

2.1 - Termodinámica de los motores térmicos

2.1.1 - Fundamentos de la termodinámica

La termodinámica se basa en los principios fundamentales siguientes:

- la energía ni se crea ni se destruye;
- las diversas formas de energía sólo pueden transformarse:
 - el combustible en calor;
 - el calor en energía mecánica;
- el calor nunca se convierte completamente en trabajo mecánico, siempre hay pérdidas debidas al rozamiento que se genera por el contacto entre las partes en movimiento;
- los procesos naturales o técnicos de transformación de energía son irreversibles. Estos procesos se realizan siempre en el sentido más probable, por ejemplo, el calor siempre pasa libremente de cuerpos más calientes hacia otros más fríos y no al revés;
- el efecto contrario, es decir, el paso de frío a calor, sólo puede alcanzarse aportando energía.

2.1.2 - Tipos de transformaciones

Las conversiones termodinámicas son definidas en función de las condiciones en las cuales ocurren. Por lo tanto, una transformación:

- a presión constante se llama una conversión isobárica;
- a volumen constante se llama una conversión isócara;
- a temperatura constante se llama una conversión isotérmica;
- sin intercambio de calor se llama una conversión adiabática;
- sin intercambio de calor y sin rozamiento se llama una conversión isentrópica;
- con un cambio general de condición se llama una conversión politrópica.

Al estudiar los ciclos teóricos de gases ideales, utilizamos las leyes de transformación haciendo uso de la constante de L. J. Gay Lussac (1778 - 1850): $PV = RT$. La constante que él desarrolló es $PV = R (267 + t)$, muy cerca de $PV = R (273,15 + t)$.

Algunos años más tarde, la ley de Gay-Lussac puesta en relación con la ley de Boyle-Mariotte conduciría a la Ley de los "gases ideales", o más concretamente a la ecuación de estado: $PV = nRT$ o $PV = NkT$, origen y base de la modelización simple de gases en sistemas termodinámicos.

2.1.3 - Principio de funcionamiento

La energía química contenida en el combustible es transformada en calor mediante un proceso de combustión que requiere la presencia de oxígeno y esta energía calorífica se convierte en trabajo usando los componentes mecánicos que, al unirse, forman el motor térmico.

2.1.4 - Clasificación de los motores térmicos

Cuando la combustión ocurre dentro del motor, se habla de combustión interna. Hay entonces dos posibilidades y en ambos casos el circuito es abierto:

Contexto, parte 2.1

- si el proceso de trabajo es cíclico y a cada vuelta una nueva carga de combustible hay que inyectar una nueva carga de combustible, y descargar los gases quemados, el motor es de pistón alternativo;

- si, por el contrario, el proceso de trabajo es continuo y la sustitución de combustible se realiza sin interrupción, se trata de una turbina de gas.

Cuando la combustión ocurre fuera del motor, hablamos de combustión externa. En este caso, el proceso de trabajo puede ser continuo y ocurrir en un circuito cerrado pues el líquido del motor puede ser químicamente invariable y, experimentar un cambio de estado sin tener que ser sustituido.

La preparación de la mezcla aire-combustible fuera de la cámara de combustión ayuda a crear una mezcla más uniforme. Hablamos, por tanto, de acondicionamiento externo u homogéneo de la mezcla.

Cuando la mezcla se hace dentro de la cámara de combustión las condiciones no son las mejores y la mezcla no es tan homogénea. Hablamos de acondicionamiento interno o heterogéneo de la mezcla.

Cuando la combustión se enciende con una chispa eléctrica, se llama “encendido controlado”, pero si la mezcla se enciende espontáneamente al alcanzar la temperatura de ignición, la llamamos auto-encendido.

2.1.5 - Ciclos termodinámicos

La energía térmica sólo puede transformarse en energía mecánica si el líquido del motor cambia de condición.

Estos cambios de estado se representan generalmente mediante diagramas que expresan dos valores para cada condición:

- aumento o disminución de la temperatura;
- aumento o disminución de la presión;
- aumento o disminución del volumen.

Las coordenadas del diagrama expresan generalmente las relaciones:

- presión-volumen en un diagrama del p-V;
- temperatura-entropía en un diagrama de los T-S;
- entalpía-entropía en un diagrama de H-S.

El estudio de la termodinámica ha conducido a varios científicos a proponer los ciclos del motor.

Sóloamente mencionaremos los que todavía se utilizan:

- A. Beau de Rochas (1815 - 1893) inventó la compresión y el ciclo de 4 tiempos en 1862. Éste es el ciclo básico usado en los motores actuales de gasolina de cuatro tiempos.

- N.A. Otto construyó un motor basado en este ciclo en 1867, pero tuvo que abandonar sus trabajos cuando fue atacado en las Cortes mientras establecía sus derechos de patente.

- J. Joule 18. . (1818 - 1889) inventó el ciclo a presión constante. Éste es el ciclo tomado como referencia por los motores de turbina de gas.

Contexto, parte 2.1

- Sabathé, de nombre desconocido, fue el primero en fomentar un ciclo resultado de los ciclos de A. Beau de Rochas y de R. Diesel. Éste es el ciclo de referencia para los motores de gasóleo, llamados por la mayoría de la gente, sin razón, “motores diesel”.

2.1.6 - Exigencias impuestas a los combustibles

Los combustibles utilizados en motores se clasifican en tres categorías según las exigencias impuestas.

Éstos son:

- combustibles para el uso en mezcla uniforme y motores en los que se controla el encendido;
- combustibles para uso en mezcla no uniforme y de auto-encendido;
- combustibles para uso en los motores de turbina de gas que requieren una llama continua.

Entre los combustibles usados para las mezclas uniformes están las gasolinas plomadas, gasolinas sin plomo, gas licuado de petróleo...

Estos combustibles tienen que ser extremadamente volátiles de modo que la mezcla del aire combustible sea lo más uniforme posible. Sin embargo, es necesario satisfacer unas exigencias de volatilidad elevadas:

- la curva de ebullición, que da el porcentaje del combustible vaporizado en función de la temperatura;
- la presión del vapor;
- la relación vapor / líquido que determina la tendencia del combustible a formar burbujas de vapor;
- la densidad, que permite determinar ciertos componentes de los combustibles;
- el máximo contenido en plomo;
- el índice de octano que nos señala el poder antidetonación de la gasolina.

¡Estas son características estándar para los combustibles!

Entre los combustibles mezclados de manera no uniforme hay que destacar el gasóleo. Es una mezcla de diversos hidrocarburos y su punto de ebullición se encuentra, aproximadamente entre 180° y 360° Celsius.

Las exigencias principales aplicadas al combustible diesel (gasóleo) son:

- la densidad;
- la curva de ebullición;
- la viscosidad cinemática;
- el punto de ignición;
- el índice de cetano.

Estas características también están estandarizadas.

Contexto, parte 2.1

Los requisitos principales impuestos a los combustibles de la turbina de gas se limitan a:

- su viscosidad;
- la proporción de impurezas, especialmente sulfuro, sodio, vanadio y plomo.

Los motores de combustión externa son los que imponen menos exigencias al combustible. De hecho, el líquido del motor y los gases de combustión son generalmente diferentes. El único requisito es que el combustible quemara suficientemente rápido sin dejar residuos.

2.1.7 - Combustión

La combustión puede tener lugar de dos maneras diferentes:

- de manera cíclica en motores de pistón alternativo, después de cada recambio de la carga del combustible;
- de manera continua en motores de turbina de gas.

La combustión cíclica es la que presenta más dificultades para ya que tiene que ocurrir en tiempo record.

Por consiguiente, el ciclo en un motor de cuatro tiempos a 6.000 rpm ocurrirá en: $1/(6000/2/60) = 1/50 = 0,02$ segundos.

Ahora, como este ciclo incluye fases de succión, compresión, expansión y descarga, y la combustión sólo puede ocurrir durante la fase de expansión, como máximo, podrá durar: $0,02/4 = 0,005$ sec.

En un motor de dos tiempos estos intervalos se reducirán a una tercera parte de los anteriormente citados.

En los motores de acondicionamiento homogéneo y de ignición controlada, la fase de inflamación es prácticamente constante en tiempo y sólo depende de la composición de la mezcla, mientras que el desprendimiento de calor estará determinado, principalmente, por la forma de la cámara de combustión y la posición del punto de ignición.

La velocidad de combustión está determinada por el proceso de difusión en el borde de llama, por la intensidad de las turbulencias y de los cambios de temperatura en la parte de la mezcla que todavía no se ha quemado.

Puesto que la duración de la ignición es constante y tiene que ocurrir antes de la fase de expansión, es preciso prever un dispositivo de anticipación para regular el momento de la ignición, de tal manera que la energía almacenada en el combustible sea máxima cuando se convierta en energía cinética, durante la fase de expansión.

En los motores de acondicionamiento heterogéneo, la autoignición tiene lugar antes del fin de la compresión. El combustible se inyecta en el aire altamente comprimido y calentado a una temperatura entre 700° y 900° Celsius.

Contexto, parte 2.1

La combustión se desarrolla en dos fases, demostrando que es una combustión según el ciclo de Sabathé:

- una fase en la que el combustible, inyectado antes de la ignición, se quema: éste es el aporte de calor isócoro según el ciclo de A. Beau de Rochas;

- una fase durante la cual el combustible inyectado después del comienzo de la combustión se quema: éste es el aporte del calor isobárico según el ciclo de R. Diesel.

El requisito principal de la combustión en turbina de gas o en motores de combustión externa es la estabilidad y la regularidad.

2.1.8 - Rendimiento termodinámico

El rendimiento termodinámico de un motor térmico depende de las pérdidas de temperatura, y es igual a:

$$\eta = (\Theta' - \Theta'') / \Theta''$$

en donde η es el rendimiento,
 Θ' la cantidad de calor aportado y
 Θ'' la cantidad de calor perdido.
