودی را بزرگ‌تر در نظر بگیرند فقط برای دور بالا مناسب

است زیرا با بالا بودن مکش و بزرگ بودن دهانه هوا با مقاومت کمتری وارد موتور می‌شود اما در دور پایین و مکش کم باعث کاهش سرعت و حجم هوای ورودی به موتور شده و راندمان حجمی سیلندر را کاهش می‌دهد اگر ورودی مانیفولد باریک باشد برای دور آرام مناسب است اما در دور بالا باعث می شود هوا به هنگام ورود با مقاومت زیادی مواجه شود.

مانیفولدهای با طول بلند برای دورهای پایین و مانیفولدهای کوتاه برای دورهای بالا استفاده می‌شوند فهمیدن اینکه چرا در دور بالا به مانیفولد کوتاه احتیاج دارد ساده است، زیرا که با استفاده از آن مکش موتور بطورآزادانه و آسان صورت می‌گیرد. اما دلیل این که در دورهای پایین منیفولد های با طول بلند مورد نیاز است. زیرا استفاده از لوله های بلند تر باعث کاهش فرکانس هوای ورودی به سیلندر می‌شود به گونه‌ای که با کاهش دور موتور تطابق زیادی دارد و باعث بهتر پر شدن سیلندر می‌شود و بدین ترتیب گشتاور خروجی را افزایش می‌دهد از طرف دیگر مانیفولد ورودی بلندتر جریان هوا را به آرامی هدایت می‌کند که باعث بهتر مخلوط شدن سوخت و هوا می‌شود . از مزایای مهم این سیستم گشتاور تحویلی در دور پایین بدون کاهش قدرت در دور بالا و ارزان‌تر بودن نسبت به تایمینگ متغیر سوپاپ (VVT) است. عیب عمده این سیستم این است که فضای زیادی را اشغال می‌کند و میزان تاثیر آن در افزایش گشتاور در دور بالا نسبت به سیستم VVT کمتر است (شکلهای ۶-۷ و ۶-۸) .



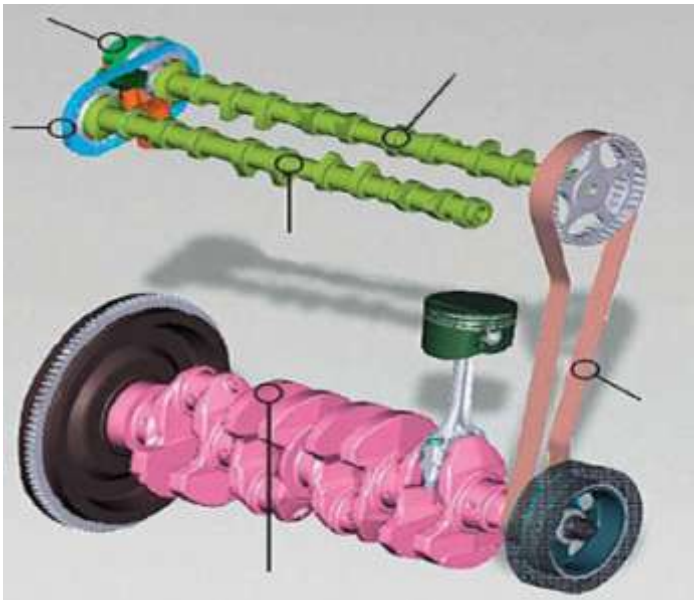
شکل ۶-۷: اثر تغییرات مرحله‌ای گشتاور



شکل ۶- ۸: نحوه عملکرد مانیفولدهای متغیر هوا

۶-۵ تکنولوژی زمان‌بندی متغییر سوپاپ‌ها VVT- CVVT (Continuously Variable Valve Timing)

امروزه طراحان علاوه بر طراحی موتور برای حداکثر قدرت و توان باید مسُله دستیابی به حداقل آلودگی و حداکثر بهره‌وری از سوخت را مد نظر داشته باشند. یکی از سیستم‌هایی که برای دستیابی به این هدف در موتورها استفاده می‌شود سیستم (Continuously Variable Valve Timing) CVVT یا تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ‌ها است. با توجه به شکل ۶-۹ این سیستم توسط شرکت‌های مختلف با اسامی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم با کنترل زمان باز شدن سوپاپ‌ها با توجه به سرعت و میزان بار خودرو می‌توان کارایی موتور را بالا برده و میزان گازهای مضرر خروجی از اگزوز را کاهش داد.



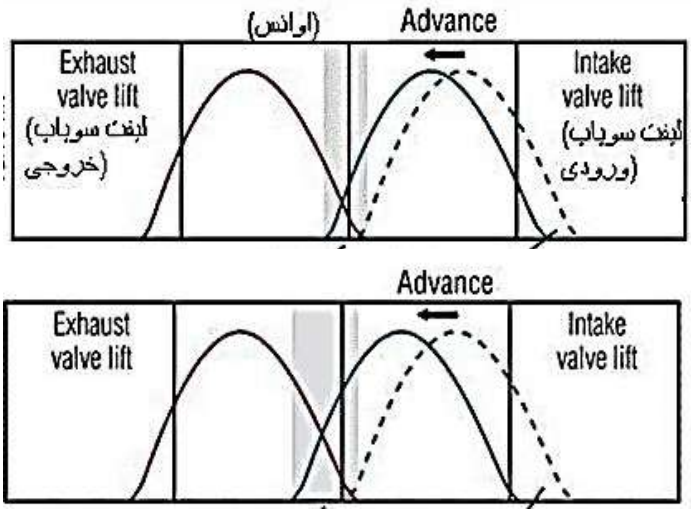
شکل ۶-۹: میل بادامک مجهز به تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ‌ها

۶-۶ لزوم به کار گیری تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ در موتور

در موتورهای احتراق داخلی، حرکت سوپاپ‌ها با نرخ ثابتی به زمانبندی حرکت پیستون‌ها یعنی دور موتور یا Timing موتور، مربوط می‌شود. همچنین زمانبندی آن به شکل و انحنای بادامک و سرعت میل سوپاپ بستگی دارد. قیچی کردن سوپاپ‌ها برای عمل تنفس و تخلیه لازم می‌باشد، هر چند این قیچی کردن موجب اختلاط دود و سوخت می‌شود و موجب کاهش بازده حجمی موتور می‌گردد. هر چه سرعت موتور زیاد باشد مقدار قیچی کردن سوپاپ‌ها کمتر می‌شود و این در حالی است که در این حالت موتور به تنفس بهتری نیاز دارد. زمانبندی موتور معمولاً بر حسب عملکرد آن طراحی می‌شود مثلا برای موتورهای پر دور نیاز است که زمان قیچی کردن سوپاپ‌ها بیشتر و برای موتورهای کم دور این زمان کمتر در نظر گرفته شود. بدلیل زمان کوتاه باز بودن سوپاپ ورودی هوا، حتی با وجود اعمال قیچی کردن سوپاپ‌ها، در دورهای بالا بازدهی حجمی موتورها معمولی، پایین است. بنابراین همه سیستم‌های زمانبندی متغییر بر اساس تنظیم میل سوپاپ برای باز شدن زودتر از حد معمول سوپاپ هوا در دورهای بالا، یا افزایش مدت و مقدار باز شدن سوپاپ‌ها عمل می‌کنند. در نمودارهای شکل ۶-۱۰ میزان قیچی کردن سوپاپ‌ها در دورهای مختلف نشان داده شده است.

الف: دور کم: در این دور گازهای خروجی به علت اینرسی که دارند تولید یک فشار منفی درون سیلندر می‌کنند و با باز شدن سوپاپ هوا فشار مثبت هوای ورودی این کمبود را جبران می‌کند در این دور میزان قیچی کردن خیلی کم است.

ب: دور متوسط: در این حالت سوپاپ هوا کمی قبل از رسیدن پیستون به نقطه مرگ بالا باز می‌شود چون در این حال هنوز کورس تخلیه کامل نشده است مقداری از فشار گاز خروجی به داخل منیفولد گاز نفوذ کرده که تقریباً اثر سیستم EGR را دارد.



شکل ۶-۱۰: اثر سیستم بر زمانبندی سوپاپ‌ها

ج: دور زیاد: در این دور نیاز است که سوپاپ هوا برای بهتر پر شدن سیلندر خیلی زودتر باز شود و برای جلوگیری از هدر رفتن سوخت در گازهای خروجی می‌توان با تولید منحنی خاصی در سر پیستون و دادن انحنای خاص به گازهای ورودی حالت scavenging (جارو کردن) گازهای خروجی را انجام داده و کارایی موتور را افزایش داد.

مزایای سیستم زمانبندی سوپاپ‌ها عبارت است از:

۱- فزایش گشتاور حدود ۱٪ الی ۹٪

۲- افزایش قدرت خروجی موتور تا ۴۰٪

۳- افزایش بازده سوخت ۷ ٪ الی ۱۳٪

۴- کاهش هیدروکربن‌های نسوخته در گازهای خروجی تا ۵۰ ٪

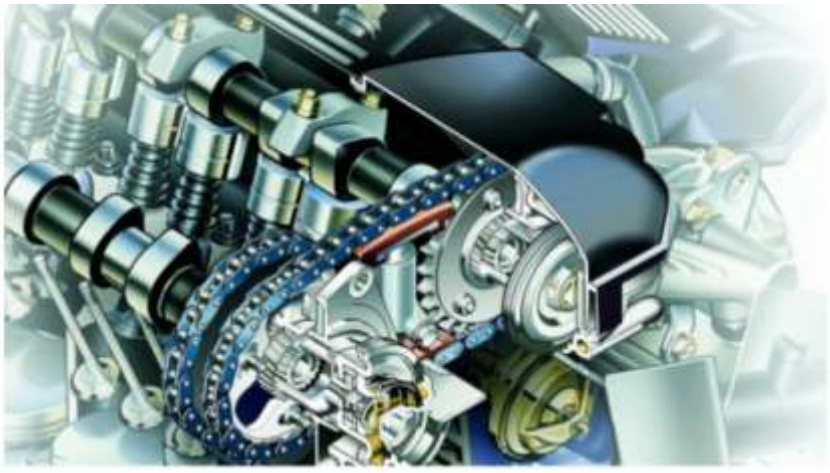
۶-۷ انواع تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ‌ها

سیستم VVT- EC: این سیستم مخفف Variable Valve Timing and lift Electronic Control می‌باشد. در این سیستم از سه بادامک با پهنای متفاوت برای دورهای کم و دورهای زیاد استفاده شده است. این سیستم ساده و نسبتاً کم هزینه است و بر اساس جابجایی بادامک کار می‌کند. بادامکی که لبه بزرگتری دارد، نسبت به بادامک هم محور دیگری با لبه کوچک، موجب باز شدن بیشتر و طولانی‌تر سوپاپ خواهد شد.

این سیستم، زمان و مقدار باز بودن سوپاپ را تغییر می‌دهد. در این سیستم از سه بادامک در کنار هم استفاده می‌شود که دو تا کناری برای دورهای پایین و بادامک میانی برای دورهای بالا استفاده می‌گردد. این سیستم بیشتر در موتورهای چهار سوپاپه DOHC کاربرد دارد. سیستم مدیریت کنترل موتور، دور موتور، بار موتور، سرعت خودرو و دمای مایع خنک کننده را توسط حسگرها به عنوان اطلاعات ورودی دریافت می‌کند و در موقعیت مناسب با ارسال سیگنال به سولنوئیدی که شیر هیدرولیک را باز و بسته می‌کند، موجب تغییر در بادامکی می‌شود که سوپاپ را به پایین می‌راند. تفاوت زمانی بین حالت عادی و حالت دور بالا حدود ۰/۱ ثانیه است. این سیستم در دورهای پایین در هنگامی که موتور در جا کار می‌کند، عمل نمی‌کند. با جابجایی طول میل بادامک مقطع بادامک تغییر کرده و در نهایت زمان و مقدار باز شدن سوپاپ تغییر می‌کند. مقدار باز شدن سوپاپ با این سیستم از ۸/۴ به ۱۰/۵ میلی‌متر افزایش می‌یابد. این سیستم هر دو سوپاپ گاز و دود را کنترل می‌کند.

سیستم VVT – ECE: این سیستم مخفف Variable valve Timing and lift Electronic Control for Efficiency می‌باشد. ساختمان این سیستم به صورتی است که در دور کم اجازه نمی‌دهد سوپاپ‌های ورودی کامل باز شوند و بدین ترتیب مصرف سوخت را کاهش می‌دهد. در یک دور مشخص سیستم وارد عمل شده و اجازه می دهد که سوپاپ به طور کامل باز شود. این سیستم به صورت اتوماتیک در تمام دورها با توجه به یک سری از پارامترهای موتور مقدار باز بودن سوپاپ گاز را کنترل می‌کند که هر چه دور موتور زیاد می‌شود مقدار باز شدن سوپاپ بر حسب میلی‌متر افزایش می‌یابد و همچنین مقدار زاویه‌ای درگیری بادامک در حالت افزایش می‌یابد.

شکل ۶-۱۱ قسمتی از اجزای مکانیکی سیستم زمان بندی متغیر سوپاپ‌ها را نشان می-دهد.



شکل ۶-۱۱: اجزای سیستم زمانبندی متغیر سوپاپ‌ها

سیستم VTC: این سیستم مخفف Variable Timing Control می‌باشد. در این سیستم از یک چرخ دنده در انتهای میل سوپاپ استفاده شده و میزان قیچی کردن سوپاپ‌ها را در تمام دورها کنترل می‌کند. این سیستم شامل یک اتصال متغیر و قابل تنظیم بین پولی محرک و میل سوپاپ، یک سولنوئید، تعدادی چرخ دنده و یک واحد کنترل الکتریکی(ECM) است. اتصال بین پولی و میل سوپاپ شامل یک پیستون هیدرولیک است که توسط فشار روغن با عملکرد یک شیر هیدرولیک و بوسیله سولنوئید مربوطه کنترل می‌شود، عمل می‌کند. با ارسال سیگنال از واحد کنترل الکترونیکی، سولنوئید عمل کرده و فشار روغن پیستون هیدورلیک را به جلو می‌راند از آنجایی که چرخ دنده رابط بین پولی و میل سوپاپ از نوع مخروطی است، رانش میل سوپاپ به جلو باعث می‌شود میل سوپاپ با سرعت بیشتری بچرخد و سوپاپ سوخت را زودتر از حد معمول باز کند. این مقدار حدود ۱۰ درجه است، این سیستم فقط شروع زمان باز بودن سوپاپ را تغییر می‌دهد و در مدت زمان باز بودن، همچنین مقدار باز بودن، تاثیری ندارد.

سیستم IVVT – EC: این سیستم مخفف Intelligent Variable Valve Timing and lift Electronic Control می‌باشد. این سیستم از دو نوع سیستم VVT – EC و VTC می‌باشد و مزایای هر دو سیستم را دارد. تنها فرق این سیستم با نوع VVT – EC اضافه

نمودن سیستم VTC است یعنی به کارگیری یک چرخ دنده‌ای در انتهای میل سوپاپ که میزان قیچی کردن سوپاپ‌ها را در تمام دورها کنترل نماید.

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تکنولوژی زمانبندی متغییر سوپاپ‌ها روشی نوین برای افزایش عملکرد موتور و همچنین کاهش میزان گازهای مضر خروجی از اگزوز است. برای دستیابی به این سیستم شرکت‌های خودرو سازی از تکنولوژی‌های گوناگونی استفاده کردند ولی همه سیستم‌ها زمانبندی متغیر بر اساس تنظیم میل سوپاپ برای باز شدن زودتر از حد معمول سوپاپ هوا در دورهای بالا یا افزایش مدت و مقدار باز شدن سوپاپ‌ها عمل می‌کنند.

در شکل ۶-۱۲ می‌توان قسمتهای مختلفی از اجزای سیستم زمان‌بندی متغیر سوپاپ در یک خودرو را مشاهده نمود.

شکل ۶-۱۲: سیستم VVT در موتور BMW

۶-۸ طرح سوپاپ در سوپاپ

ایده اصلی این طرح از روش استفاده از چند سوپاپ برای یک سیلندر اخذ شده است ولی تاکنون در دنیا محدود اجرا شده است و طراحی بدیعی است همان طور که گفته شد برای جلوگیری از افت راندمان حجمی باید سطح ورود هوا را افزایش داد. این عمل در طرح سوپاپ به وسیلهٔ ایجاد شیارهایی در بشقابک سوپاپ اصلی انجام شود. در هنگام عمل مکش توسط پیستون علاوه بر آن که مخلوط سوخت و هوا از اطراف بشقابک سوپاپ اصلی وارد سیلندر می‌شود. با طی کورس سوپاپ کوچک‌تر از شیارهای ایجاد شده نیز هوا وارد سیلندر می‌شود،

بنابراین به حجم هوای وارده به سیلندر افزوده می‌شود. هنگام بسته شدن سوپاپ در لحظهٔ تراکم و انفجار، سوپاپ اصلی مسیر اصلی هوا را مسدود نموده و سوپاپ فرعی مسیر شیارها را خواهد بست. مشکلی که این طرح دارد این است که مصرف سوخت در آن بالا است، اما می‌توان سیستمی را طراحی نمود که فقط در سرعت‌های بالا عمل نماید و بدین ترتیب این مشکل حل شود. قبل از انجام تغییرات باید متذکر شد که نقش سیستم زمان‌بندی در موتور، تنظیم موقعیت و زمان عملکرد دریچه‌های ورودی و خروجی سیال باید به نحوی باشد که ورودی و خروجی سیال به بهترین نحو و بالاترین راندمان ممکن انجام شود. این مکانیزم حساس زمان‌بندی و عملکرد سوپاپ‌ها را Valve Trains می‌گویند.

منظور از زنجیرهٔ سوپاپ در ماشین‌ها عبارت است از مجموعهٔ اجزایی که موجب باز شدن به موقع سوپاپ‌ها می‌شود. این مجموعه عبارتند از دو میل بادامک، تایپت، میل تایپت، اسبک، فنر سوپاپ‌ها و سوپاپ‌ها، البته این مجموعه دارای اجزاء کوچک دیگری نیز می‌باشد، که این اجزاء از موتوری به موتور دیگر تغییر می‌کنند.

از آنجایی که در این طرح دو سوپاپ باید در داخل یکدیگر حرکت کنند بنابراین در قسمتی از حرکت، هر دو سوپاپ با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند و در قسمتی دیگر سوپاپ کوچک‌تر به تنهایی حرکت می‌کند. در اینجا لازم به ذکر است که در این طرح نیاز به افزایش کورس سوپاپ می‌باشد و این نیاز از راه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بدیهی است که افزایش سوپاپ و استفاده از تنها یک سوپاپ از نقطهٔ نظر حرکت جابجایی سوپاپ و سرعت آن باعث افزایش شدید نیروهای اینرسی و در نتیجه شکست عضو تحت تنش، یعنی سوپاپ خواهد شد. به این دلیل حرکت بین دو سوپاپ تقسیم می‌گردد و این همان ایده اصلی سوپاپ‌های متداخل می‌باشد. برای اینکه سوپاپ‌های سیستم طراحی شده دارای آببندی مناسب باشد باید فنرهای دارای قدرت و لختی مناسب باشد. به این منظور باید اطلاعاتی کافی در مورد فنرهای موتور اصلی داشته باشیم. مسأله دیگری که باید به آن توجه نمود این است که در هر بار باز شدن سوپاپ ورودی، ترتیب باز شدن سوپاپ بزرگ و کوچک باید به گونه‌ای باشد که میزان هوای ورودی ماکزیمم گردد و به این دلیل سوپاپ بزرگ سهم بیشتری در وارد کردن هوا دارد بنابراین ابتدا باید سوپاپ بزرگ‌تر باز شود که به همین دلیل در طراحی فنر سوپاپ باید فنر سوپاپ بزرگ و قوی‌تر باشد. هنگامی که اسبک بر روی سوپاپ کوچک نیرو وارد می‌کند ابتدا فنر بزرگ جمع می‌شود و سپس فنر کوچک شروع به جمع شدن می‌کند بنابراین سوپاپ بزرگ‌تر مدت زمان بیشتری باز خواهد بود.

فصل هفتم

ترمودینامیک و چرخه‌های موتورهای احتراق داخلی

۷-۱ مقدمه

اصول کار موتورها مستلزم دانستن مطالبی هرچند به اختصار از ترمودینامیک می‌باشد بنابراین این فصل از کتاب به بررسی مواردی ضروری از روابط ترمودینامیک مرتبط به موتور می‌پردازد.

۷-۲ قانون گازهای ایده‌آل

گازهایی که در اتاقک احتراق محبوس می‌شوند موجب تغییرات زیادی در حجم، فشار و دما می‌گردندکه این تغییرات با هم رابطه دارند. بر طبق تئوری جنبشی گازها فشار نتیجه برخورد مولکولهای گاز با یکدیگر و با جداره ظرف می‌باشد. در یک دمای معین در صورتی که حجم محفظه کاهش یابد، فشار زیاد می‌شود. در دمای صفر مطلق مولکولها فاقد انرژی هستند و در نتیجه فشار هم صفر است. قانون گازهای کامل تمام روابط بین فشار، حجم و دما را برای یک گاز کامل بیان می‌کند. این قسمت از کتاب به معرفی رابطه قانون گازهای کامل می‌پردازد:

$$PV = MRT \qquad (۱-۷)$$

P: فشار مطلق گاز بر حسب (Kpa)

V: حجم گاز برحسب (m^3)

m: جرم گاز بر حسب (Kg)

R: ثابت ویژه گاز بر حسب ($\frac{Kj}{Kg\ k}$)

T: دمای گاز بر حسب (K)

۷-۳ رابطه بین فشار و درجه حرارت یک گاز

قانون گیلوساک رابطهٔ بین فشار و درجه حرارت جرم معینی گاز را در حجم ثابت مشخص می‌کند و به صورت زیر تعریف می‌شود:

با ثابت ماندن حجم، فشار مطلق معینی از گاز به طور مستقیم با دمای مطلق آن تغییر می‌کند. به صورت ریاضی:

$P \alpha T$ یا $\frac{P}{T} =$ ثابت

یا

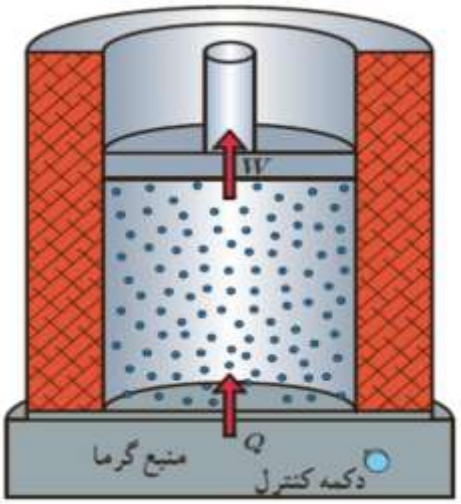
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \ldots . \text{ ثابت} \qquad (۲-۷)$$

که در آن اندیس‌های ۱ و ۲ و ۳ و ... وضعیت‌های مختلف جرم معینی از گاز را نشان می‌دهد.

۷-۴ معادله اساسی گازها

ممکن است به طور همزمان تغییراتی در فشار، حجم و درجه حرارت جرم معینی از گاز رخ دهد. هنگامی که این تغییر در حالت گاز اتفاق بیفتد، نه قانون بویل، که در آن درجه حرارت ثابت فرض شده و نه قانون چارلز، که در آن تغییر درجه حرارت با ثابت بودن فشار مورد بررسی قرار گرفت، را نمی‌توان به کار برد. این تغییر حالت را می‌توان در دو مرحله، یکی تغییر حالت بر طبق قانون بویل، که در ادامه آن تغییر حالت دیگری بر طبق قانون چارلز می‌آید بررسی کرد. آنگاه تغییر حالت به دست آمده، بر اساس ترکیبی از قوانین بویل و چارلز خواهد بود (شکل۷-۱).

فرض کنید حالت جرم معینی از گاز از شرایط اولیه خود در فشار P_1، حجم V_1 و درجه حرارت T_1، به شرایط نهایی یعنی فشار P_2 حجم V_2 و درجه حرارت T_2 تغییر کند. می‌توان تصور کرد که حالت نهایی در دو مرحله به دست آمده است.



شکل ۷-۱: تغییرات مربوط به فشار،حجم و انجام کار

مرحلهٔ ۱:

تغییر فشار از P_1 به P_2، درجه حرارت T_1، با این تغییر فشار حجم گاز از V_1 به مقدار V_A، شکل ۷-۱ تغییر می‌یابد. چون درجه حرارت ثابت فرض شده است، این تغییر حالت بر طبق قانون بویل می‌باشد.

بنابراین:

$$P_1 V_2 = P_2 V_A$$
$$V_A = \frac{P_1 V_1}{P_2} \qquad (۳-۷)$$

مرحلهٔ ۲:

تغییر درجه حرارت از T_1 به T_2 و در فشار ثابت P_2، با این تغییر حجم گاز از V_A به مقدار نهایی V_2 تغییر خواهد کرد. چون فشار ثابت فرض شده است این تغییر حالت بر طبق قانون چارلز صورت می‌گیرد، در نتیجه:

$$\frac{V_A}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$
$$V_A = \frac{V_2 T_1}{T_2} \qquad (۴-۷)$$

با مساوی قرار دادن مقادیر V_A از معادلات ۷-۳ و ۷-۴ داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{V_2 T_1}{T_2}$$
$$\frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{V_2 T_1}{T_2} \qquad (۵-۷)$$

این معادله که ترکیبی از قانون بویل و چارلز است به نام معادله اساسی گاز نامیده می‌شود. بنابراین معادلهٔ فوق تغییر حالت کلی یک گاز را اگر هر سه عامل تغییر یابد نشان می‌دهد.

$$\frac{PV}{T} = c \qquad (۶-۷)$$

معادلهٔ اساسی گاز برای انجام محاسبات تغییر وضعیت در حالت مقدار معینی گاز در سیلندر یک موتور اشتعال داخلی بسیار مفید است. به خاطر داشته باشید که در هر گونه محاسبه‌ای که قوانین گازها در آن دخالت دارد باید از فشار مطلق و درجه مطلق استفاده کرد.

۷-۵ درجه حرارت و فشار استاندارد

اغلب لازم می‌شود به منظور مقایسه و یا برای مراجعات بعدی حجم گاز را تحت شرایط استانداردی به دست آورد. این شرایط به نام شرایط استاندارد یا نرمال درجهٔ حرارت و فشار معروف می‌باشد و به وسیلهٔ علامت اختصاری S.T.P (Temperature and pressure Standard) یا N.T.P. (Normal Temperature and Pressure) که مخفف واژگان انگلیسی آن می‌باشد مشخص می‌شود. مقدار درجه حرارت استاندارد و یا نرمال برابر است با صفر درجه سانتیگراد و فشار جو استاندارد یا نرمال، برابر (1.01325 bar یا $101.325 KN/m^2$) یا 760mm جیوه می‌باشد.

معادلهٔ اساسی گاز به منظور تبدیل حالت داده شده‌ای از گاز به وضعیت استاندارد یا نرمال آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از روی معادلهٔ اساسی گازها، معادله (۴-۸) داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

اگر حجم ثابت فرض شود، یعنی اگر $V_1 = V_2$ آنگاه، معادلهٔ (۶-۷) به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (۷-۷)$$

معادلهٔ ۷-۷ نشان می‌دهد که:

فشار مطلق جرم معین گاز در حجم ثابت با درجه حرارت مطلق آن تغییر می‌کند و با آن رابطه مستقیم دارد.

۷-۶ گرمای ویژه یک گاز

گرمای ویژه (C) هر جسم برابر مقدار حرارت مورد احتیاج برای بالا بردن درجه حرارت واحد جرم به مقدار یک درجه است. بنابراین طبق تعریف واحد گرمای ویژه عبارت است از ژول بر کیلوگرم درجه سانتیگراد ($J/kg^{\circ}C$) یا ژول بر کیلوگرم درجهٔ کلوین (J/kg K). از آن جا که این واحد کوچک است بعضی اوقات مناسب‌تر می‌باشد که گرمای ویژهٔ جسم بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم درجه سانتیگراد ($KJ/kg^{\circ}C$) یا کیلوژول بر کیلوگرم درجهٔ K kg/kJ کلوین بیان شود. مقدارت حرارت مورد احتیاج برای بالا بردن درجه حرارت یک کیلوگرم آب به میزان $1^{\circ}C$یا $1k$ تقریباً معادل $4.19kJ$ است. بنابراین، گرمای ویژه آب $4.19kJ/kg^{\circ}C$ یا 4.19kJ/kg K می‌باشد.

جامدات و مایعات تنها دارای یک مقدار گرمای ویژه هستند، اما ملاحظه شده که یک گاز دارای دو اندازهٔ مجزا برای گرمای ویژه است:

۱- هنگامی که گاز در حجم ثابت گرم شود.
۲- هنگامی که گاز در فشار ثابت گرم شود.

۷-۷ گرمای ویژه در حجم ثابت

یک کیلوگرم گاز در داخل یک سیلندر که پیستون آن به طرز محکمی در یک وضعیت ثابت شده است را در نظر بگیرید. اگر این گاز گرم شود، چون پیستون ثابت است هیچ گونه انبساطی در گاز رخ نخواهد داد. وقتی به گاز حرارت داده می‌شود باعث خواهد شد که درجه حرارت و فشار گاز افزایش یابد. اما چون تغییر حجمی رخ نداده است، بنابراین، هیچ گونه کار خارجی توسط گاز انجام نمی‌گیرد و تمام حرارت منتقل شده به گاز، صرف افزایش انرژی داخلی آن می‌شود.

مقدار حرارت یا گرمای مورد لزوم (برحسب ژول) که بتواند درجه حرارت یک کیلوگرم از گاز را تحت این شرایط 1 درجه کلوین (یا درجه سانتی‌گراد) افزایش دهد گرمای ویژه در حجم

ثابت نام دارد و به صورت C_V نشان داده می‌شود و مقدار آن برای هوای خشک تقریباً 710J/kg K می‌باشد.

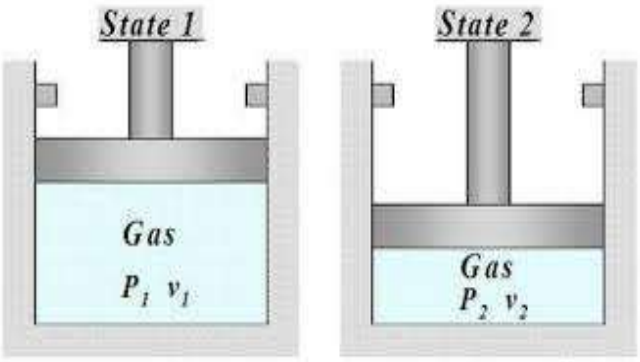
بنابراین اگر:
m = جرم گاز،
T_1 = دمای اولیهٔ گاز، و
T_2 = دمای نهایی گاز.
کل گرمای منتقل شده به گاز،
افزایش دما × گرمای ویژه ثابت × جرم گاز = H

$$H= m.C_V (T_2 - T_1) \quad (۸-۷)$$

۸-۷ گرمای ویژه در فشار ثابت

حال فرض کنید همان یک کیلوگرم گاز در شرایط اولیه خود قرار داشته باشد، اما این بار مطابق شکل ۷-۲ پیستون آزادانه در روی گاز قرار دارد و می‌تواند در داخل سیلندر خود حرکت کند. همچنین فرض کنید که در حین انتقال گرما به گاز فشار ثابتی از طرف پیستون بر روی گاز اعمال می‌شود. لذا همین که حرارت به گاز داده شود، گاز موجود در زیر پیستون منبسط می‌شود و پیستون را به سمت بالا حرکت داده، آن را در وضعیت جدید قرار می‌دهد. در این حالت، علاوه بر حرارت مورد احتیاج برای افزایش درجه سانتیگراد باید حرارت بیشتری به گاز منتقل کرد زیرا باید حرارت منتقل شده، کار خارجی را که بر روی پیستون در حین تغییر ارتفاع انجام گرفته جبران کند. مقدار حرارت یا گرمای مورد لزوم (بر حسب ژول) که بتواند درجه حرارت 1 کیلو گرم گاز را تحت این شرایط ۱ درجه کلوین (یا ۱ درجه سانتیگراد) افزایش دهد گرمای ویژه در فشار ثابت نام دارد و به صورت C_P نشان داده می‌شود و مقدار آن بر روی هوای خشک تقریباً برابر 1005J/kg K می‌باشد.

m = جرم گاز،
T_1 = دمای اولیهٔ گاز،
T_2 = دمای نهایی گاز،
V_1 = حجم اولیه گاز، و
V_2 = حجم نهایی گاز.
کل گرمای منتقل شده به گاز در فشار ثابت،



شکل ۷-۲: تغییرات مربوط به فشار،حجم و درجه حرارت

افزایش دما × گرمای ویژه در فشار ثابت × جرم گاز

$$H = m \cdot C_P (T_2 - T_1) \qquad (۹-۷)$$

هنگامی که به گازی در حجم ثابت حرارت داده می‌شود، حرارتی که به گاز داده می‌شود برای دو هدف زیر است:

۱- برای افزایش دمای گاز، این حرارت درون خود گاز نگهداری می‌شود و نشانگر افزایش انرژی داخلی گاز است، به زبان ریاضی این بخش حرارت به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$H_1 = m \cdot C_V \ (T_2 - T_1) \qquad (۱۰-۷)$$

برای انجام دادن مقداری کار در طول انبساط به زبان ریاضی این بخش از حرارت نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H_2 = p \ (V_2 - V_1) \qquad (۱۱-۷)$$

بنابراین واضح است که گرمای ویژه در فشار زیادتر از گرمای ویژه در حجم ثابت است.

۷-۹ نسبت گرماهای ویژه

نسبت دو گرمای ویژه یک گاز (یعنی $\frac{C_P}{C_V}$) یک ثابت مهم در زمینهٔ ترمودینامیک، محاسبات گازها، و محاسبات مربوط به مبحث اشتعال در موتورهای اشتعال داخلی است و به وسیلهٔ نماد یونانی گاما (γ) نشان داده می‌شود. این نسبت همچنین به عنوان اندیس آدیاباتیک شناخته می‌شود. از آنجا که C_P همیشه بزرگتر از C_V است، مقدار γ همیشه بزرگتر از 1 است.

به این ترتیب:

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma > 1 \qquad (۱۲-۷)$$

مقادیر C_P و C_V برای بعضی از گازها که عمومیت بیشتری دارند در حرارت‌های بین ۱۵ و ۲۰ درجه سانتیگراد در جدول ۷-۱ نشان داده شده است.

جدول ۷-۱: مقدار C_P و C_V برای بعضی از گازهای بین ۱۵ و ۲۰ درجه سانتیگراد.

ردیف	نام گاز	C_P		$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$	
		MKS units kcal/kg	.I units kJ/kgK	MKS units kcal/kg	.I units kJ/kgK
۱	هوا	0.240	1.005	0.172	0.720	1.40
۲	دی اکسید کربن (co_2)	0.202	0.846	0.157	0.657	1.29
۳	اکسیژن (o_2)	0.218	0.913	0.156	0.653	1.39
۴	نیتروژن (N_2)	0.249	1.043	0.178	0.745	1.40
۵	آمونیاک (NH_3)	0.520	2.177	0.404	1.692	1.29
۶	منواکسید کربن (CO)	0.250	1.047	0.179	0.749	1.40
۷	هیدروژن (H_2)	3.405	14.257	2.420	10.133	1.40
۸	لرگون (A)	0.125	0.523	0.075	0.314	1.67
۹	هلیوم (He)	1.250	5.234	0.753	3.153	1.66
۱۰	متان (CH_4)	0.518	2.169	0.394	1.650	1.31

۷-۱۰ فرآیند ترمودینامیکی گازهای کامل

این قسمت از کتاب به بررسی دقیق‌تر فرآیندهای ترمودینامیکی گازهای کامل، انواع آن و ارتباط آن با موتور می‌پردازد.

۷-۱۱ فرآیند تراکم یا انبساط آدیاباتیک

فرآیند انبساط یا تراکم آدیاباتیک یک گاز عبارت است از مرحله‌ای که در حین انجام هیچ گونه حرارتی به محیط خارجی داده نمی‌شود و همچنین حرارتی از آن دریافت نمی‌گردد. این وضعیت در صورتی اتفاق می‌افتد که سیال عامل به صورت حرارتی مجزا باقی بماند به گونه‌ای که حرارت در طول فرآیند نه وارد و نه خارج می‌گردد. چون گاز هیچ گونه حرارتی دریافت نمی‌کند بنابراین کار خارجی انجام شده باید به اندازهٔ تغییر انرژی داخلی آن باشد. در نتیجه در حین تراکم آدیاباتیک، انرژی داخلی گاز به اندازهٔ کار خارجی که بر روی آن انجام می‌گیرد، افزوده می‌شود و در حین انبساط آدیاباتیک انرژی داخلی گاز به اندازهٔ کاری که به خارج پس داده می‌شود کاسته می‌گردد. چون درجه حرارت گاز رابطهٔ مستقیم با انرژی داخلی گاز دارد،

بنابراین در حین تراکم آدیاباتیک درجه حرارت افزوده شده، در حین انبساط آدیاباتیک درجه حرارت کاسته خواهد شد. تجربه و آزمایش نشان می‌دهد که انبساط یا تراکم گاز از رابطهٔ زیر تبعیت می‌کند.

$$PV^{y} = C \text{ ، مقدار ثابت} \qquad (۱۳-۷)$$

که در آن،

$$Y=\frac{C_p}{C_v} \qquad (۱۴-۷)$$

C_p و C_v به ترتیب عبارتند از گرمای ویژه گاز در فشار ثابت و گرمای ویژهٔ گاز در حجم ثابت، ما می‌دانیم که،

$$H = E + W$$

یا

$$E = -W \qquad (۱۵-۷)$$

علامت منفی دلالت به افزایش انرژی داخلی دارد. بر روی گاز باید کار انجام شود (یعنی کار منفی بایستی به وسیله پیستون انجام شود). به طور مشابه، برای کاهش در انرژی داخلی، پیستون باید کار انجام دهد.

در عمل شرایط آدیاباتیک تقزیبی موقعی حاصل خواهد شد که تغییر حالت به صورت خیلی سریع اتفاق بیفتد به طوری که هیچ گونه فرصتی برای انتقال حرارت از دیواره‌های سیلندر به گاز وجود نداشته باشد. برای نمونه، انبساط گازهای داخل سیلندر یک موتور اشتعال داخلی امروزی به خاطر بالا بودن دور این نوع موتورها تقریباً به صورت آدیاباتیک می‌باشد. بنابراین واضح است که دریک فرآیند آدیاباتیک:

۱- گرمای وارد گاز یا از آن خارج نمی‌شود.
۲- دمای گاز تغییر می‌کند چرا که کار انجام شده به قیمت انرژی داخلی تمام می‌شود.
۳- تغییر در انرژی داخلی مساوی با کار مکانیکی انجام شده است.

۷-۱۲ فرآیند پلی تروپیک

فرآیند پلی تروپیک به نام قانون عمومی انبساط و تراکم گازها نیز شناخته می‌شود. همان گونه که قبلاً نیز بیان شد، در عمل نه تحول هم دما و نه تحول آدیاباتیک نمی‌تواند به طور کامل و صددرصد صورت گیرد. تحول حقیقی که در مرحلهٔ تراکم یا انبساط یک گاز در داخل

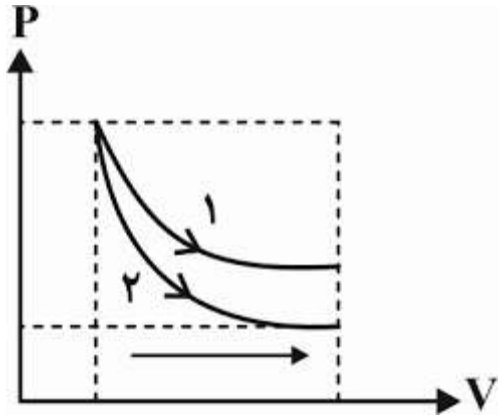
سیلندر موتور انجام می‌شود، از معادلهٔ عمومی گاز که متوسط دو تحول همدما و آدیاباتیک می‌باشد، یعنی از رابطهٔ زیر:

$$PV^n=C \quad \text{مقدارثابت} \qquad (۱۶-۷)$$

که در آن n یک اندیس پلی تروپیک است.

مقدار اندیس یا توان n بستگی به شرایط موجود سیلندر، فرم مخلوط گازی شکل، نسبت تراکم و فاکتورهای دیگر دارد. اما مقدار آن بین 1 و y می‌باشد. برای انبساط گازهای سوخته شده در یک موتور اشتعال جرقه‌ای مقدار n بین 1.25 و 1.3 و برای تراکم هوا در سیلندر موتورهای دیزل n بین 1.3 الی 1.36 می‌باشد.

شکل ۷-۳ سه نوع تحول دمای، ثابت، آدیاباتیک و حالت کلی یا عمومی یک گاز را بر روی محور مختصات عمود بر هم P و V به منظور مقایسه با یک دیگر نشان می‌دهد.



شکل ۷-۳: تحولات دمای ثابت، آدیاباتیک و حالت کلی یک گاز

حالت ابتدای برای مقدار معینی گاز نشان داده شده است. این گاز به صورت هم دما ($PV=C$) در امتداد منحنی و به صورت آدیاباتیک ($PV^y=C$) در امتداد منحنی منبسط خواهد شد. در حالی که اثر انبساط از زاویهٔ $PV^n=C$ تبعیت کند، چنین تغییر حالتی به وسیلهٔ منحنی نقطه چین، اتفاق می‌افتد.

۷-۱۳ تعیین اندازهٔ توان n

می‌دانیم که در یک فرآیند پلی تروپیک،

$$P_1 V_1^{\,n} = P_2 V_2^{\,n} \qquad (۱۷-۷)$$

با گرفتن لگاریتم از هر دو طرف معادله،

$$\begin{aligned} \log P_1 + n\log V_1 &= \log P_2 + n\log V_2 \\ n\log V_1 - n\log V_2 &= \log P_2 - \log P_1 \\ n(\log V_1 - \log V_2) &= \log P_2 - \log P_1 \\ n\log\left(\frac{V_1}{V_2}\right) &= \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \end{aligned}$$

در نتیجه،

$$n = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} \qquad (۱۸-۷)$$

باید توجه داشت که برای پیدا کردن اندیس آدیاباتیک y به همین روش عمل می‌کنیم.

$$y = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} \qquad (۱۹-۷)$$

۱۴-۷ ترکیب معادلات عمومی و اساسی گاز

ترکیب معادلهٔ عمومی $PV^n=C$ با معادله اساسی گاز $PV/T = C$ ما را قادر می‌سازد که بتوانیم رابطه‌ای مفید بین درجه حرارت و حجم با درجه حرارت و فشار جرم معینی گاز برای هر دو نقطه‌ای از حالات گاز در حین تحول‌هایی که از معادله $PV^n=C$ پیروی می‌کنند، به دست آوریم.

فرض کنید که وضعیت جرم معینی از گاز از T_1، V_1، P_1، به T_2، V_2، P_2 بر طبق معادلهٔ $PV^n=C$ تغییر کند، آنگاه

$$P_1 V_1^{\,n} = P_2 V_2^{\,n} \qquad (۲۰-۷)$$

همچنین،

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \qquad (۲۱-۷)$$

از معادلهٔ ۷-۲۱ داریم:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{P_1}{P_2}\times\frac{T_2}{T_1} \qquad (۲۲-۷)$$

از معادلهٔ ۷-۲۰ داریم:

$$\frac{P_2}{P_2}=(\frac{V_2}{V_1})^n \qquad (۲۳-۷)$$

با جایگزین کردن معادلهٔ ۵-۱۹ درمعادله ۵-۱۸ داریم:

$$\frac{V_2}{V_1}=(\frac{V_2}{V_1})^n\times\frac{T_2}{T_1}$$

یا

$$\frac{T_2}{T_1}=\frac{V_2}{V_1}\times\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n=(\frac{V_1}{V_2})^{-1}\times(\frac{V_1}{V_2})^n=(\frac{\mathbf{V_1}}{\mathbf{V_2}})^{\mathbf{n-1}} \qquad (۲۴-۷)$$

حال اجازه دهید رابطهٔ همانندی این بار بر مبنای فشارها داشته باشیم. با تغییر معادلهٔ ۵-۱۹ داریم:

$$\frac{V_2}{V_1}=(\frac{P_1}{P_2})^{1/n} \qquad (۲۵-۷)$$

با جایگزین کردن معادلهٔ ۷-۲۵ در معادلهٔ ۷-۲۲ داریم:

$$\begin{aligned}&(\frac{P_1}{P_2})^{1/n}=\frac{P_1}{P_2}\times\frac{T_2}{T_1}\\&\frac{T_2}{T_1}=(\frac{P_2}{P_1})^{1/n}\times\frac{P_2}{P_1}\\&=(\frac{P_1}{P_2})^{-(1/n)}\times\frac{P_2}{P_1}\\&=(\frac{P_2}{P_1})^{(n-1)/n}\end{aligned} \qquad (۲۶-۷)$$

از ترکیب معادلات ۷-۲۴ و ۷-۲۵، رابطهٔ کلی برای هر گونه تغییر حالتی که از معادلهٔ $PV^n=C$ تبعیت کند، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{T_2}{T_1}=(\frac{V_1}{V_2})^{1-n}=(\frac{P_2}{P_1})^{(n-1)/n} \qquad (۲۷-۷)$$

به خاطر سپردن معادلهٔ ۷-۲۷ بسیار با ارزش است. باید خاطر نشان ساخت که برای تغییر حالت آدیاباتیک، معادلهٔ بالا به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{T_2}{T_1}=(\frac{V_1}{V_2})^{y-1}=(\frac{P_2}{P_1})^{(y-1)/y} \qquad (۲۸-۷)$$

باید توجه داشت که ($r=\frac{V_1}{V_2}$ ، نسیت تراکم)، بنابراین معادلهٔ ۵-۲۰ را ممکن است به صورت زیر نیز نوشت:

$$\frac{T_2}{T_1}=(r)^{(n-1)} \qquad (۲۹-۷)$$

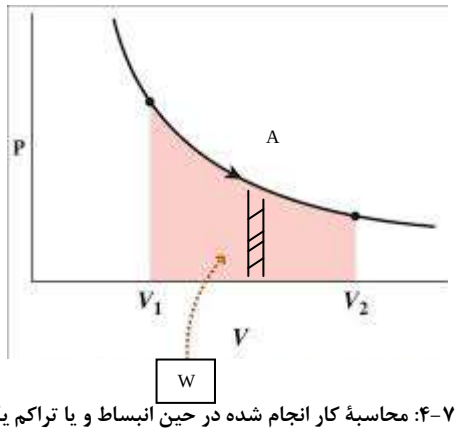
برای یک تحول آدیاباتیک معادلهٔ ۵-۲۵ به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{T_2}{T_1}=(r)^{(y-1)} \qquad (۳۰-۷)$$

۷-۱۵ کار انجام شده در حین انبساط و یا تراکم گاز

فرض کنید گازی در داخل سیلندر موتوری از وضعیت اولیهٔ خود در فشار P_1 و حجم V_1، منبسط شده، حجم و فشار نهایی آن به ترتیب به V_2 و P_2 برسد. مقدار کار انجام شده به وسیله گاز در حین مرحلهٔ ابساط به وسیلهٔ سطح زیر منحنی انبساط گاز در نمودار فشار حجم (P-V) به دست خواهد آمد.

حال، نقطه‌ای مانند A را بر روی منحنی انبساط در نظر بگیرید (شکل ۷-۴)، به طوری که فشار برابر P و حجم در این نقطه V باشد، فرض کنید حجم گاز از مقدار V به اندازهٔ δV منبسط شود، آنگاه سطح باریکهٔ هاشور خورده به پهنای $W=\delta V$ کار انجام شده در حین انبساط جزئی $P\delta V=$



شکل ۷-۴: محاسبهٔ کار انجام شده در حین انبساط و یا تراکم یک گاز

کل کار انجام شده (W) برابر است با مجموع تمام سطوح باریک $P\delta V$ که بین V_1 و V_2 قرار گرفته‌اند. در نتیجه،

$$W = \sum_{V1}^{V2} P\delta V \qquad (۳۱-۷)$$

در حد، δV تمایل دارد که به سمت صفر میل کند، بنابراین معادلهٔ ۵-۲۷ به صورت زیر در خواهد آمد:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P\delta V \qquad (۳۲-۷)$$

معادلهٔ ۷-۳۲ فرم کلی جهت محاسبهٔ کار ایجاد شده به وسیله گاز در حین هر گونه انبساط آن از حجم V_1 تا حجم V_2 را نشان می‌دهد. به این ترتیب، برای انبساط همدمای گاز، خواهیم داشت.

$$PV = C \qquad (۳۳-۷)$$

$$P = \frac{C}{V} \qquad (۳۴-۷)$$

آنگاه:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \qquad (۳۵-۷)$$

همچنین،

با جایگزین کردن معادلهٔ ۵-۳۰ در معادلهٔ ۵-۲۸ داریم:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V} dv \ = C\,[\log_e V]_{V_1}^{V_2} \ = C\,[\log_e V_2 - \log_e V_1]$$

$$W = C\log_e \frac{V_2}{V_1} \qquad (۳۶-۷)$$

هرگاه معادلهٔ ۵-۳۲ را بر مبنای لگاریتم طبیعی بنویسیم داریم:

$$W = 2.3C \log\frac{V_2}{V_1} \qquad (۳۷-۷)$$

از این معادلات چون $PV=P_1V_1=P_2V_2=C$ آنگاه معادله به صورت زیر در خواهد آمد:

$$W = 2.3PV\log\frac{V_2}{V_1} \qquad (۳۸-۷)$$

$$W = 2.3P_1V_1\log\frac{V_2}{V_1} \qquad (۳۹-۷)$$

$$W = 2.3P_2V_2\log\frac{V_2}{V_1} \qquad (۴۰-۷)$$

حال برای انبساط آدیاباتیک

چون،

$$PV^{y} = C \qquad (۴۱-۷)$$

آنگاه،

$$p = \frac{C}{V^{y}} = CV^{-y} \qquad (۴۲-۷)$$

همچنین،

$$P_1\ V_1{}^{y} = P_2\ V_2{}^{y} \qquad (۴۳-۷)$$

با جایگزین کردن معادلهٔ ۷-۴۲ در معادلهٔ ۷-۳۲ داریم:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} cv^{-y}\ dv \quad = [\frac{cv^{-y+1}}{-y+1}]_{V_1}^{V_2}$$
$$= \frac{1}{1-y}\ [(P_2\ V_2{}^{y} \times \frac{V_2}{V_2{}^{y}}) - (\ P_1\ V_1{}^{y} \times \frac{V_1}{V_1{}^{y}})]\ = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1-y}$$
$$W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{1-y} \qquad (۴۴-۷)$$

حال برای محاسبهٔ مقدار کار انجام شده به وسیله گازی که به صورت معادلهٔ $PV^{n}=C$ منبسط می‌شود، به همان صورت معادلهٔ ۵-۴۰ تنها فرقی که وجود دارد این است که باید n را جانشین y کرد. در نتیجه برای این نوع انبساط داریم:

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} \qquad (۴۵-۷)$$

معادلات فوق برای معین کردن مقدار کار انجام شده به وسیله یک گاز در مرحلهٔ انبساط را می‌توان برای گازی که متراکم می‌شود نیز به خوبی به کار برد. تنها جواب به دست آمده از این معادلات به صورت منفی و نشان دهندهٔ این است که برای متراکم کردن گاز باید بر روی آن کار انجام شود. باید توجه داشت که به منظور به دست آوردن کار انجام شده بر حسب ژول باید تمام فشارها بر حسب نیوتن بر متر مربع (N/m^2) و تمامی حجم‌ها بر حسب متر مکعب (m^3) در نظر گرفته شود.

۷-۱۶ فرآیند انبساط آزاد

یک فرآیند انبساط آزاد هنگامی روی می‌دهد که به یک سیالی اجازه داده می‌شود یک باره از طریق روزنه‌ای با ابعاد بزرگ وارد یک اتاقک خلاء شود. دراین فرآیند، هیچ گونه حرارتی به سیال داده یا از آن گرفته نمی‌شود و هیچ گونه کار خارجی انجام نمی‌گیرد. بنابراین کل حرارت

سیال ثابت باقی می‌ماند. این گونه انبساط همچنین ممکن است یک انبساط کل حرارت ثابت نامیده شود. بنابراین واضح است که در یک فرآیند انبساط آزاد،

$$H=o \qquad W=o \qquad E=o \tag{۴۶-۷}$$

۷- ۱۷ فرآیند خفگی

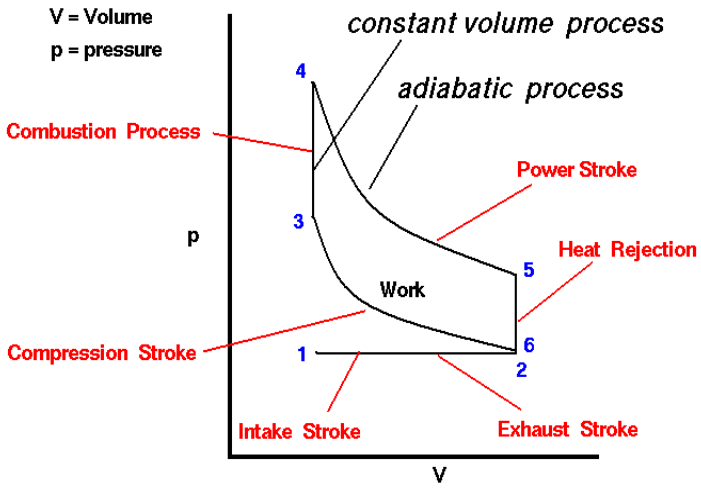
هنگامی که یک گاز کامل از میان یک روزنه‌ای با ابعاد بسیار ریز مانند یک گلویی تنگ با یک شیری که اندکی باز شده است انبساط پیدا کند، این فرآیند به نام فرآیند خفگی نامیده می‌شود. در طول این فرآیند هیچ کونه حرارتی به گاز داده یا از آن پس گرفته نشده است و همچنین هیچ گونه کار خارجی انجام نمی‌گردد. بعلاوه، تغییری در دما حاصل نمی‌شود، و بنابراین کل گرمای سیال ثابت باقی می‌ماند.

در طول فرآیند خفگی، انبساط یک گاز کامل تحت شرایط کل گرمای ثابت بوده، به فرآیند انبساط آزاد شباهت دارد. بنابراین، در یک فرآیند خفگی،

$$H=o \qquad W=o \qquad E=o \tag{۴۷-۷}$$

۷-۱۸ چرخه اتو

چرخه نیکلاس اتو یا چرخه موتورهای اشتعال جرقه‌ای امروزی از لحاظ کاری بسیار نزدیک به چرخه حجم ثابت است و فرض شده است که ماده انجام دهنده کار، گاز ایده‌آل یا هوا است، شکل ۷-۵ چرخه ایده‌آل یک موتور احتراق داخلی جرقه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۵: چرخه ایده‌آل موتورهای بنزینی (اتو)

مرحله اول – مکش:

در این مرحله در نقطه شماره یک سوپاپ هوا باز شده پستون از نقطه مرگ بالا TDC به نقطه مرگ پایین BDC حرکت می‌کند و در مسیر (۲-۱) از منحنی را طی می‌کند. در این مرحله در موتورهای کاربراتوری سوخت و هوا و در موتورهای انژکتوری فقط هوا وارد موتور می‌شود.

مرحله دوم – تراکم:

در نقطه دو سوپاپ هوا بسته می شود و پیستون از نقطه مرگ پایین BDC به سمت نقطه مرگ بالا TDC حرکت می‌کند. در این مرحله هوا و بنزین متراکم شده و با کاهش حجم و افزایش فشار بوجود می‌آید. در نقطه سه شروع جرقه زنی شمع می‌باشد. جرقه زمانی زده می‌شود که پیستون در TDC قرار دارد که با ثابت ماندن حجم فشار افزایش می‌یابد. این عمل به دلیل مخلوط ناگهانی سوخت و هوا می‌باشد. تراکم ادیاباتیک در این تغییر هیچ گونه حرارتی در حین افزایش از P_2 به P_3 به سیستم منتقل نمی‌شود و درجه حرارت در اثر تراکم از T_1 به T_3 افزایش و حجم گاز از V_2 به V_3 کاهش می‌یابد.

مرحله سوم - توان (انجام کار):

در این مرحله هر دو سوپاپ بسته هستند و گازهای حاصل از احتراق (فشار) باعث رانش پیستون BDC می‌شود و در حقیقت کار انجام شده و مسیر ۴ تا ۵ توسط پیستون طی می

شود. در نقطه ۵ سوپاپ دود باز شده و در حجم ثابت فشار کاهش می‌یابد. انبساط ادیاباتیک: گاز از حجم V_4 به V_5 منبسط شده به روی پیستون کار انجام میشود. فشار و درجه حرارت به ترتیب از P_4 و T_4 به P_5 و T_5 افت کرده است. در حین این عمل هیچ گونه انتقال حرارتی انجام نمی گردد.

مرحله چهارم – تخلیه:

این مرحله در حقیقت از نقطه ۵ شروع می شود که با باز شدن سوپاپ دود مرحله تخلیه شروع می‌شود و فشار افت می‌کند. در این مرحله پیستون از منطقه BDC به سمت TDC رفته و گازهای حاصل از احتراق را بیرون می‌راند و چرخه کامل می‌شود.

۷-۱۹ راندمان حرارتی چرخه اتو

راندمان حرارتی چرخه اتو را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\eta_{otto} = \frac{H_S - H_R}{H_S} \qquad (۴۸-۷)$$

که در آن:

H_S = حرارت عرضه شده به چرخه

H_R = حرارت گرفته شده از آن می باشد.

فرایند های حجم ثابت ۳ ← ۲ و ۱ ← ۴ را در نظر بگیرید، گرمای عرضه شده و پس داده شده هوا را می توان به این صورت نوشت،

$$H_s = mC_v(T_3 - T_2) \qquad (۴۹-۷)$$

$$H_R = mC_v(T_4 - T_1) \qquad (۵۰-۷)$$

با جایگزینی معادلات (۷-۴۹) و (۷-۵۰) در معادله (۷-۴۸) خواهیم داشت،

$$\eta_{otto} = \frac{mC_v(T_3 - T_2) - mC_v(T_4 - T_1)}{mC_v(T_3 - T_2)} \quad (۵۱-۷)$$

فرایند آدیاباتیک را در نظر گرفته، داریم:

$$\frac{T_2}{T_1} = (\frac{V_1}{V_2})^{(\gamma-1)} \quad (۵۲-۷)$$

و

$$\frac{T_3}{T_4} = (\frac{V_4}{V_3})^{(\gamma-1)} \quad (۵۳-۷)$$

اما، نسبت حجم های$\frac{V_1}{V_2}$ و $\frac{V_4}{V_3}$ مساوی با نسبت تراکم بوده، بنابراین،

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = r \quad (۵۴-۷)$$

بنابراین،

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \quad (۵۵-۷)$$

از این معادله می توان به آسانی نشان داد که

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (۵۶-۷)$$

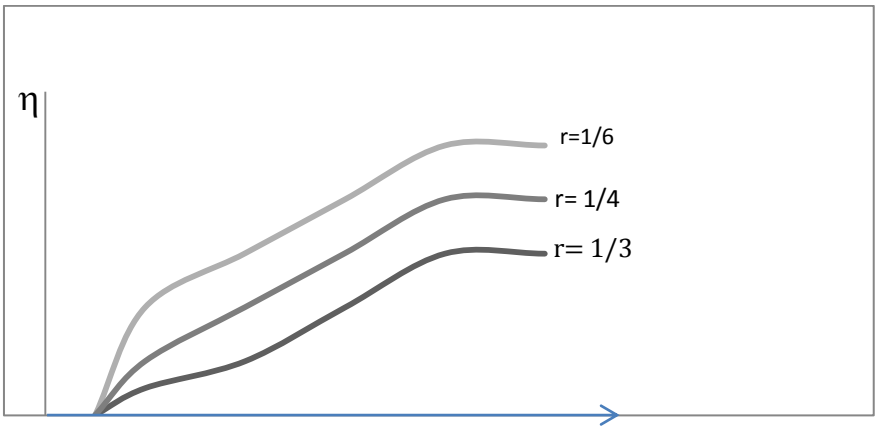
با جایگزینی معادله‌ها در معادله بازده چرخه داریم،

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (۵۷-۷)$$

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{(\frac{V_1}{V_2})^{(\Upsilon-1)}} \quad (۵۸-۷)$$

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r^{(\Upsilon-1)}} \quad (۵۹-۷)$$

باید توجه داشت که راندمان حرارتی چرخه اتو تابعی از نسبت تراکم r و نسبت گرماهای ویژه Υ است. از آنجا که فرض می شود Υ برای هر نوع سیال عامل ثابت باشد، راندمان حرارتی با زیاد شدن نسبت تراکم افزایش می‌یابد. بعلاوه، راندمان حرارتی مستقل از گرمای عرضه شده و نسبت فشار است. استفاده از گازهای با مقدار زیادتر Υ، راندمان چرخه اتو را افزایش می دهد. شکل ۷-۶ تاثیر Υ و r را بر راندمان حرارتی نشان می دهد.



شکل ۷-۶: تاثیر r و Υ بر راندمان حرارتی چرخه اتو

۷-۲۰ کارخروجی چرخه اتو

کار خروجی را میتوان به صورت عبارت زیر بیان کرد:

$$W = \frac{P_3V_3 - P_4V_4}{\Upsilon - 1} - \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\Upsilon - 1} \quad (۶۰-۷)$$

همچنین،

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} = r^{\gamma}$$

$$\frac{P_4}{P_2} = \frac{P_4}{P_1} = r_p \qquad (۶۱-۷)$$

بنابراین،

$$V_1 = rV_2 \text{ و } V_4 = rV_3$$

$$W = \frac{P_1V_1}{\gamma - 1}\left(\frac{P_3V_3}{P_1V_1} - \frac{P_4V_4}{P_1V_1} - \frac{P_2V_2}{P_1V_1} + 1\right) \qquad (۶۲-۷)$$

$$= \frac{P_1V_1}{\gamma-1}\left(\frac{r_pV^{\gamma}}{r} - r_p - r^{\gamma-1} + 1\right)$$

$$= \frac{P_1V_1}{\gamma - 1}(r_p - 1)(r^{\gamma-1} - 1) \qquad (۶۳-۷)$$

۷- ۲۱ فشار موثر متوسط چرخه اتو

فشار موثر متوسط به صورت زیر بیان شده است:

$$P_m = \frac{\text{کار خروجی}}{\text{حجم جاروب شده}} \qquad (۶۴-۷)$$

$$\text{حجم جاروب شده} = V_1 - V_2 = V_2(r - 1)$$

$$P_m = \frac{\frac{P_1 V_1}{\gamma - 1}(r_p - 1)(r^{\gamma-1} - 1)}{(\gamma - 1)(r - 1)}$$

$$= \frac{P_1 r(r_p - 1)(r^{\gamma-1} - 1)}{(\gamma - 1)(r - 1)} \quad (۶۵-۷)$$

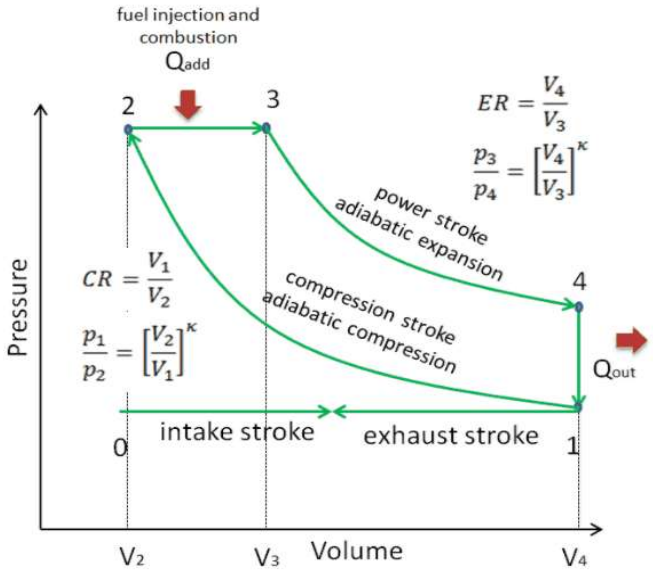
بنابراین، می‌توان مشاهده کرد که کار خروجی با نسبت فشار r_p متناسب است. فشار موثر متوسط، که نشانه کار خروجی داخلی است، با نسبت فشار در یک مقدار مشخص نسبت تراکم و نسبت گرماهای ویژه افزایش می یابد. برای چرخه اتو، افزایش در نسبت تراکم به زیاد شدن فشار موثر متوسط و همچنین افزایش راندمان حرارتی می‌انجامد.

۷-۲۲ چرخه دیزل

در موتورهای اشتعال جرقه‌ای واقعی، حد بالای نسبت تراکم به وسیله دمای خودسوزی سوخت محدود می‌شود. اگر سوخت و هوا به طور جداگانه متراکم شده و هنگام اشتعال با یکدیگر مخلوط شوند می‌توان بر این محدودیت نسبت تراکم غلبه کرد. در چنین نظم و ترتیبی سوخت را می‌توان به درون سیلندر که حاوی هوای متراکم شده در دمای بالا است تزریق نمود تا این که در دمای خود سوختی تزریق شود. از این رو، سوخت به دلخواه خود مشتعل شده و به ابزار مخصوصی مانند سیستم اشتعال در یک موتور اشتعال جرقه ای نیاز ندارد. این گونه موتورها با سوخت های مایع سنگین کار می‌کنند. این موتور ها، موتورهای اشتعال تراکمی نام دارند و براساس چرخه ایده آل به نام چرخه دیزل کار می‌کنند. تفاوت بین چرخه های اتو و دیزل در فرآیند اضافه نمودن گرما است. در چرخه اتو گرمای اضافه شده در حجم ثابت اتفاق می‌افتد در صورتی که در چرخه دیزل این کار در فشار ثابت رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، چرخه فشار ثابت یا چرخه دیزل به صورت چرخه ایده آل یا نظری برای موتورهای اشتعال تراکمی کم دور بکار برده می‌شود و تفاوت آن با چرخه حجم ثابت این است که حرارت داده شده به چرخه به جای اینکه در حجم ثابت صورت گیرد، در فشار ثابت انجام می‌شود. به این دلیل، چرخه دیزل اغلب به عنوان چرخه فشار ثابت شناخته شده است. بهتر است که از بکار بردن این عبارت پرهیز شود تا با چرخه ژول اشتباه نشود.

در موتورهای دیزل از سوخت‌های روغنی شکل (مشتقات سنگین نفت، مانند گازوئیل) استفاده شده، در این نوع موتورها عمل اشتعال به وسیله تراکم زیاد هوای خالص صورت می-گیرد. به این ترتیب که هوای خالص در محفظه اشتعال که حجم آن بسیار کم است، متراکم

شده و درجه حرارت آن در اثر تراکم به حدی خواهد رسید که اگر سوخت روغنی شکل در داخل هوای فشرده و داغ سیلندر پاشیده شود، عمل اشتعال آغاز می‌گردد. چرخه دیزل به صورت چرخه ایده آل یا نظری بریا موتورهای دیزل کم دور به صورتی می باشد که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است.



شکل ۷-۷ چرخه ایده‌آل موتورهای احتراق داخلی دیزل

برای تجزیه و تحلیل چرخه دیزل کورس‌های مکش و تخلیه که به وسیله اعداد ۱ ⟵ ۰ و ۰⟵۱ نشان داده شده‌اند مانند چرخه اتو از آنها صرفه نظر می‌شود. در اینجا، نسبت حجمی V_1/V_2 نسبت تراکم یا r می‌باشد. نسبت حجمی V_3/V_2 نسبت قطع سوخت یا r_c نامیده می-شود. یک چرخه کامل در چنین موتورهایی شامل تغییر وضعیت های زیر است:

تراکم آدیاباتیک ($PV^Y=C$). در حین این عمل هیچ گونه انتقال حرارتی صورت نمی‌گیرد.

گرم کردن در فشار ثابت ($P_2=P_3$) دادن حرارت در نقطه 3 متوقف می شود. این نقطه به نام نقطه قطع حرارت معروف است.

انبساط آدیاباتیک ($PV^Y=C$). در حین این عمل هیچونه انتقال حرارتی صورت نمی‌گیرد.

خنک شدن در حجم ثابت ($V_1=V_4$).

۷-۲۳ راندمان حرارتی چرخه دیزل

راندمان حرارتی چرخه دیزل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\eta_{Diesel} = \frac{H_s - H_R}{H_s} = \frac{mc_p(T_3 - T_2) - mc_v(T_4 - T_1)}{mc_p(T_3 - T_2)} = \quad (۶۶-۷)$$

$$= 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma}\left(\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}\right) \quad -۷)$$

$$_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(\gamma-1)} = \ T_1 r^{(\gamma-1)} \quad (۶۸-۷)$$

با در نظر گرفتن فرآیند فشار ثابت، داریم:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \quad , \quad \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = r_c$$

$$T_3 = T_2 r_c \quad (۶۹-۷)$$

از معادلات بالا داریم:

$$T_3 = T_1 r^{(\gamma-1)} r_c \quad (۷۰-۷)$$

با در نظر گرفتن فرآیند ۴ ⟵ ۳، داریم

$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{(\gamma-1)} \quad (۷۱-۷)$$

$$= T_3(\frac{V_3}{V_2} \times \frac{V_2}{V_4})^{(\gamma-1)} = T_3(\frac{r_c}{r})^{(\gamma-1)} \quad (۷۲-۷)$$

از معادلات بالا داریم

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{\gamma}[\frac{T_1({r_c}^{\gamma}-1)}{T_1({r_c}^{(\gamma-1)}r_c - r^{(\gamma-1)})}] \quad (۷۳-۷)$$

$$= 1 - \frac{1}{\gamma}[\frac{({r_c}^{\gamma}-1)}{(r^{(\gamma-1)}r_c - r^{(\gamma-1)})}]$$

$$= 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)}}[\frac{({r_c}^{\gamma}-1)}{\gamma(r_c-1)}] \quad (۷۴-۷)$$

باید توجه شود که راندمان چرخه دیزل فقط درعامل درون کروشه معادله (۷-۷۴) با چرخه ی اتو متفاوت است. این عامل همیشه بزرگ‌تر از ۱ است. از این رو، برای یک نسبت تراکم معین، چرخه ی اتو کار آمد تر است. در موتورهای دیزل نسبت قطع سوخت، r_c ، به توان خروجی موتور بستگی داشته، برای توان خروجی حداکثر موتور، دارای مقدار حداکثری است. بنابراین،برخلاف چرخه اتو راندمان استاندار هوای چرخه دیزل به توان خروجی بستگی دارد. راندمان یشتر چرخه اتو در مقایسه با چرخه دیزل برای نسبت تراکم مشابه اهمیت کاربردی ندارد. در عمل نسبت تراکم موتورهای دیزل در مقایسه با موتور اشتعال جرقه‌ای که بر مبنای چرخه اتو کار می‌کنند بسیار بیشتر است. دامنه تغییرات معمولی نسبت تراکم موتورهای دیزل از ۱۶ تا ۲۴ است در حالی که این دامنه تغییرات برای موتورهای اشتعال جرقه ای از ۶ تا ۱۰ می باشد. به خاطر نسبت تراکم‌های بیشتری که در موتورهای دیزل مورد استفاده قرار می‌گیرد، راندمان یک موتور دیزل بیشتر از یک موتور اشتعال جرقه‌ای است.

۷-۲۴ کار خروجی چرخه دیزل

کار خروجی خالص چرخه به صورت زیر داده شده است:

$$W = P_2(V_3 - V_2) + \frac{P_3V_3 - P_4V_4}{\gamma-1} - \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma-1} \quad (۷۵-۷)$$

$$= P_2V_2(r_c - 1) + \frac{P_3 r_c V_2 - P_4 r V_2}{\gamma - 1} - \frac{P_2 V_2 - P_1 r V_2}{\gamma - 1}$$

$$= V_2\left[\frac{P_2(r_c - 1)(\gamma - 1) + P_3 r_c - P_4 r - (P_2 - P_1 r)}{\gamma - 1}\right]$$

$$= V_2\left[\frac{P_2(\gamma r_c - 1)(\gamma - 1) + P_3\left(r_c - \frac{P_4}{P_3}\right) - P_2\left(1 - r\frac{P_1}{P_2}\right)}{\gamma - 1}\right]$$

$$= P_2V_2\left[\frac{(r_c - 1)(\gamma - 1) + \left(r_c - r_c^{\gamma} r^{(\gamma-1)}\right) - \left(1 - r^{(1-\gamma)}\right)}{\gamma - 1}\right]$$

$$= \frac{P_1V_1 r^{(\gamma-1)}\left[\gamma(r_c - 1) - r^{(1-\gamma)}(r_c^{\gamma} - 1)\right]}{\gamma - 1} \qquad (۷۶-۷)$$

۲۵-۷ فشار موثر متوسط چرخه دیزل

می‌توان نشان داد که عبارت لازم برای محاسبه فشار موثر متوسط چرخه دیزل به صورت زیر است:

$$P_m = \frac{P_1V_1\left[r^{(\gamma-1)}\gamma(r_c - 1) - \left(r_c^{\gamma} - 1\right)\right]}{(\gamma - 1)V_1\left(\frac{r-1}{r}\right)} \qquad (۷۷-۷)$$

$$= \frac{P_1\left[\gamma^{\gamma}(r_c - 1) - r\left(r_c^{\gamma} - 1\right)\right]}{(\gamma - 1)(r - 1)} \qquad (۷۸-۷)$$

۲۶-۷ چرخه اشتعال دوگانه

در چرخه اتو فرض می‌شود که اشتعال در حجم ثابت انجام شود در حالی که در چرخه دیزل فرض بر این است که اشتعال در فشار ثابت صورت می‌گیرد. در عمل، اشتعال در آن

بسیار با واقعیت فاصله دارد. از آن‌جا که در طول فرایند اشتعال برای واکنش‌های شیمیایی مقدار زمان لازم است، اشتعال نمی‌تواند در حجم ثابت انجام شود. به طور مشابه به خاطر اشتعال سریع کنترل نشده در موتور های دیزل، اشتعال در فشار ثابت به وقوع نمی‌پیوندد. اشتعال دوگانه که همچنین اشتعال مخلوط با چرخه فشار محدود نامیده می‌شود، یک سازشی در بین چرخه‌های اتو و دیزل است. به عبارت دیگر یک مخلوطی از و دیزل می‌باشد.

بیشتر موتورهای دیزل امروزی، بخصوص موتورهای دیزل دور بالا که در روی وسایل نقلیه سنگین به کار برده می‌شود، بر مبنای چرخه دوگانه یا مرکب کار می‌کند. در این نوع چرخه، دادن حرارت در دو مرحله (قسمتی در حجم ثابت و قسمتی در فشار ثابت) صورت می‌گیرد. به خاطر بالا بودن سرعت موتور لازم است که شروع تزریق سوخت روغنی در داخل محفظه اشتعال، قبل از این که درجه ی حرارت برای اشتعال آن کافی باشد،انجام می‌گیرد.

چرخه نظری اشتعال دوگانه در شکل ۷-۸ نشان داده شده است. کلیه اعمالی که چرخه مذکور را تشکیل می‌دهد، به صورت زیر می‌باشد:

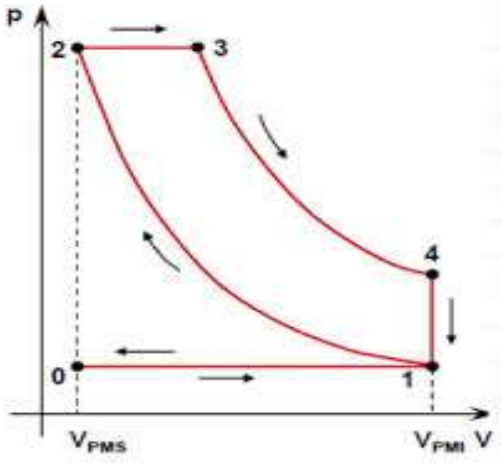
۲-۱تراکم آدیاباتیک $(P^{v2} = \mathrm{C})$ [هیچ گونه انتقال حرارتی صورت نمی‌گیرد]

۲-۳ گرم شدن در حجم ثابت $(V_2 = V_3)$

۳-۴ گرم شدن در فشار ثابت $(P_3 = P_4)$

۴-۵ انبساط ادیاباتیک $(P^{v2} = \mathrm{C})$ [هیچ گونه انتقال حرارتی صورت نمی‌گیرد]

۳-۵ سرد شدن در حجم ثابت$(V_1 = V_5)$



شکل ۷-۸: چرخه نظری اشتعال دوگانه

نمودار P-V که در موتور دیزل چهار زمانه بر دور وجود دارد در شکل ۷-۹ رسم شده است. حلقه پایینی تنفس و تخلیه را در مورد موتور نشان می دهد. منحنی نقطه چین، منحنی انبساط را در شرایط نیم بار یا در زمانی که قدرت کمی از موتور کسب شود نشان می دهد.

۷-۲۷ راندمان حرارتی چرخه اشتعال دوگانه

راندمان چرخه ممکن است به صورت زیر نوشته شود:

$$\eta_{\text{Dual}} = \frac{H_S - H_R}{H_S}$$

$$= \frac{mC_v(T_3-T_2)+mc_p(T_4-T_3)-mc_v(T_5-T_1)}{mC_v(T_3-T_2)+mc_p(T_4-T_3)} \qquad (۷۹-۷)$$

$$= 1 - \frac{T_5-T_1}{(T_3-T_2)+Y(T_4-T_3)} \qquad (۸۰-۷)$$

حال،

$$T_2 = T_1(\frac{V_1}{V_2})^{(\gamma-1)} = T_1 r^{(\gamma-1)} \quad (۸۱-۷)$$

$$T_3 = T_2(\frac{P_3}{P_2}) \quad = T_1 r_p r^{(\gamma-1)} \quad (۸۲-۷)$$

که در معادله (۶-۳۵) r_p نسبت فشار در فرآیند افزایش گرما در حجم ثابت بوده، برابر $\frac{P_3}{P_2}$ می باشد.

نسبت قطع سوخت r_c به وسیله $\frac{V_3}{V_2}$ داده شده است.

$$\frac{V_4}{V_3} = T_3 r_c V_4 = T_3$$

از معادله (۷-۸۲) مقدار T_3 جایگذاری می شود،

$$T_4 = T_1 r_c r_p r^{(\gamma-1)} \quad (۸۳-۷)$$

$$T_5 = T_4(\frac{V_4}{V_3})^{(\gamma-1)} \quad (۸۴-۷)$$

$$= T_1 r_c r_p r^{(\gamma-1)})(\frac{V_4}{V_3})^{(\gamma-1)} \quad (۸۵-۷)$$

حال

$$\frac{V_4}{V_5} = \frac{V_4}{V_1} = \frac{V_4}{V_3} \times \frac{V_3}{V_1} \quad (۸۶-۷)$$

(از آنجا که $V_2 = V_3$) $\frac{V_4}{V_3} \times \frac{V_2}{V_1}$

بنابراین،

$$\frac{V_4}{V_5}, \frac{r_c}{r} = \frac{V_4}{V_5} \quad (۸۷-۷)$$

که در معادله (۷-۸۷)، $\frac{V_4}{V_5}$ نسبت انبساط است. حال،

$$T_5 = T_1 r_p r_c r^{\gamma-1}(\frac{r_c}{r})^{\gamma-1} = T_1 r_p {r_c}^{\gamma} \qquad (۷-۸۸)$$

از معادله (۷-۸۸) می‌توان مشاهده نمود که برای مقدار $r_p > 1$در قبال مقادیر معین r_c و γ باعث افزایش راندمان خواهد شد. بدین گونه با داشتن میزان معینی نسبت تراکم، راندمان چرخه دوگانه بین چرخه اتو و چرخه دیزل واقع می‌شود. با $r_c = 1$ ، یک چرخه اتو شده، و با $r_p = 1$ یک چرخه دیزل خواهد شد. با کاهش r_c راندمان افزایش یافته و وقتی $r_c = 1$ است، راندمان حداکثر می‌شود. در این حالت دادن گرما در فشار ثابت ۴ ۳ از بین رفته و چرخه تبدیل به چرخه اتو می‌شود و معادله (۷-۸۸) به معادله (۷-۵۸) کاهش می‌یابد.

۷-۲۸ کار خروجی چرخه اشتعال دوگانه

کار خروجی خالص چرخه به صورت زیر داده شده است.

$$W = P_3(V_4 - V_3) + \frac{P_4V_4 - P_5V_5}{\gamma-1} - \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma-1}$$

$$= \frac{P_1V_1}{\gamma-1}\left[(\gamma-1)\left(\frac{P_4V_4}{P_1V_1} - \frac{P_3V_3}{P_1V_1}\right) + \frac{P_4V_4}{P_1V_1} - \frac{P_5V_5}{P_1V_1} - \frac{P_2V_2}{P_1V_1} + 1\right]$$

$$= \frac{P_1V_1}{\gamma-1}\left[(\gamma-1)\left(r_c r_p r^{\gamma-1} - r_p r^{\gamma-1}\right) r_c r_p r^{\gamma-1} r_p {r_c}^{\gamma} - r^{\gamma-1} + 1\right.$$

$$= \frac{P_1V_1}{\gamma-1}\left[\gamma r_c r_p r^{\gamma-1} - \gamma r_p r^{\gamma-1} + r_p r^{\gamma-1} - r_p {r_c}^{\gamma} - r^{\gamma-1} + 1\right]$$

$$\frac{P_1V_1}{\gamma-1}\left[\gamma r_p r^{\gamma-1}(r_c - 1) + r^{\gamma-1}(r_p - 1) - (r_p {r_c}^{\gamma} - 1)\right] \qquad (۷-۸۹)$$

۷-۲۹ فشار موثر متوسط چرخه اشتعال دوگانه

فشار موثر متوسط به صورت زیر داده شده است.

$$P_m = \frac{\text{کار خروجی}}{\text{حجم جاروب شده}} = \frac{W}{V_s}$$

$$= \frac{1}{(V_1 - V_2)} \times \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} [\gamma r_p r^{\gamma-1}(r_c - 1) + r^{\gamma-1}(r_p - 1) - (r_p r_c{}^{\gamma} - 1)]$$

$$= \frac{1}{(1-\frac{V_2}{V_1})} \times \frac{P_1}{\gamma-1} [\gamma r_p r^{\gamma-1}(r_c - 1) + r^{\gamma-1}(r_p - 1) - (r_p r_c{}^{\gamma} - 1)]$$

$$= P_1 \times \frac{[\gamma r_p r^{\gamma}(r_c-1)+r^{\gamma}(r_p-1)-r(r_p r_c{}^{\gamma}-1)]}{(\gamma-1)(r-1)}$$

۷-۳۰ راندمان استاندارد هوا

به منظور مقایسه راندمان یک چرخه لازم است اثر حرارتی سوخت مصرف شده را برطرف کرد. برای انجام این کار، هوای خالص به عنوان ماده انجام دهنده کار داخل سیلندر فرض می‌شود. بدین ترتیب راندمان حرارتی معین شده در چنین حالتی از چرخه، به نام راندمان استاندارد هوا (ASE) یا راندمان استاندارد موتور مقایسه ای معروف است. بعضی وقتها این راندمان به نام راندمان نظری یا ایده آل نامیده می‌شود.

باید خاطر نشان ساخت که چرخه اتو یا حجم ثابت بالاترین راندمان عملی را در چرخه های موتور اشتعال داخلی دارا می باشد. به همین دلیل، پیشنهاد شده است که عملکرد تمام موتورهای اشتعال داخلی نسبت به راندمان چرخه حجم ثابت استاندارد هوا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

بدین منظور می‌توانیم راندمان چرخه حجم ثابت استاندارد هوا را به صورت زیر بیان کنیم:

$$\eta_{ASE} = \frac{\text{کار انجام شده در حین چرخه}}{\text{حرارت داده شده به چرخه}} = \frac{\text{حرارت تلف شده—حرارت داده شده به چرخه}}{\text{حرارت داده شده به چرخه}}$$

$$\eta_{ASE} = 1 - \frac{\text{حرارت تلف شده}}{\text{حرارت داده شده به چرخه}} \qquad (۹۰-۷)$$

چون انبساطو تراکم به صورت آدیاباتیک صورت می‌گیرد، در طول این دو مرحله که به وسیله منحنی‌های 3-4 و 1-2 نشان داده شده است، هیچ گونه حرارتی با خارج مبادله نمی‌شود.

آنگاه اگر 1kg هوا رادر نظر بگیریم. حرارت داده شده در حین گرم کردن در حجم ثابت که به وسیله خط 2-3 نشان داده شده برابر است با:

$$= C_v(T_3 - T_2) \tag{۹۱-۷}$$

حرارت تلف شده در حین مرحله سرد کردن در حجم ثابت که به وسیله خط 1-4 نشان داده شده برابر است با

$$= C_v(T_4 - T_1) \tag{۹۲-۷}$$

با جایگزین کردن معادلات بالا داریم:

$$\eta_{ASE} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \tag{۹۳-۷}$$

معادله (۷-۹۳) راندمان چرخه را نسبت به متغیر درجه حرارت نشان می‌دهد. برای ساده کردن این معادله می‌توان به صورت زیر عمل کرد:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{Y-1}$$

$$T_1 = T_2\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{Y-1}$$

همین طور برای انبساط آدیاباتیک که به صورت منحنی 3-4 نشان داده شده است.

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{Y-1}$$

$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_3}\right)^{Y-1}$$

اما نسبت $\frac{V_1}{V_2}$ و $\frac{V_4}{V_3}$ برابر نسبت تراکم (r) می باشد. بنابراین،

$$T_1 = T_2\left(\frac{1}{r}\right)^{Y-1} \tag{۹۴-۷}$$

و

$$T_4 = T_3\left(\frac{1}{r}\right)^{Y-1} \tag{۹۵-۷}$$

از معادلات بالا به صورت زیر نتیجه خواهد شد.

$$\eta_{ASE} = 1 - \frac{T_3(\frac{1}{r})^{Y-1} - T_2(\frac{1}{r})^{Y-1}}{T_3 - T_2}$$

$$= 1 - \frac{(T_3 - T_2)(\frac{1}{r})^{Y-1}}{T_3 - T_2}$$

$$= 1 - (\frac{1}{r})^{Y-1} \qquad (۹۶-۷)$$

اگر اندازه r را برای هوا 1.4 در نظر بگیریم آنگاه معادله (۶-۵۱) به صورت زیر در می آید:

$$\eta_{ASE} = 1 - (\frac{1}{r})^{0.4} \qquad (۹۷-۷)$$

معادله (۷-۹۷) نشان می‌دهد که راندمان استاندارد هوا یا راندمان نظری تنها بستگی به نسبت تراکم r دارد و همین که نسبت تراکم زیاد می‌شود، راندمان استاندارد هوا نیز افزایش می‌یابد، منحنی شکل (۷-۹) رابطه بین راندمان استاندارد هوا با نسبت تراکم را نشان می‌دهد.

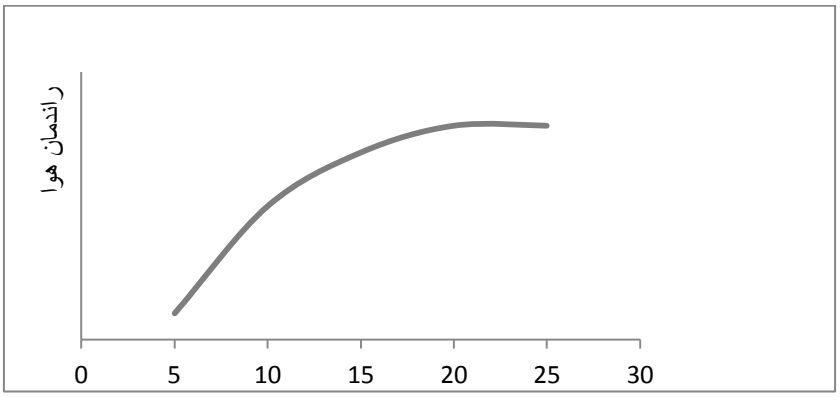
در هنگام طراحی تمام موتورهای اشتعال داخلی سعی می‌شود که موتور حداکثر نسبت تراکم ممکن را دارا باشد، اما بالاترین مقدار ممکن برای نسبت تراکم بستگی به مشاهدات عملی دارد. در یک موتور اشتعال جرقه‌ای که مخلوط سوخت و هوا در داخل اتاق اشتعال در مرحله تراکم فشرده می‌شود، بالاترین مقدار نسبت تراکم ممکن که می‌توان استفاده کرد، در حدود۱۰به ۱ است که معمولا خودسوزی یا انفجار جلوتر از موقع معین را در صورت افزودن بیشتر نسبت تراکم به همراه خواهد داشت.

در موتورهای دیزل چون هوا به تنهایی متراکم می‌شود، بنابراین مسئله اشتعال زودرس وجود نخواهد داشت. در نتیجه نسبت تراکم را می‌توان در این موتور به حداکثر رسانید. به هرحال همان طوری که منحنی نشان می‌دهد در نسبت تراکم‌های خیلی زیاد، افزوده شدن نسبت تراکم چندان تاثیری در راندمان استاندارد هوا ندارد، افزودن بیش از حد نسبت تراکم در موتور دیزل فقط باعث خواهد شد که فشار در محفظه اشتعال خیلی بالا رود و در این صورت می‌بایست قطعات موتور را بیش از حد ضخیم ساخت که غیر اقتصادی است.

شکل ۷-۹ رابطه نسبت تراکم با راندمان استانداردهوا را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه

شده است:

$$A.S.E.=1-(1/4)^{0.4}$$



شکل ۷-۹: رابطه نسبت تراکم با راندمان هوا

۷-۳۱ راندمان نسبی

نسبت بین راندمان حرارتی واقعی و راندمان استاندارد هوای یک موتور، راندمان نسبی نام دارد و بعضی اوقات به آن نسبت راندمان‌ها یا ضریب اصلاح چرخه نیز می‌گویند.

راندمان حرارتی واقعی به کار برده شده باید بر مبنای قدرت اندیکاتوری حاصل شده از موتور بیان شود. بنابراین راندمان نسبی یک موتور به صورت زیر در می‌آید:

$$\text{راندمان نسبی موتور} = \frac{\text{راندمان حرارتی اندیکتاتوری}}{\text{راندمان استاندارد هوا}}$$

مسائل تکمیلی فصل هفتم

بخش اول

۷-۱: $0.5\ m^3$ هوا تحت فشار نسبی (15bars) $1500kN/m^2$ در داخل سیلندری تا $2m^3$ منبسط می‌شود. اگر درجه حرارت ثابت فرض شود، فشار نسبی جدیدی که فشار سنج نشان می‌دهد چقدر است؟ (فرض کنید فشار هوا برابر با (1 bar) $100kN/m^2$ می‌باشد).

حل:

فشار مطلق اولیه $= P_1 = 1500 + 100 = 1600kN/m^2$ kpa

فشار مطلق مرحلهٔ نهایی $= P_2 = ?$

حجم اولیه $= V_1 = 0.5\ m^3$

حجم نهایی $= V_2 = 2\ m^3$

چون درجه حرارت ثابت است، انبساط گاز منطبق بر قانون بویل صورت می‌گیرد، بنابراین:

$P_1V_1 = P_2V_2$

$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$

$= \frac{1600\times0.5}{2} = 400kN/m^2$ kpa

$= 400 - 100 = 300kN/m^2$ (3bars)

۷-۲: مقداری گاز $5m^3$ حجم را در فشار مطلق $140kN/m^2$ اشتغال می‌کند. اگر این گاز در دمای ثابت تا فشار مطلق $560kN/m^2$ متراکم شود، حجم گاز در انتهای مرحلهٔ تراکم را معین کنید.

حل:

فشار اولیه $= P_1 = 140kN/m^2$ kpa

فشار نهایی $= P_2 = 560kN/m^2$ kpa

حجم اولیه $= V_1 = 5m^3$

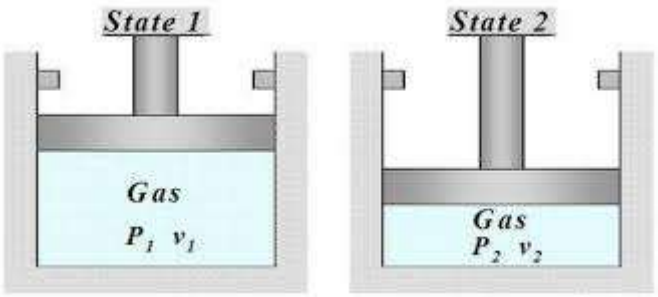
چون درجه حرارت گاز ثابت می‌ماند، عمل تراکم مطابق قانون بویل صورت می‌گیرد، بدین ترتیب:

$P_1V_1 = P_2V_2$

$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} \quad = \frac{140\times5}{560} = 1.25m^3$

۷-۳: پیستون موتوری در هر بار حرکت از نقطه مرگ بالا تا نقطه مرگ پایین حجم $475m^3$ را جاروب می‌کند، اگر حجم اتاق احتراق، (یعنی حجم بالای پیستون زمانی که در نقطه مرگ بالا قرار دارد)، $96m^3$ باشد، نسبت تراکم این موتور را معین کنید. در انتهای مرحلهٔ تنفس سیلندر پر از مخلوط با فشار $3.3kN/m^2$ کمتر از فشار جو می‌باشد. هرگاه درجهٔ حرارت

ثابت فرض شود و هیچ گونه گازی در حین تراکم نتواند به بیرون نشت کند در انتهای مرحلهٔ تراکم را معین کنید. (فشار هوای محیط $101.3kN/m^2$ می‌باشد.



شکل مساله ۷-۳: سیلندر و پیستون

حل:

سیلندر پیستون را مطابق شکل مساله ۷-۳ در نظر بگیرید. فرض کنید،

d = قطر پیستون

L = کورس پیستون یا فاصلهٔ نقطه مرگ بالا تا نقطه مرگ پایین.

آنگاه، حجم جاروب شده به وسیله پیستون (V_s) در حین یک کورس،

V_s = سطح دهانه سیلندر × کورس پیستون

یعنی،

$$A = \frac{л}{4} d^2 \times L$$

هنگامی که پیستون در نقطه مرگ بالا قرار دارد حجم محفظهٔ بسته بین سرپیستون و سرسیلندر، محفظهٔ اشتغال (V_3) نام دارد.

نسبت تراکم عبارت است از حجم کل بالای پیستون زمانی که پیستون در نقطه مرگ پایین قرار دارد، تقسیم بر حجم بالای پیستون در نقطهٔ مرگ بالا قرار دارد و با r_c نشان داده می‌شود.

راندمان حرارتی یک موتور اشتعال داخلی اساساً بستگی به نسبت تراکم (r_c) دارد و همین که نسبت تراکم زیاد می‌شود راندمان حرارتی موتور نیز افزایش می‌یابد.

$= V_t = V_1 = V_c =$ حداکثر حجم بالای پیستون زمانی که در نقطه مرگ پایین قرار دارد. V_s

$= V_c = V_2$ حداقل حجم بالای پیستون یا حجم اتاق احتراق

$r_c = \frac{V_1}{V_2}$ ، نسبت تراکم یا

$$r_c = \frac{V_c + V_s}{V_c}$$

با این توضیحات اجازه دهید به حل مثال گفته شده بپردازیم:

$V_c = 96cm^3$

$V_s = 475cm^3$

از رابطهٔ $r_c = \frac{96+475}{96}$

$= \frac{571}{96} = 5.96:1$

همچنین فشار در انتهای مرحلهٔ تراکم را می‌توان با استفاده از قانون بویل به صورت زیر حساب کرد.

$P_1 =$ فشار نسبی + فشار هوا ، فشار مطلق در ابتدای تراکم

$= -3.3 + 101.3 = 98kN/m^2$ kpa

اگر دما ثابت بماند، طبق قانون بویل مخلوط متراکم می‌گردد:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = P_1 \times \frac{V_1}{V_2}$

$= P \times r_c$ از رابطهٔ $(r_c = \frac{V_1}{V_2})$

$= 98 \times 5.95$

$= 583$ kN/m^2 kpa

۷-۴: جرم معین گاز، حجم 200lit لیتر را در درجه حرارت $27^\circ C$ اشتعال کرده است. حجم این گاز را تعیین کنید؟

الف- در $90^\circ C$ و

ب- $-30^\circ C$

(فرض کنید فشار ثابت است).

حل:

الف-

$$V_1 = 200 \text{ litres} \qquad T_1 = 27 + 273 = 300\text{K}$$
$$V_2 = ? \qquad T_2 = 90 + 273 = 363\text{K}$$

چون فشار گاز در حین این تحویل ثابت فرض شده، تغییرات از قانون چارلز پیروی می‌کند، بنابراین:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$
$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$
$$= \frac{200 \times 363}{300} = 242 litres$$

ب -

$$V_1 = 200\ litres \qquad T_1 = 300K$$
$$V_3 = ? \qquad T_3 = 30 + 273 = 243\ \text{K}$$

یک بار دیگر، چون فشار گاز تغییر نکرده است، باید تغییر از قانون چارلز پیروی کند، بنابراین در این حالت:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_3}{T_3}$$
$$V_3 = \frac{V_1 T_3}{T_1}$$
$$= \frac{200 \times 243}{300}$$
$$= 162 \text{ liters}$$

۵-۷: مقدار معینی گاز در درجه حرارت 15°C در فشار ثابت گرم شده تا اینکه حجم آن دو برابر می‌گردد. معین کنید درجه حرارت نهایی گاز چند درجه می‌شود؟

حل:

$$V_1 = V_1 \qquad T_1 = 15 + 273 = 288\text{K}$$
$$V_2 = 2V_1$$

چون گاز در فشار ثابت گرم می‌شود، انبساط آن باید از قانون چارلز تبعیت کند. بنابراین:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{T_1 V_2}{V_1} \qquad T_2 = \frac{288 \times 2V_1}{V_1} = 288 \times 2 = 576k$$

بنابراین درجه حرارت نهایی گاز برحسب درجهٔ سانتیگراد برابر است با:

$$576 \times 273 = 303^{\circ}$$

۷-۶: نسبت تراکم موتوری 9 به 1 است. اگر فشار مطلق در آغاز کورس تراکم $110kN/m^2$ و درجه حرارت 115° C باشد، در صورتی که درجه حرارت گاز در انتهای تراکم به 180°C برسد فشار مطلق گاز در انتهای تراکم را حساب کنید.

حل:

نسبت تراکم، $r_c = \frac{V_1}{V_2} = 9$

$$P_1 = 110kN/m^2 \text{ kpa}$$
$$P_2 = ?$$
$$T_1 = 115 + 273 = 388K$$
$$T_2 = 180 + 273 = 453K$$

با استفاده از معادله اساسی گاز یعنی:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$
$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} \times \frac{V_1}{V_2}$$
$$= \frac{P_1 T_2}{T_1} \times r_c$$
$$= \frac{110 \times 453}{388} \times 9 = 1153kN/m^2 \text{ kpa}$$

۷-۷: در شروع تراکم سیلندری حاوی $480cm^3$ گاز در فشار $96KN/m^2$ و درجه حرارت 100°C می‌باشد و در انتهای تراکم، حجم $80cm^3$ و فشار kpa $725KN/m^2$ می‌شود. درجه حرارت گاز در انتهای تراکم چه مقدرا خواهد بود؟

حل:

$$P_1 = 96KN/m^2 \text{ kpa} \qquad P_2 = 725KN/m^2 \text{ kpa}$$
$$V_1 = 480cm^3 \qquad V_2 = 80cm^3$$
$$T_1 = 110+273 \qquad T_2 = ?$$

با استفاده از معادلهٔ گاز یعنی:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$
$$T_2 = \frac{P_2V_2T_1}{P_1V_1}$$
$$= \frac{725 \times 80 \times 373}{96 \times 480} = 469.5\text{K}$$

بنارابن درجه حرارت در انتهای تراکم برحسب درجه سانتیگراد برابر است با:

$$469.5 - 273 = 196.5^{\circ}\text{C}$$

۷-۸: مقداری گاز تحت فشار 720mm جیوه و درجه حرارت 17°C و حجم 2.4lit را اشتغال کرده است. حجم گاز در شرایط S.T.P چقدر است؟

حل:

اگر اندیس 1 وضعیت اصلی گاز و اندیس 2 شرایط S.T.P را نشان دهد، یعنی:

$P_1 = 720\text{mm}$ جیوه
$V_1 = 2.4\text{litres}$
$T_1 = 17 + 273 = 290\text{K}$

$P_2 = 760\text{mm}$ جیوه
$V_2 = ?$
$T_2 = 0 + 273 = 273\text{K}$

با استفاده از معادلهٔ اساسی گاز

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$
$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$
$$= \frac{720 \times 2.4 \times 273}{760 \times 290} = 2.14 \text{ litres}$$

۷-۹: هنگامی که فشار باد لاستیکی در درجه حرارت 12°C سنجیده می‌شود، مقدار فشاری که عقربه نشان می‌دهد 1.75 bar می‌باشد. معین کنید اگر درجه حرارت به 38°C برسد، فشاری که فشار سنج نشان می‌دهد چقدر خواهد بود؟ فرض کنید حجم لاستیک ثابت باشد و فشار جو را نیز 1.013 bar در نظر بگیرید.

حل:

$$p_1 = 1.75 + 1.013 = 2.763 \text{ bar}$$
$$P_2 = ?$$
$$T_1 = 12 + 273 = 285\text{ K}$$
$$T_2 = 38 + 273 = 311\text{ K}$$

چون حجم هوا در لاستیک ثابت فرض شده است بنابراین:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$ در نتیجه

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{2.763 \times 311}{285} = 3.016 \text{ bars kpa}$$

در نتیجه فشاری که فشار سنج (فشار نسبی) در $38^{\circ}C$ نشان می‌دهد برابر است با:

$$P_2 = 3.016 - 1.013$$
$$= 2.003 \text{ bar}$$
$$(2.003 \text{ bar} = 200.3 \text{ kN/m}^2)$$

بخش دوم

۷-۱۰: سیلندری شامل $0.15m^3$ گاز دز فشار مطلق $140kN/m^2$ می‌باشد. اگر گاز به طور همدما تا حجم $0.03m^3$ متراکم شود، فشار مطلق نهایی آن چقدر خواهد بود؟

حل:

$P_1 = 140kN/m^2$ abs $\quad V_1 = 0.15m^3$

$P_2 = ?$ $\quad V_2 = 0.03m^3$

چون گاز به طور همدما متراکم می‌شود، بنابراین:

$$PV = C$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$ (در نتیجه)

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$$
$$= \frac{140 \times 0.15}{0.03} = 700 \text{ kN/m}^2 \text{ abs}$$

۷-۱۱: نسبت تراکم موتور دیزل 16 به 1 و فشار مطلق هوا در آغاز مرحلهٔ تراکم $95kN/m^2$ است. در صورتی که تراکم هوا از رابطهٔ (ثابت = $PV^{1.3}$) تبعیت کند، فشار هوا را در پایان مرحلهٔ تراکم حساب کنید.

حل:

$$\text{نسبت تراکم } y_c = \frac{V_1}{V_2} = 16$$
$$P_1 = 95Kn/m^2$$
$$P_2 = ?$$

چون تراکم از رابطهٔ (ثابت = $PV^{1.3}$) تبعیت می‌کند، آنگاه:

$$P_1 V_1^{1.3} = P_2 V_2^{1.3}$$
$$P_2 = P_1 (\frac{V_1}{V_2})^{1.3}$$
$$= P_1 \times y_c^{1.3}$$
$$= 95 \times 16^{1.3}$$
$$= 3490\ KN/m^2$$
$$= 3.490\ Mn/m^2$$

۷-۱۲: سیلندری در آغاز مرحلهٔ تراکم، حاوی $375cm^3$ گاز با فشار مطلق $100kN/m^2$ می‌باشد، هر گاه تراکم از معادلهٔ $PV^n=C$ تبعیت کند و فشار مطلق گاز در پایان تراکم $780kN/m^2$ و حجم نهایی آن 1/5 حجم اولیه‌اش باشد، مقدار اندیش یا توان n را پیدا کنید.

حل:

$$P_1 = 100KN/m^2 \qquad V_1 = 375cm^3$$
$$P_2 = 780KN/m^2\ abs \qquad V_2 = \frac{V_1}{5} = \frac{375}{5} = 75\ cm^3$$
$$n = ?$$

چون تراکم گاز از معادلهٔ $PV^n=C$ تبعیت می‌کند، بنابراین:

$$P_1 V_1^{\ n} = P_2 V_2^{\ n}$$
$$(\frac{V_1}{V_2})^n = \frac{P_2}{P_1}$$

یا با گرفتن لگاریتم از طرف معادلهٔ بالا داریم:

$$n\log(\frac{V_1}{V_2}) = \log(\frac{P_2}{P_1})$$
$$n = \log(\frac{P_2}{P_1})/\log(\frac{V_1}{V_2})$$
$$= \log(\frac{780}{100})\log(\frac{375}{75})$$
$$= \frac{\log 7.8}{\log 5} = \frac{0.8921}{0.699} = 1.277$$

۷-۱۳: مقداری گاز در فشار مطلق $105kN/m^2$ و درجه حرارت $15^\circ C$ به صورت آدیاباتیک تا فشار مطلق $2835kN/m^2$ متراکم شود، درجه حرارت نهایی گاز را حساب کنید.

(فرض کنید $y=1.41$)

حل:

$$P_2 = 105\ \text{kN/m}^2 \qquad T_1 = 15+273=288$$
$$P_2 = 2835\ \text{kN/m}^2 \qquad T_2 = ?$$
$$y = 1.41$$

معادلهٔ ۵-۱۳ رابطهٔ بین فشار و درجه حرارت گاز را طی تحول تراکم آدیاباتیک نشان می‌دهد:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(y-1)/y}$$
$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(y-1)/y}$$
$$= 288 \times 27^{0.29} = 749\ \text{K}$$

در نتیجه درجه حرارت نهیی گاز برابر است با:

$$= 749 - 273 = 476^{\circ}\text{C}$$

۷-۱۴: مقداری هوا با فشار مطلق اولیه 280kN/m^2 و درجه حرارت $32^{\circ}\ \text{C}$ به طور آدیاباتیک در داخل سیلندری تا درجه حرارت $215^{\circ}\ \text{C}$ متراکم می‌شود. فشار نهایی هوا را حساب کنید. (y را برای هوا 1.4 در نظر بگیرید)

حل:

$$P_1 = 280\text{kN/m}^2 \qquad T_1 = 32+273=305\text{K}$$
$$P_2 = ? \qquad T_2 = 215+273=488$$
$$y = 1.41$$

از معادلهٔ رابطهٔ بین فشار و درجه حرارت گاز در حین تراکم آدیاباتیک به صورت زیر است:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(y-1)/y}$$
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{(y-1)/y}$$

بنابراین:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{(y-1)/y}$$

در نتیجه:

$$= 280 \times \left(\frac{488}{305}\right)^{1.4(1.4-1)}$$
$$= 280 \times 1.6^{3.5}$$
$$= 1450\ \text{KN}/m^2\ (\text{or}\ 1.45\ \text{MN}/m^2)$$

بخش سوم

۷-۱۵: -موتوری که بر اساس چرخه اتو کار می‌کند دارای شرایط زیر است:

فشار در ابتدای تراکم 1bar و فشار در انتهای تراکم 11bar است. نسبت تراکم و راندمان استاندارد هوا را محاسبه کنید. فرض کنید $Y=1.4$.

حل:

$$r = \frac{V_1}{V_2} = (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{1}{Y}} = 11^{\frac{1}{1.4}} = 5.54$$

$$\eta_{ASE} = 1 - \frac{1}{r^{(Y-1)}} = 1 - \left(\frac{1}{5.54}\right)^{0.4} = 0.496 = 49.6\%$$

۷-۱۶: در موتوری که بر اساس چرخه ایده‌آل اتو کار می‌کند دما در ابتدا و انتهای تراکم $50^{\circ}c$ و $373^{\circ}c$ است. نسبت تراکم در راندمان هوای استاندارد موتو را پیدا کنید.

$$r = \frac{V_1}{V_2} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{Y-1}} = (\frac{646}{323})^{\frac{1}{1.4}} = 5.66$$

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r^{(Y-1)}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{323}{646} = 0.5 = 50\%$$

در یک چرخه اتو هوا در دمای $17^{\circ}c$ و فشار 1bar به صورت آدیاباتیک متراکم شده تا فشار آن به 15bar می‌رسد. گرما در حجم ثابت اضافه شده تا اینکه فشار به 40bar افزایش می‌یابد. راندمان استاندارد هوا، نسبت تراکم و فشار موثر متوسط چرخه را محاسبه کنید.

فرض کنید، $C_v=0.717$ kJ/kgk و $R=8.314$ kJ/kmolK.

حل: فرآیند2-1 را در نظر بگیرید،

$$P_1 {V_1}^Y = P_2 {V_2}^Y$$

$$\frac{V_1}{V_2} = r = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{Y}} = (\frac{15}{1})^{\frac{1}{1.4}} = 6.91$$

$$\eta_{ASE} = 1 - (\frac{1}{r})^{Y-1} = 1 - \left(\frac{1}{6.91}\right)^{0.4} = 0.539 = 53.9\%$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} T_1$$

$$= \frac{15}{1} \times \frac{1}{6.91} \times 290 = 629.5K$$

فرآیند 3-2 را در نظر بگیرید،

$$T_3 = \frac{P_3 T_2}{P_2} = \frac{40}{15} \times 629.5 = 1678.7$$

$$\text{گرمای عرضه‌شده} = C_v(T_3 - T_2)$$
$$= 0.717 \times (1678.7 - 692.5) = 752.3 kJ/kg$$

$$\text{کار انجام شده} = \eta \times H_s$$

$$= 0.539 \times 752.3 = 405.5 kJ/kg$$

$$P_m = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{حجم جاروب شده}}$$

$$V_1 = \frac{V_1}{m} = M\frac{RT_1}{P_1} = \frac{8314 \times 290}{29 \times 1 \times 10^5} = 0.831 \quad m^3/kg$$

$$= \frac{5.91}{6.91} \times 0.8314 = 0.711 \quad m^3/kg$$

$P_m = 405.5/0.711 \times 10^3 = 5.68 \times 10^5\ N/m^2 = 5.68\ bar$

۱۷-۷: یک موتور گازی که براساس چرخه اتو کار می کند دارای سیلندری با قطر 200 mm و کورس 250 mm است. حجم اتاق اشتعال 157 cc می باشد. راندمان استاندارد هوای این موتور را محاسبه کنید. فرض کنید برای هوا C_p=1.004 kJ/kgK و C_v=0.717 kJ/kgK است.

حل:

حجم کورس $V_s = \pi \times d^2 l/4 = \pi \times 20^2 \times 25/4 = 785.98$ cc ,

نسبت تراکم $r = 1 + V_s/V_c = 1 + 7853.98/1570 = 6.00$,

$\Upsilon = C_p/C_v = 1.004/0.717 = 1.4$

$\eta_{ASE}=1-1/r^{\gamma-1}$ $=1-1/6^{0.4}=0.512$

$=51.2\%$

۷-۱۸:یک موتور گازی که بر اساس چرخه ایده‌آل اتو کار می‌کند دارای نسبت تراکم 6:1 است. فشار و دما در آغاز تراکم 1bar و $27^{\circ}c$ می باشد. گرمای اضافه شده در طول فرآیند احتراق حجم ثابت 1170kJ/kg می‌باشد. حداکثر فشار و دما، کار خروجی برای هر کیلوگرم هوا و راندمان استاندارد هوا را محاسبه کنید. فرض کنید، برای هوا $C_v=0.717kJ/kgK$ و $\gamma=1.4$ می باشد.

در شکل ۷-۱۰نمونه‌ای از موتورهای مدرن امروزی که با چرخه‌های ترمودینامیکی کار می‌کنند نشان داده شده است.

شکل ۷-۱۰: موتور V شکل

منابع

قبادیان، ب. (۱۳۸۰). کتاب موتورهای احتراق داخلی (مبانی نظری و عملی)، انتشارات دانشگاه شهرکرد.

قنبری، م. نجفی، غ. قبادیان، ب. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر افزودن نانو ذرات نقره و نانو لوله-های کربنی به سوخت دیزل بر عملکرد و آلایندگی موتور دیزل. هفتمین همایش دانشگاه کردستان.

قنبری، م. نجفی، غ. قبادیان، ب. میرحبیبی، ع. (۱۳۹۴). بررسی عملکرد موتور دیزل با استفاده از نانو سوخت‌های دیزل و بیودیزل. نهمین همایش بین المللی موتورهای درونسوز و نفت.

شامخی، ا. خطیب زاده، ن. شمدانی، ا. (۱۳۸۹) مبانی موتورهای احتراق داخلی. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

فیروزگان، ع. (۱۳۹۱). الکترونیک خودرو و تکنولوژی دستگاه‌های الکتریکی در مدیریت موتور (EMS). انتشارات دانشگاه آزاد.

علیان، م. (۱۳۸۸). بررسی و تحلیل سیستم سوپاپ زمان‌بندی متغیر در موتور ملی. دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

پیشگویی، م. کاکایی، ا. (۱۳۹۰) بررسی استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها روی مصرف سوخت موتور. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات موتور.

Advanced Automotive Fault Diagnosis, "4th edition"Tom denten, 2017, Routledge;4 edition (July 14,2016)

Aydin, H. Bayindir, H. (2010). Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in diesel engine. Renewable Energy. 35: 588-592.

Burda C. Chen X. Narayanan R. El-sayed M.A. (2013). Chemistry and properties of Nanocrystals of Different shapes, chemical Reviews. 105: 1025-1102.

Heywood, J. B, (1988), Internal Combustion Engine Fundamentals. London: McGraw-Hill.

European vehicle Market Statistics. Pocketbook, Martin Campestrini, Peter Mock, Icct (The International Council on Clean Transportation), 2014 Edition

Flach, B. Bendz, K. Lieberz, S. (2012). EU Biofuels Annual 2012. Required Report - public distribution. EU-27.

Ghanbari, M. Najafi, GH. Ghobadian, B. (2015). Performance and Emission Characteristics of a CI Engine Fueled with Nanodiesel. Pahang universiti malaysia.

Ghanbari, M. Najafi, GH. Ghobadian, B. (2015). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) to Predict CI Engine Parameters Fueled with Nanodiesel. 3rd International Conference of Mechanical Engineering Research.

Ghanbari, M. Najafi, GH. Ghobadian, B. (2015). Support Vector Machine (SVM) to Predict Diesel Engine Performance and Emission Parameters Fueled with Nanodiese .3rd International Conference of Mechanical Engineering Research .

Ghanbari, M. Najafi, GH. Ghobadian, B. (2017). Performance and emission characteristics of a CI engine using nano particles additives in biodiesel diesel blends andmodeling with GP approach.) fuel journal 202 (699-716)

Godiganur, Sh. Murthy, Ch.S. Reddy, R.P. (2009). 6BTA 5.9G2-1 Cummins Engine performance and emission tests using methyl ester mahua (Madhuca indica) oil/diesel blends. Renewable Energy. 34: 2172-2177.

Godiganur, Sh. Murthy, Ch.S. Reddy, R.P. (2010). Performance and emission characteristics of a kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl ester. Renewable Energy. 35: 355-359.

Gumus, M. Kasifoglu, S. (2010). Performance and emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester and its blends with diesel fuel. Biomass and bioenergy. 34: 134-139.

James D.Halderman "Automotive technology principles, Diagnosis and service ",4th Edition,2011,Prentice Hal.

Jack D. Mattingly.(2006) Elements of Propulsion: Gas Turbines and Rockets. Reston, Virginia, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics۰. ۱۵۶۳۴۷۷۷۹۳.

Hara, S. (2010) Variable Valve Actuation System, _ Specific Technologies

Rolf D. (2018) ReitzInternal Combustion Engines, I: Fundamentals and Performance Metrics.

V. Raide,R. Ilves, A. Küüt, K. Küüt and J,Olt.(2017) Existing state of art of free-piston engines. Agronomy Research.

Wu, F. Wang, J. Chen, W. Shai, Sh. (2009). A study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. Atmospheric Enviroment. 43: 1481-1485.