10. COMBUSTION EN MOTORES.

La condición necesaria para causar la combustión dentro de los cilindros del motor es la preparación de la mezcla correcta de aire-combustible. Una buena mezcla debera tener una composición homogenea en todo el volumen del cilindro. En motores ECH(Otto) la mezcla se forma generalmente a partir del carburador (cap.11) hasta que se enciende con la chispa en el cilindro; y en motores EC (Diesel) o con inyección de combustible, la formación de mezcla empieza en el punto de inyección hasta quemar toda la cantidad durante el proceso de combustión.

Prácticamente la mezcla se enciende (en ambos motores ECH y EC) y se quema en ciertas condiciones, es decir, hasta que su composición se encuentra entre los límites de encendido. Para gasolina esos límites son : el límite inferior que tiene el rendimiento volumétrico η_v= 0.4 y el límite superior con η_v= 1.4.

Para aceites combustibles esa escala de límites depende del tipo y calidad del combustible y de la construcción de la cara del émbolo. Además, esa escala depende generalmente también de la presión, temperatura, del grado de impurezas etc.

10.1. COMBUSTION NORMAL EN MOTORES ECH (OTTO).

La ecuación principal de la combustión del octano C_8H_{18}(en gasolinas) con la cantidad téoricamente correcta de aire es :

$$C_8H_{18} + 12\tfrac{1}{2}O_2 + 47N_2 \longrightarrow 8CO_2 + 9H_2O + 47N_2 .$$

Las ecuaciones químicas de gasolinas comerciales son mucho más complicadas. Esto está causado por varias composiciones de mezclas combustibles en los motores.

También el aire es una mezcla de gases como sigue:

1. óxigeno - 20.99%
2. nitrógeno-78.03%
3. argón - 0.94%
4. gases raros como neon,helio,kriptón, y bioxido de carbono- 0.03%.
5. hidrógeno -0.01%

Pero para la mayoría de los cálculos se toma aproximadamente el 21% de óxigeno y 79% de nitrogeno (incluyendo todos los gases inertes del aire seco).

Normalmente para motores ECH el rendimiento volumétrico es η_v=0.85 a 0.9 entonces la velocidad de la llama logra el valor de v_l=20 a 40m/s (65.6a

131.2 pie/s). La combustión se empieza en el momento del encendido por la chispa. Esto tiene lugar nominalmente para ángulos de predicción del encendido de αp=0.12 a 0.61 rad (7° a 35°) antes de lograr el PMS. En este proceso de combustión se distinguen tres periodos :

1. el periódo preliminar de combustión,
2. el periódo de combustión propia,
3. el periódo de postcombustión.

Eso se muestra en la fig. 40.

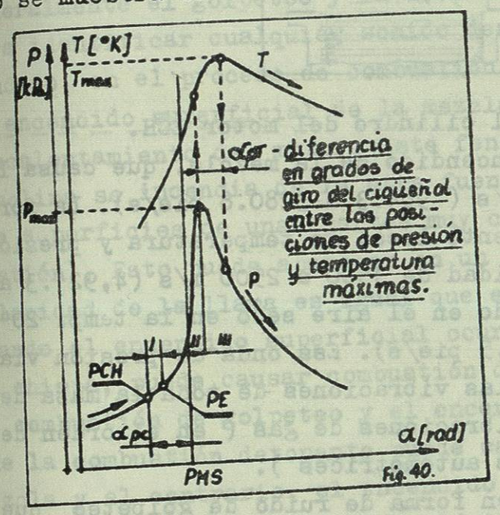

Fig.40
Cambios de presiones p [kPa] y temperaturas T [°K] en el cilindro del motor en función del ángulo de giro del cigüeñal :
PCH- punto de chispa
PE - punto de encendido.

(1 kPa=0.0102kg/cm^2=0.145Lb/pul^2).

En el 1er periodo aparece el giro en unos grados del cigüeñal y se quema sólo el 6 a 8% de mezcla combustible; la combustión correcta de mezcla permanece en el 2o. periodo, terminandose en el punto de presión máxima (p_{max}), pero la temperatura mayor (T_{max}) aparece un poco más tarde que la presión mencionada. Esto esta causado por la intensidad de combustión que dura un poco más tiempo y sobrepasa el PMS. El curso de la combustión decide sobre la dureza del trabajo del motor, por la rapidez de incremento de presión durante la combustión. El trabajo duro resulta por un incremento muy rápido, casi brusco. El trabajo suave (que aumenta la vida útil del motor) aparece cuando esos incrementos de presión se desarrollan ligeramente en curvas de diagramas del indicador. La postcombustión (3er periodo) sucede sobre todo durante la descompresión de los gases pero muy frecuentemente se termina, todavía en carrera de escape y eso causa a veces regresión de la llama o "tiro" en carburador.

10.2. COMBUSTION DE GOLPETEO Y CON ENCENDIDO SUPERFICIAL.

La combustión de golpeteo llamada también combustión detonante, determina una forma de combustión incorrecta de la mezcla. Aparece siempre después de la combustión normal y esta causada por el autoencendido (encendido - espontaneo) de otra parte de mezcla no encendida por la chispa (fig41.)-

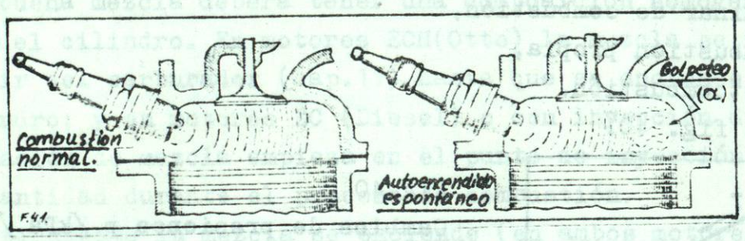

Fig.41. La combustión detonante en el cilindro del motor ECH.

En el espacio a tiene lugar el autoencendido de la mezcla, que causa la velocidad de la llama de 300 a 1000m/s (984.3 a 3280.8 pie/s). La forma explosiva de combustión causa un aumento local de temperatura y presión- formando una onda de golpe con velocidad de 1500 a 2500 m/s (4,921.3 a - 8,202.1 pie/s; la velocidad del sonido en el aire seco en la temp. 20°C- es aproximadamente de 340 m/s = 1115.5 pie/s). Esa onda de presión viaja entre paredes del cilindro causando las vibraciones de toda la masa del- cilindro y del motor y también las vibraciones de gas (en el orden de - los 5000 s^{-1} de frecuencia en motores automotrices).

A ella acompaña un efecto acustíco en forma de ruido de golpeteo que - hacen los elemetos metálicos del motor .

Las vibraciones de gas se muestran en la fig. 42.

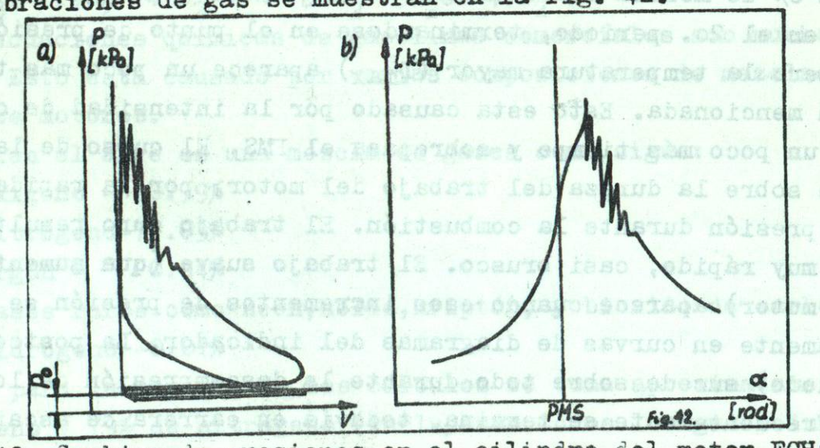

Fig.42. Cambios de presiones en el cilindro del motor ECH(Otto) en caso- de combustión de golpeteo(detonante):

a) diagrama del indicador cerrado

b)diagrama del indicador abierto.

En un momento los impactos de las presiones de gas se igualan y la curva en el diagrama del indicador recorre normalmente. Esa forma de combustión puede causar las fallas del cigüeñal y sus cojinetes y finalmente del - motor. Al fin, en el motor se aumentan las pérdidas mecánicas y se dis - minuye el rendimiento efectivo y la potencia efectiva del motor, pues se empeoran los parámetros del trabajo de ésto.

Generalmente el golpeteo y la detonación son términos sinónimos usados - para identificar cualquier sonido desusual que aparece debido al autoen- cendido, en el proceso de combustión.

El encendido superficial de la mezcla aparece muy frecuentemente por so- brecalentamiento del motor. Este fenómeno sucede cuando la mezcla aire-- gasolina se incendia de la otra fuente y no de la chispa de la bujía (de las superficies de unas partes muy calientes dentro de la cámara de com- bustión). Esto puede aparecer en un lugar o varios lugares paralelo. La- velocidad de la llama es igual que en el caso de combustión normal. Pero cuando el encendido superficial ocurre antes del encendido normal, por - la chispa, puede causar combustión detonante en el cilindro.

La combustión de golpeteo y el encendido superficial no se excluyen por- que la combustión detonante puede causar el encendido superficial de la- mezcla y al contrario, el encendido superficial en ciertas condiciones - causa la combustión de golpeteo(detonante). Sobre las formas de combusti- ón de este tipo influyen varios componentes del motor y del combustible.

10.2.1. INFLUENCIA DE VARIOS ELEMENTOS SOBRE EL PROCESO DE COMBUSTION EN MOTORES ECH (OTTO).

La influencia de elementos de construcción es relativamente grande. --- Ellos son: la relación de compresión r_v, la forma geométrica de cámara - de combustión, dimensiones del cilindro y materiales de la cabeza (culata)- del cilindro y del émbolo. Un ejemplo se muestra en la fig.43.

El aumento en la relación de compresión r_v causa el aumento de presión - (y de la temperatura), incrementando la dureza del trabajo del motor y - la tendencia a la combustión detonante, pero también crece la eficiencia de trabajo del motor. La forma de cámara de combustión y el lugar de o - rientación de la bujía (lo mejor es en el centro de cámara mencionada)- influyen sobre la magnitud de la llama y la intensidad de turbulencia de la mezcla. Se deben optimizar esas características que dependen del tama- ño, potencia etc.,del motor. El aumento de dimensiones del cilindro incre-

menta el rendimiento térmico η_t y la presión media p_i (imep), pero también la sensibilidad a la detonación. La construcción de émbolos y cabezas de los cilindros de las aleaciones ligeras disminuye la tendencia a la combustión detonante y eso permite aplicar mayores relaciones de compresión.

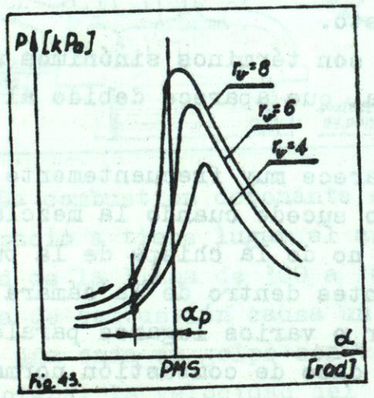

Fig.43.
Influencia de la relación de compresión r_v sobre el proceso de combustión en motores ECH (Otto).

Propiedades del combustible, químicas y fisicas, influyen mucho sobre la combustión en los cilindros. La resistencia del combustible a la combustión de golpeteo es determinada por su número de cetanos NO (cap.9.1). Para aumentar esa resistencia se añaden varias sustancias, la más comúnes tetraetilo de plomo TEL $[Pb\ (C_2H_5)4]$. Pero el plomo y su óxido empeoran el trabajo del motor, porque su sedimento causa cortocircuito en los electrodos, en bujías y en el cerrar incorrecto de válvulas. Por eso se añaden unos fluidos de etilo que forman con el plomo compuestos volatiles que salen junto con los gases de escape.

Componentes de explotación; el estado técnico del motor, la intensidad de refrigeración, frecuencia de revoluciones del motor, composición de mezcla combustible, ángulo de predicción del encendido αp y la carga del motor influyen mucho sobre el trabajo correcto del motor.

De todos los componentes, la mayor influencia sobre el proceso de combustión lo tiene el grado de impurezas en la cámara de combustión con sedimentos (sobre todo de depositos carbonosos) que pueden incadecerse causando la combustión detonante del combustible.

Por la refrigeración excesiva de las paredes del cilindro se disminuye la eficiencia del motor, pero cuando la refrigeración no es suficiente

las paredes se calientan mucho causando el encendido superficial y la combustión de golpeteo.

La frecuencia de revoluciones del motor varía siempre durante el trabajo del motor. El aumento de rpm sube la turbulencia de la mezcla en el cilindro y por eso se disminuye la tendencia a la combustión detonante.

La composición de la mezcla que corresponde a la mayor velocidad de combustión (con rendimiento volumétrico η_v=0.8a 0.9) da la mayor probabilidad de combustión de golpeteo.

Las mezclas más pobres o más ricas disminuyen esa probabilidad.

El angulo de predicción del encendido αp influye muy fuertemente sobre el proceso de combustión. El ángulo menor disminuye la sensibilidad de la mezcla a la combustión de golpeteo y permite la aplicación del combustible con menor NO (gasolina más barata). Pero en el mismo tiempo se aumenta el consumo de gasolina por motor y se disminuye su potencia efectiva. Entonces, como se observa, es necesaria la optimización como en muchos casos de construcción del motor. En la fig.44 se muestra cambios en procesos de combustión cambiando los ángulos de predicción del encendido αp.

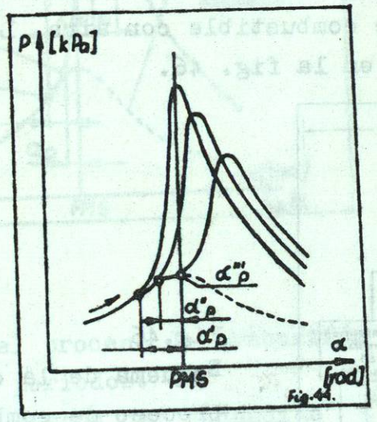

Fig.44.
Influencia del ángulo de predicción del encendido αp sobre el proceso de combustión en motores ECH(Otto).

Por el aumento de carga del motor, crece su potencia efectiva y se disminuye la estrangulación del flujo de mezcla (con frecuencia constante de giro del cigüeñal en el motor) y el llenado del cilindro sube aumentando la presión de compresión. Eso aumenta también la tendencia a la combustión detonante.